

## **EFFICIENCY ASSESSMENT OF ROAD NETWORK INVESTMENT.THE CASE OF NAVARRA (SPAIN)**

Fernández Militino, Francisco Javier<sup>1</sup>; Valdenebro García, José Vicente<sup>2</sup>;  
Gimena Ramos, Faustino N.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Nasuvinsa, <sup>2</sup> Ayuntamiento de Pamplona, <sup>3</sup> Universidad Pública de Navarra

The present work evaluates the efficiency of road network investment, based on the cost and traffic statistical information, on the real traffic assessment for the different road categories, and on the population and production data of the delimited area of evaluation. The case of Navarra –Spain- is presented as the practical example for the formulation assessment, describing and categorizing the road network in several typologies depending on their theoretical traffic capacities, and later creating a subdivision of the total system in road tracks, connecting population and production hubs, to be measured and compared. For satisfying the real traffic loads to each track in the analysed geographical area, we will apply a virtual road network built by the minimum road typologies required, and we will assign the statistical cost for the construction of that virtual network. Finally, we will determine the relative difference in costs between the virtual and the real networks in each one of the measured tracks, giving the measure of the efficiency of the system.

**Keywords:** *Road network; Investment efficiency; Costs; Capacity*

## **EVALUACION DE LA EFICIENCIA DE LA INVERSIÓN EN REDES DE CARRETERAS. EL CASO DE NAVARRA (ESPAÑA)**

El presente trabajo evalúa la eficiencia de las inversiones realizadas en redes de transporte por carretera, a partir de la simulación de costes y tráfico de una red concreta, de la medición de aforos existentes y de los datos poblacionales y productivos del área geográfica servida por la citada red. Para ello, se presenta un caso concreto como marco de estudio, fijando los costes y capacidades de las distintas tipologías de carretera a partir de funciones de homogeneización de sus características, y comparando los datos resultantes con los tráfico reales y con las tipologías de carretera que permitirían el servicio a éstos.

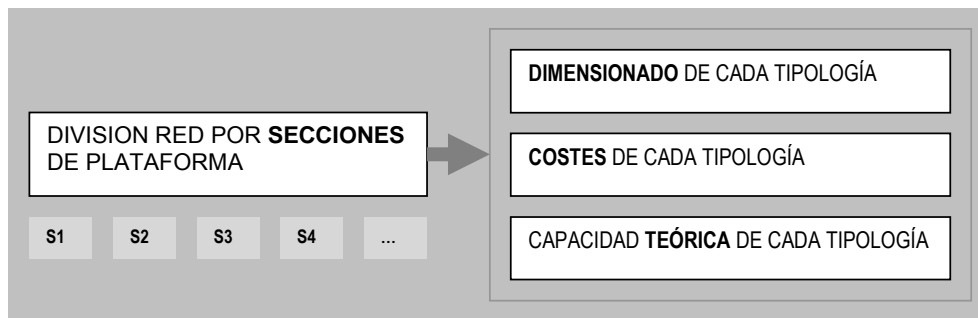
**Palabras clave:** *Red en carreteras; Eficiencia en inversión; Costes; Capacidad*

## 1. Introducción

Las carreteras son una de las inversiones más notables de cualquier Administración. Su ejecución facilita la movilidad, y los resultados de las inversiones realizadas tienden a ser medidos en incrementos de tráfico de personas y mercancías. Por ello, la ejecución de carreteras tiende a justificarse con la previsión de aumento de población y de producción económica. Pero a pesar de esta justificación formal, la inversión no se contrasta previamente contra el previsible beneficio en términos de población y producción; y los resultados tampoco son medidos posteriormente en función de estas variables. Solo el tráfico de vehículos diario es una medición de la saturación de las carreteras, sin contrastarse con las previsiones. Aun asumiendo que la red de carreteras es una infraestructura necesaria para garantizar la movilidad, y por lo tanto necesaria para la coexistencia de la sociedad, somos incapaces de cualificar el grado de eficiencia de una red de carreteras, limitando nuestra acción simplemente a la medición de la capacidad de admisión de vehículos de las carreteras ya ejecutadas.

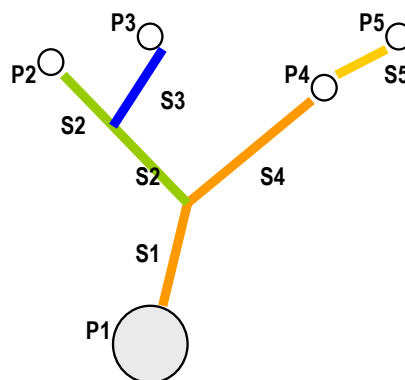
Esta ponencia pretende, aplicando el caso de la red de carreteras de Navarra, evaluar la eficiencia de la inversión realizada históricamente en una red de carreteras, para concluir en una propuesta metodológica de cálculos de inversión. Como punto de partida, se ha clasificado la red de carreteras en tipologías teóricas basadas en la sección de plataforma (Figura 1), permitiendo así su dimensionado, evaluación de costes y capacidad teórica.

