

# EXPLANATORY AND PREDICTIVE MODEL FOR INFRASTRUCTURE DIMENSIONING

María Senosiain Corera  
senosiain.126349@e.unavarra.es

Faustino N. Gimena Ramos  
faustino@unavarra.es

José Vicente Valdenebro García.  
jvv@unavarra.es

*Abstract*— A procedure associated with infrastructures called Explanatory and Predictive Infrastructure Sizing Model is presented, the purpose of which is to carry out the study of infrastructures always following the same methodology. Through its application, a complete analysis of the infrastructure is obtained for its planning, management and assessment in order to detect, among others, certain critical aspects and points for improvement. In this analysis, infrastructure refers to the material base that determines the social structure, development and sustainability. The different existing analysis models are focused on a single type of infrastructure or aspect, for example, the economic one, and are not applicable to the study of others. The new model proposed can be used for all infrastructure with a material base, in addition to studying different aspects such as need, cost, performance, development or sustainability. The methodology developed has been divided into three sub-models called explanatory-descriptive, explanatory-justifying and predictive-conclusive. The application of the explanatory-descriptive sub-model involves defining, characterizing, prioritizing and quantifying the infrastructure. Thanks to this, the main points to be analyzed are precisely known, thus improving the quality of the results obtained. Subsequently, the explanatory-justifying sub-model is applied, where both supply and demand are studied and their current and future relationship is analyzed. Finally, the predictive-conclusive sub-model is applied in order to obtain the necessary information to determine the conclusions associated with each infrastructure studied. For the correct understanding of the Explanatory and Predictive Model, its methodology has been applied to the road network of Navarra, so that it can be taken as a sample for its use.

*Palabras clave:* Project management, infraestructuras, dimensionado, planificar, gestionar, sostenibilidad

## I. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente se denomina infraestructura [1], se considera necesario aclarar la diferencia existente entre tres conceptos que suelen ser confusos: estructura, infraestructura y superestructura. Se le denomina estructura a conjunto de relaciones que mantienen entre sí las partes de un todo. La infraestructura hace referencia a la base material que determina la estructura social, el desarrollo y el cambio social. La superestructura es el conjunto de medios ideológicos, jurídicos y políticos los cuales definen la sociedad. La palabra infraestructura originalmente significaba las instalaciones que

forman la base de cualquier operación o sistema. La palabra procedente del francés (Infrastructure), se usaba para establecer un lecho de carretera de material de sustrato necesario antes de que se pudieran colocar encima las vías del tren o el pavimento construido. En la década de 1940 fue adoptado por La Organización del Tratado Atlántico Norte (OTAN) y a partir de 1970 fue utilizado por planificadores urbanos. En este trabajo la infraestructura está formada por los medios materiales como base y soporte de una estructura [2]. Las infraestructuras están conformadas por sistemas fundamentales que respaldan la funcionalidad de los hogares y las empresas y son necesarias para el buen funcionamiento de una ciudad, de un país o de una organización. Hay que señalar que las infraestructuras conllevan las inversiones más importantes dentro de los gastos de las administraciones gubernamentales. El dinero es recaudado de la población mediante impuestos, por lo tanto, dichas construcciones son para el uso de todos. Por esta razón, es fundamental que la planificación, el desarrollo y la sostenibilidad de las infraestructuras sean lo más riguroso y efectivo para el aprovechamiento al máximo de la inversión ejecutada. Los diferentes modelos de análisis existentes están centrados en un único tipo de infraestructura o aspecto, como es el caso del económico y no son aplicables para el estudio de otras. Por ejemplo, el Modelo del Congreso Nacional del Medio Ambiente [3] (congreso cuyo objeto de estudio fueron las hidráulicas urbanas por su carácter crítico para la población), Metodología National Institute of Standards and Technology-Cybersecurity Framework [4] (modelo para el estudio de infraestructura dedicada a la ciberseguridad) o Meta-análisis del Banco Bilbao Vizcaya Argentaria [5] (modelo centrado en analizar el impacto de las inversiones en las infraestructuras y en su posterior crecimiento económico). Otro tipo de modelo que realiza este tipo de análisis es el modelo para la gestión de infraestructuras de tecnologías de información. Este modelo es exclusivo para análisis de un tipo de infraestructura muy concreto, además de que para poder aplicarlo se necesita de unos conocimientos de un nivel bastante elevado [6]. Existe un libro llamado Evaluación y análisis de modelos de infraestructura, logística, dentro de la zona, el cual también está enfocado en un único tipo de infraestructura [7]. Otro modelo con este mismo problema es en análisis geoespacial para la caracterización funcional de las infraestructuras viarias en modelos de accesibilidad territorial utilizando sistemas de información

geográfica [8]. Esto mismo también sucede con el modelo de análisis espacial para prever el impacto de la infraestructura gris y verde en la transformación del paisaje regional y urbano [9]. Ninguno de estos u otros modelos ha sido tomado como procedimiento general porque no son aplicables para todo tipo de infraestructuras construidas, siendo este el principal problema encontrado.

En este trabajo se desarrolla el denominado Modelo Explicativo y Predictivo de Dimensionamiento de Infraestructuras (MEPDI), para obtener un análisis completo de la infraestructura, para su planificación, valoración, desarrollo y sostenibilidad, con el fin de detectar determinados aspectos y puntos de mejora. Para el correcto entendimiento del Modelo Explicativo y Predictivo de Dimensionamiento de Infraestructuras se ha aplicado su metodología en la red