**Figura 1. Clasificación de red de carreteras por sección de plataforma**



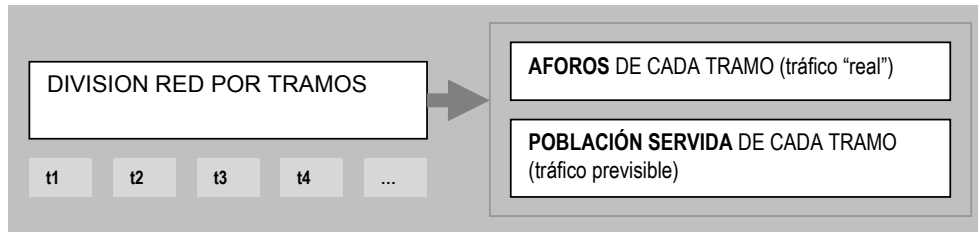
Paralelamente, se ha separado la red en tramos de medición real (fijación de tramos entre intersecciones o poblaciones servidas) (Figura 2), aplicando a cada tramo su capacidad teórica según las sección de plataforma existente en ese tramo, midiendo los aforos (existen datos de aforos de una muestra importante de tramos) y comparándolos con las poblaciones servidas en cada tramo.

**Figura 2. Separación de tramos entre poblaciones e intersecciones**



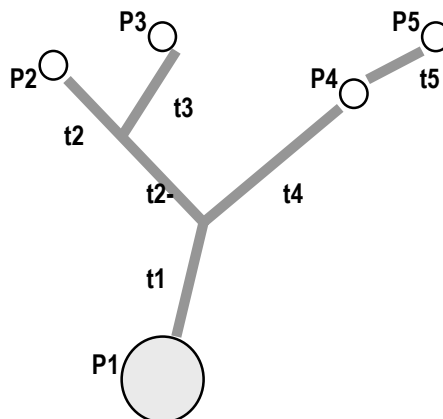
En los tramos en los que existen aforos contrastados y que no sirven a áreas productivas o comerciales, se han comparado esos aforos con la población servida por cada tramo (Figura 3), obteniendo por tanto un coeficiente del nivel de tráfico que genera una población teórica (en vehículos/día y 1000 habitantes).

**Figura 3. Comparación de aforos y población servida en cada tramo**



Tras esta doble clasificación de red (en tipologías por secciones y en tramos de conexión entre poblaciones), se ha simulado el comportamiento de cada tramo aplicándole la mínima sección de plataforma (Figura 4) capaz de admitir el tráfico previsible (el que correspondería a la población servida por el tramo simulado), con sus capacidades teóricas (que obviamente son mayores que el tráfico previsible) y costes.

**Figura 4. Aplicación de sección mínima teórica en cada tramo**



Y estos costes de la mínima sección teórica se han comparado con el coste de la sección real existente, resultando una diferencia que es la medida de la eficiencia de la inversión realizada.

## 2. Descripción de Red de Carreteras

### 2.1. Separación de Red por Categorías

Dado que el objetivo es la evaluación de la eficiencia (inversión vs movilidad real) de una red general de carreteras, no se ha buscado detallar capacidades ni costes derivados de casuísticas particulares de trazados (curvaturas, topografía), que aportarían unos datos más exactos pero que distorsionarían la visión pretendida.

Por la misma razón, no se ha buscado diferenciar características técnicas entre los firmes, aprovechando además que éstas son básicamente las mismas (pues los firmes están comúnmente compuestos por los mismos materiales y secciones constructivas, al responder a requerimientos comunes de resistencia a paso de cargas).

Ante el objetivo pretendido, la jerarquización de la red de carreteras se ha basado en la capacidad de tráfico de las mismas (Reglamento General de Carreteras, 1994).

Aprovechando que la capacidad de tráfico de una carretera depende básicamente de la anchura de plataforma y carriles de cada carretera (asumiendo que no se consideran las casuísticas particulares anotadas más arriba), se ha asumido directamente la división de la red de carreteras según la clasificación del Catálogo de la Red de Carreteras del Gobierno de Navarra (Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra, 2012), que separa las tipologías de carretera en siete clases.

Tras la comparación de anchuras de plataforma y categorías del catálogo, se puede resumir, a los efectos de este estudio, que cada categoría del catálogo se corresponde con una definición técnica de la vía por su ancho de plataforma y número de carriles en ambos sentidos (Tabla 1). Eso aporta una velocidad media teórica, que permite simular la capacidad de tráfico.

## 2.2. Capacidad de Tráfico

Los trazados de la red viaria se definen para conseguir una velocidad media pretendida. La capacidad teórica de cada vía, asumiendo la misma velocidad media para cada tipología de carretera, depende también de su anchura de plataforma. Por tanto, al haber evitado detallar las casuísticas particulares de trazados, se presupone igual capacidad de tráfico en todos los tramos de cada tipología.

Para la simulación de capacidades de tráfico, se ha aplicado el método Highway Capacity Manual (HCM), del Transportation Research Board (1998). A partir de la aplicación de este método, resulta claramente asignada la capacidad de tráfico en vehículos/hora (Tabla 1).

## 2.3. Dimensionamiento

La asunción para el estudio de la clasificación de carreteras del catálogo oficial del Gobierno de Navarra permite aprovechar las mediciones del catálogo, obteniendo las dimensiones longitudinales de cada tipología para el conjunto de la región. Como se aprecia en la tabla 1, la red de carreteras de Navarra suma 3.828,84 kms en total (aprox. 6 metros lineales por habitante, lo que da idea de la implicación en costes que puede tener).

**Tabla 1. Resumen cuantitativo de tipologías de red de carreteras en Navarra**

SEPARACION DE RED DE CARRETERAS POR CATEGORÍAS EN NAVARRA							
	Carriles	Nivel de servicio	Vel media	Capacidad	kms	Coste/ml	Coste (€)
1 Ctra interés local	1 carril	Local	40 km/h	585 veh/hora	2.166,43	750 €/ml	2.281.032.000
2 Ctra interés foral	2 carriles	Interlocal	60 km/h	1.245 veh/hora	1.021,04	1.080 €/ml	1.531.012.500
3 Ctra interés general	2 carriles	Regional	80 km/h	1.745 veh/hora	232,34	1.440 €/ml	402.934.950
4 Ctra altas prestaciones	2 carriles	Interregional	90 km/h	2.085 veh/hora	50,77	1.800 €/ml	136.317.600
5 Vía desdoblada	3 carriles	Nacional	100 km/h	4.720 veh/hora	25,6	2.610 €/ml	97.396.200
6 Autovía	4 carriles	Internacional	120 km/h	9.600 veh/hora	220,71	3.870 €/ml	874.011.600
7 Autopista	4 carriles	Internacional	120 km/h	9.600 veh/hora	111,95	5.200 €/ml	573.348.440
<b>TOTAL</b>					<b>3.828,84</b>		<b>5.896.053.290</b>

Aunque esta cifra puede ser comparada con otras regiones, hay que tener en cuenta que la eficiencia de la red de carreteras no puede limitarse a este dato, debido a que cada región tiene características geofísicas y sociales distintas. Navarra es una de las regiones de menor densidad poblacional de España (que a su vez una de las regiones con menor densidad poblacional de Europa) y la distribución de la población en Navarra tiene también características distintivas, probablemente derivadas del espacio geofísico, con núcleos poblacionales muy pequeños y muy dispersos en el norte (muy propios de zonas montañosas y valles estrechos), y con poblaciones más grandes y distanciadas en la zona sur (propios de zonas más llanas y de riberas amplias).

En cuanto a las tipologías definidas, las vías de jerarquía tipológica inferior (conexiones de carácter interlocal) tienen proporcionalmente más dimensión que en otras regiones.

## **2.4. Costes**

Al ser las carreteras un producto que mantiene siempre una tipología constructiva constante (tanto en materiales como en dimensiones de sección constructiva), porque esa sección constructiva es la que garantiza la capacidad resistente del firme para soportar las cargas previstas, los costes pueden ser obtenidos para cada tipología de carretera a partir de la sección constructiva común a todas ellas y mediante fijación de costes unitarios (en €/m<sup>2</sup> de viario).

Por tanto, una vez conocida la anchura de plataforma (que para el objeto de este estudio es prácticamente la única variable caracterizadora de las tipologías), la simulación de costes del conjunto de la red se realiza aplicando a los diferentes anchos de plataforma los costes unitarios, obtenidos por estudios estadísticos del propio Ministerio de Fomento, en concreto del Cuadro de precios de referencia de la Dirección General de Carreteras (Ministerio de Fomento, 2012). Se obtiene a partir de ahí un coste teórico de cada tipología en €/ml de viario, que aplicándolo a la longitud total de la tipología, nos aporta el coste total simulado de la red de carreteras.

Como contraste, se han tomado datos de contrataciones de carreteras en los últimos años, extrayéndose los costes unitarios, y obteniendo medias de costes tras descartar los valores extremos. Los valores resultantes se han comparados con los valores unitarios, y se han demostrado válidos ambos datos, concluyendo que las anchuras de plataforma son los elementos clave en la diferenciación tipológica y de costes, y que los costes unitarios se diferencian básicamente según el ancho de plataforma. La excepción se da, obviamente, en el caso de autopistas, donde el coste en €/ml resulta más elevado que las autovías (del mismo ancho de plataforma), porque contienen elementos complementarios a la sección constructiva que justifican la diferencia de costes (señalización, vallados de seguridad, comunicación, control de accesos, etc.).

Los valores obtenidos se han redondeado a 10 €, nivel de detalle más que suficiente para los objetivos pretendidos. Por tanto, podemos resumir que la clasificación de carreteras asume la separación tipológica del catálogo del Gobierno de Navarra, con los datos de dimensión, capacidad teórica de tráfico y costes que refleja la Tabla 1.

## **3. División de Red de Carreteras por Tramos de Estudio**

Una vez categorizada la red existente con sus datos teóricos, y para poder contrastar las inversiones realizadas con la realidad de tráfico, se precisa realizar un estudio comparativo de la capacidad teórica con la movilidad real. Para ello, es necesario separar la red en tramos de estudio, de forma que podamos aplicar a cada tramo sus características teóricas y contrastarlas con los datos reales de tráfico.

### **3.1. Separación de Red en Tramos**

Los 3.829 km de la red de carreteras se han separado en tramos para su análisis.

La capacidad teórica de cada tramo no depende de sí mismo, sino de la categoría de carretera a la que pertenece. Lo mismo ocurre con sus costes. Y podemos comparar estos datos con la medición real de tráfico habidos (aforos de tráfico), que sí son diferenciales para cada tramo. Lógicamente, nunca encontraremos un aforo mayor que la capacidad teórica de tráfico de cada tramo, pero encontraremos siempre un aforo menor que la capacidad teórica, con diferencias mayores o menores que aportarán una idea del grado de utilización de cada tramo.

El aforo que midamos va a ser (salvo excepciones que se anotan más adelante) el que refleja las necesidades de tráfico, derivadas de la capacidad residencial, productiva y comercial de los núcleos de actividad que son servidos por el tramo viario estudiado.

Por ello, la división de tramos se ha efectuado considerando como límite de cada tramo el de la población inmediata conectada por el mismo. En la Figura 4, podemos tomar como ejemplo de tramo el denominado t5, que queda limitado por las poblaciones P4 y P5, y que sirve a la población más lejana (la que no tiene carreteras más conexiones viarias con otras poblaciones, y que es considerada final de carretera). En casos en los que la carretera une una población con otra carretera, el límite del tramo se fija en la propia conexión (ejemplo del tramo t3, que une la población P3 con la carretera t2, y que por tanto tiene una población servida que es P3).

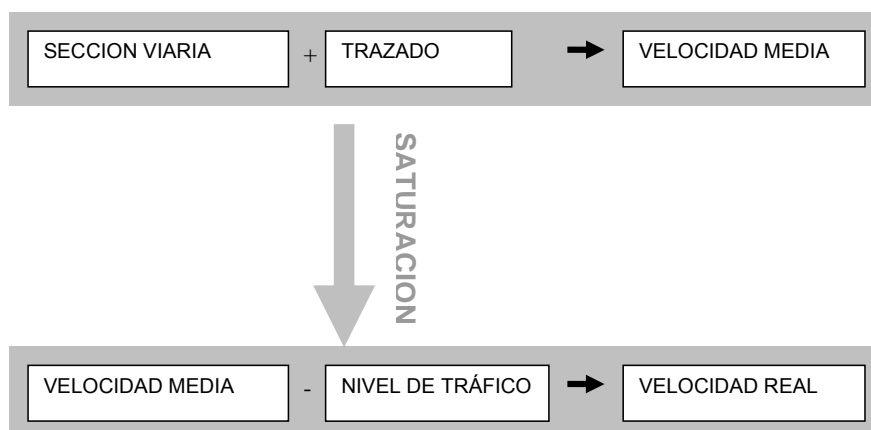
A los efectos del estudio, la población servida por un tramo de la red de carreteras es la correspondiente a la población más lejana (siguiendo el trazado de la red para acceder a esa población), al origen de las redes de carreteras. Puede ser una población o un sumatorio de poblaciones, si el tramo estudiado atiende a varias.

### 3.2. Capacidad Real de cada Tramo

En el apartado anterior hemos indicado que el aforo es, en general, el reflejo de las necesidades de movilidad derivadas de las capacidades de los núcleos servidos por cada tramo. Además, la medición de aforos diarios de tráfico es la principal medida que se está utilizando por los operadores de carreteras para definir la conveniencia de reforma o ejecución de carreteras.

Se asume, a partir de los métodos de cálculo en la definición de tramos, que cada tramo de carretera, en función de la sección viaria y la complejidad de su trazado (los grados de curvatura y pendiente y la visibilidad asociada) permite una velocidad media de tráfico, y por tanto un aforo máximo que permite conseguir esa velocidad media de utilización (Figura 5). No obstante, esta suposición de cálculo asume que el nivel de congestión de tráfico no es impedimento para la consecución de la velocidad media. En caso de que el nivel de congestión aumente, el comportamiento de los conductores en la búsqueda de una distancia de seguridad hará disminuir la velocidad del tráfico, provocando en un momento determinado el atasco.

Figura 5. Esquema de fijación de velocidad media y real de tráfico



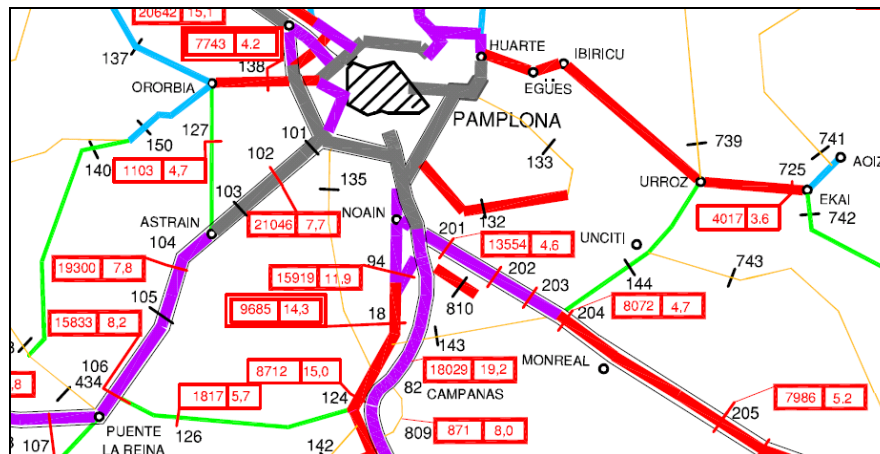
Por tanto, el nivel de tráfico (o aforo) es el que fija definitivamente la velocidad de tráfico de vehículos en una carretera, aunque siempre dependiendo de las características de trazado y sección de la misma. Y esa velocidad es la que representa, comparada con la velocidad teórica, el grado de saturación de la vía en un momento determinado.

Los aforos de carreteras controlados por el Gobierno de Navarra aportan datos reales de tráfico diario (Figura 6), que permiten evaluar el grado de saturación de un tramo concreto (si el aforo alcanza el máximo teórico) y la eficiencia relativa de un tramo concreto de carretera comparándolo con los aforos soportados por el resto de los tramos.

Podemos, por tanto, obtener una medida de eficiencia técnica de una red de carreteras ya en funcionamiento, a partir de la medición de aforos. Pero esa medición de eficiencia es técnica y teórica, por dos razones:

- No plantea el tiempo de saturación como una referencia. Existen ejemplos de redes viarias que, con el objeto de satisfacer la pretendida eficiencia técnica, están ejecutadas para servir a tráficos puntuales muy intensos, pero que se repiten en muy pocos momentos. En estos casos, la eficiencia técnica de la carretera puede considerarse ajustada a necesidad técnica (porque es capaz de soportar la intensidad de tráfico puntual), pero no ajustada a necesidad económica (porque no se justifica durante la mayor parte del tiempo en el que la carretera no soporta tráfico alguno).
- El aforo es una medición de tráfico real, pero no es una medición de tráfico previsible. A mayor saturación de tráfico, menor velocidad de vehículos, y con ello menor cantidad de vehículos que pasan por el punto de referencia para la medición. Como ejemplo, una carretera totalmente atascada tendrá un aforo limitado de vehículos, cuando el tráfico previsible por necesidad, si no hubiese atasco, sería mucho mayor.

**Figura 6. Detalle de mapa de aforos de Navarra. Departamento de Fomento. Gobierno de Navarra**



En resumen, aunque los aforos se miden en Intensidad Media Diaria para no reflejar exclusivamente la intensidad que pueda darse en un momento determinado (intentando así anular parcialmente la primera razón expuesta contra la medición de eficiencia), no aportan el tráfico realmente pretendido por la necesidad de movilidad, sino el tráfico posible en situación de atasco. Mientras no exista saturación de tráfico, el aforo refleja sin problemas la necesidad de tráfico de los núcleos emisores y receptores de tráfico en el tramo de referencia. Pero en el momento en el que el nivel de congestión de tráfico aumenta, el aforo deja de representar la medida de la necesidad de movilidad.

### **3.3. Datos Poblacionales y Productivos de Zonas Servidas**

Por ello, la evaluación de la necesidad de tráfico debe establecerse a partir de los datos poblacionales y productivos de las zonas servidas por cada tramo. Esa necesidad de tráfico se detectará normalmente (si el tramo no sufre nunca congestión de tráfico) mediante los aforos, pero en los casos en los que pueda darse congestión de tráfico el aforo no es una medida correcta, y por tanto deberá realizarse asumiendo los datos poblacionales, productivos y comerciales de los municipios servidos por esos tramos.

Existen estudios varios que evalúan la previsión de tráfico a partir de los datos poblacionales. En las simulaciones de tráfico que se realizan en proyectos y en estudios de tráfico y de movilidad urbana de conurbaciones en nuestro país y de otros países desarrollados, y como punto de partida, se realizan encuestas directas de tráfico en distintos puntos de la red viaria, para intentar fijar los comportamientos de movilidad de los ciudadanos en sus desplazamientos urbanos. Esto tiene lógica, porque la evolución de una conurbación conlleva cambios de residencia y de ubicación de centros de trabajo de sus pobladores, condicionadas por causas de carácter social, económico y urbano que se alejan del control de cualquier estudio de movilidad, haciendo imposible asumir tráficos teóricos en tramos de carretera si no se conocen las características urbanas de los núcleos de emisión y recepción de tráficos (que a su vez dependen de las horas o los días en las que realicemos el estudio).

En los casos de movilidad interurbana (que es el caso que nos ocupa en este estudio), no existen los cambios de uso entre áreas residenciales, industriales o comerciales que se pueden dar en los núcleos urbanos, lo que aparentemente aporta más estabilidad a los datos y debería de permitir la utilización estable de formulaciones para el cálculo de tráficos derivados de las poblaciones. Sin embargo, los continuos cambios de costumbres y cambios de ubicación en los centros emisores y receptores de actividad económica (nodos industriales y nodos de consumo), derivados de la propia evolución de la actividad económica (con diversificación de productos y destinatarios) provocan a corto plazo mutaciones inmediatas de comportamiento de los tráficos interurbanos, y a largo plazo cambios de las masas poblacionales, que multiplican el efecto del cambio de comportamiento en la movilidad.

### **3.4. Fijación de Coeficiente de Tráfico Previsible**

Por ello, es preciso definir en cada momento la necesidad de tráfico de cada tramo. Y la forma estable para hacerlo es comparar el aforo real con los datos poblacionales y productivos. En los tramos en los que no existe saturación de tráfico, el aforo medido será la medida de la necesidad, pudiéndose fijar un ratio de movilidad en función de la población servida por los tramos. En los tramos en los que existe saturación, el aforo no será una medida, y la necesidad de movilidad se definirá aplicando el ratio calculado para los tramos sin saturación.

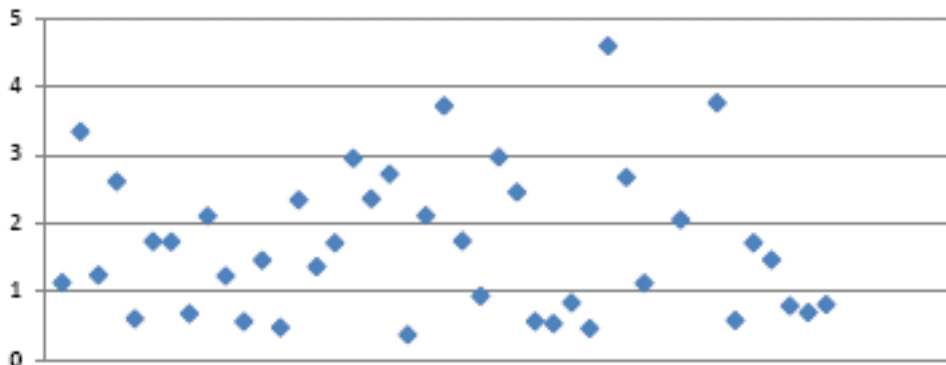
En estudio realizado por Alcalde Ciudad (2013) (Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Pública de Navarra), se seleccionaron 42 tramos de carretera no saturados, cuyas poblaciones servidas son fáciles de detectar. Son tramos "finalistas", esto es, tramos de carretera que tienen como uno de sus límites una población sin actividad económica productiva. En estos casos, el nivel de trabajadores externos a la población que precisan desplazarse a ésta es mínimo, y puede considerarse como tráfico derivado directamente de la movilidad residencial. Por tanto, estos tramos contaban con las siguientes características:



- Contar con medición de aforos efectuada por el Gobierno de Navarra
- Ser carreteras interlocales, con uno de sus límites en una población sin actividad productiva de referencia y sin conexión a otros núcleos poblacionales o productivos que pudiese provocar tráfico por el tramo estudiado

Los resultados de la evaluación de los 42 tramos dan valores dispersos, como se ve en la Figura 7, derivados de que las poblaciones no tienen características sociales semejantes:

**Figura 7. Movimientos de vehículos por habitante en poblaciones seleccionadas**



Por ello, eligiendo las poblaciones que cuentan con población activa y ocupada mayor, que precisa movilizarse para el trabajo en otras poblaciones (a excepción de los ciudadanos que trabajan en servicios o comercio local), los datos resultantes son más homogéneos, y se resumen en una relación media de la Intensidad Media Diaria a población servida de 1,67 vehículos día y habitante.

Una vez obtenidos los movimientos teóricos para poblaciones sin actividad económica (aparte de la actividad de servicios locales), podemos extrapolar los datos a las poblaciones con actividad productiva cuyos tramos de carretera no estén saturados. En éstas últimas poblaciones, el aforo existente, al ser un reflejo de la movilidad real, nos permite obtener el coeficiente de tráfico previsible derivado de la actividad productiva.

El coeficiente de tráfico previsible derivado de la actividad productiva se ha fijado en vehículos/día y m<sup>2</sup> de áreas industriales. Ese coeficiente, además, está contrastado por los controles de aforos realizados periódicamente en áreas industriales de referencia en Navarra, en concreto el informe interno de control de aforos de polígonos industriales. No se han considerado específicamente los coeficientes de tráfico previsible que generan las actividades comerciales locales, por varias razones:

- Para el caso de las actividades comerciales que se ubican en los centros urbanos, los movimientos de tráfico se provocan en las redes locales, que no son objeto de este estudio. Aunque sí pueden atraer, en algunos casos, tráfico de otras poblaciones, esos tráficos se han considerado como generados directamente por la actividad residencial, dado que su volumen es bajo comparado con la actividad general de tráfico. Además, los movimientos generados en tráfico de consumo coinciden con los períodos de bajo tráfico en las redes interurbanas, por ser períodos de baja producción (generalmente horarios no laborables en actividades productivas).
- Para el caso de los centros comerciales, ubicados casi exclusivamente en los extrarradios de los principales núcleos urbanos de la comunidad (Pamplona y Tudela), aunque sí generan más movimiento interurbano de vehículos que los

comercios normales, con aforos conocidos y que aportan datos para la movilidad interurbana (son los utilizados para el cálculo de aparcamientos y de soluciones viarias de acceso), estos nodos de actividad comercial son escasos. Además, se están ubicando en áreas industriales de estas ciudades (que ya se consideran como generadoras de tráfico según los controles de aforo aplicados para la actividad productiva), y no existe saturación en ninguna de las redes interurbanas que acometen a ellos, por lo que no han sido considerados como nodos específicos de actividad.

Por ello, el tráfico previsible en los distintos tramos que acometen a poblaciones con actividad económica se ha asumido como la suma de tráfico previsible residencial (mediante la aplicación del coeficiente de tráfico previsible residencial a sus poblaciones) más el tráfico previsible por razón productiva, a partir de los datos obtenidos por el control de aforos en áreas industriales. Y los resultados son aproximadamente coincidentes con los datos de aforos totales en los tramos que no sufren saturaciones. Para los tramos que pueden sufrir saturación, se han asumido como tráficos previsibles los resultantes del sumatorio de tráficos generados por la actividad residencial (a partir de los coeficientes de tráfico previsible de carácter residencial que se han obtenido en los tramos de muestra elegidos) y de tráficos generados por la actividad productiva (a partir de los coeficientes de tráfico previsible de carácter productivo, extraídos de los datos de aforos de las áreas industriales).

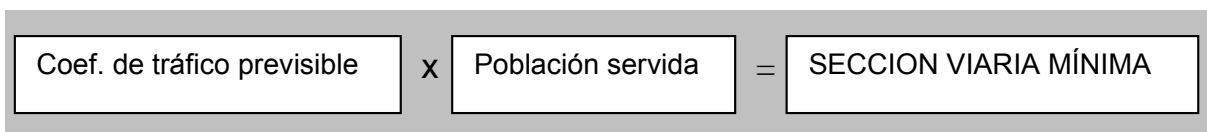
#### 4. Simulación de Red de Carreteras por Tramos de Estudio

Para diseñar un tramo de carretera, y en caso de conocer el tráfico previsible, sería necesario definir una sección viaria y un trazado capaces de garantizar una velocidad media y, con ella, soportar un nivel de tráfico mínimo para servir a los requerimientos de movilidad.

##### 4.1. Asignación de Sección Mínima a cada Tramo

En nuestro caso, una vez fijado el coeficiente de tráfico previsible, podemos conocer el nivel de tráfico previsto (Figura 8) (el resultante de aplicar el coeficiente a los núcleos emisores de tráfico de ese tramo) y, a los efectos de nuestro estudio, la sección viaria que atendería ese tráfico.

Figura 8. Esquema de simulación de sección mínima viaria



La sección mínima necesaria para garantizar el tráfico previsto aporta, a partir de los cálculos realizados en este estudio, capacidades de tráfico y costes para cada una de las tipologías de carretera existentes en Navarra (Tabla 1), que permiten la comparación con la realidad.

##### 4.2. Comparación de Eficiencia

Así, aplicando los datos recogidos en la Tabla 1 (tanto para la sección mínima elegida para atender un tráfico previsible, como para la sección de viario realmente existente en cada tramo), podemos comparar los costes reales y simulados del tramo, obteniendo como resultado un coeficiente que refleja la eficiencia de la inversión realizada.

En la figura 9 se resume gráficamente los tramos de la red viaria que han sido objeto de simulación, porque sus tráficos previstos en cada tramo pueden ser satisfechos con secciones viarias menores que las existentes.

**Figura 9. Tramos de red viaria con secciones mínimas necesarias menores que la realidad**



Como resultado de la aplicación de las secciones mínimas que garantizan la atención al tráfico previsto, tenemos capacidades viarias menores, pero suficientes para atender las necesidades, y tenemos costes menores, que comparados con los costes actualizados de la inversión realmente realizada, reflejan el grado de eficiencia de la inversión. Tras esta simulación, podemos resumir la red viaria de Navarra según las secciones viarias mínimas que atenderían al tráfico previsto, concluyendo que los costes de inversión necesarios para la atención al mismo tráfico que el existente serían notablemente menores que los costes actualizados de la inversión realizada en la realidad (Tabla 2).

**Tabla 2. Resumen comparativo de simulación de red de carreteras en Navarra**  
**COMPARACION ENTRE SECCION REAL Y SECCION MÍNIMA NECESARIA (RED CARRETERAS NAVARRA)**

	Carriles	Nivel de servicio	Situación real		Resultado de simulación	
			kms	Coste (€)	kms	Coste (€)
1 Ctra interés local	1 carril	Local	2.166,43	2.281.032.000	2949,71	2.212.282.500
2 Ctra interés foral	2 carriles	Interlocal	1.021,04	1.531.012.500	395,18	426.794.400
3 Ctra interés general	2 carriles	Regional	232,34	402.934.950	66,57	95.860.800
4 Ctra altas prestaciones	2 carriles	Interregional	50,77	136.317.600	179,66	323.388.000
5 Vía desdoblada	3 carriles	Nacional	25,6	97.396.200	206,74	539.591.400
6 Autovía	4 carriles	Internacional	220,71	874.011.600	15,31	59.249.700
7 Autopista	4 carriles	Internacional	111,95	573.348.440	15,67	81.484.000
<b>TOTAL</b>			<b>3.828,84</b>	<b>5.896.053.290</b>	<b>3.828,84</b>	<b>3.738.650.800</b>

El grado de eficiencia de la red de carreteras es, según este estudio, el resultado de dividir el coste de la sección simulada (la mínima sección que sería capaz de garantizar el servicio requerido) por el coste actualizado de la inversión realizada. Así, a mayor coeficiente, mayor grado de eficiencia.

## 5. Conclusiones

Como conjunto, podemos concluir que, bajo las suposiciones utilizadas para este estudio, el grado de eficiencia de la red de carreteras en Navarra es del 63,41% en su conjunto, siendo los tramos de mayor eficiencia los correspondientes a las vías desdobladas (donde alcanzan el 85%) y las carreteras de altas prestaciones (donde alcanzan el 68%). Las carreteras de interés foral, autovías y autopistas son las menos eficientes (con grados de eficiencia que alcanzan, respectivamente, 60, 59 y 50% de eficiencia). No obstante, debido a la cantidad de inversión necesaria (derivada de la dimensión de los tramos de diferentes tipologías), la mayor atención debe ser prestada a las tipologías de carreteras de interés local e interés foral, en cuanto a la eficiencia se refiere. En esos casos es donde existen mayores diferencias absolutas entre la inversión realizada y la inversión necesaria.

El estudio realizado ha utilizado datos generales ya obtenidos por otras fuentes (principalmente el Gobierno de Navarra y sus sociedades públicas), y pretende exponer la utilidad de la valoración comparativa entre la inversión realizada y la inversión mínima suficiente en la red de carreteras de Navarra.

El nivel de detalle de los datos ha sido el suficiente para la exposición y conclusiones buscadas, si bien un estudio más profundo de los datos y de las tipologías de carreteras y de la utilización particularizada en tramos horarios permitiría detallar más las capacidades reales de cada tramo, obteniendo formulaciones más precisas de los coeficientes de tráfico previsible y consiguiendo así más detalle en la valoración comparativa.

Siguiendo las mismas pautas propuestas en este estudio, se puede plantear un estudio comparativo para otras áreas geográficas, y un estudio comparativo de inversiones entre regiones.

## 6. Referencias Bibliográficas

- Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra, 2012. *III Plan Director de Carreteras de Navarra 2010-2018*. Pamplona, España. Publicaciones del Gobierno de Navarra.
- Transportation Research Board, 1998. *Highway Capacity Manual*. (Special Report, 209). Washington, DC. Washington Research Council.

Reglamento General de Carreteras, 1994. *Real Decreto 1812/1994 del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente*. BOE-A-1994-20934.  
Ministerio de Fomento, 2012. *Cuadro de precios de referencia de la Dirección General de Carreteras*. Nota de Servicio de la Subdirección General de Estudios y Proyectos.  
Alcalde Ciudad, Francisco, 2013. *Estudio de cuantificación y ocupación de las infraestructuras de transporte en Navarra*. ETSIlyT. Universidad Pública de Navarra.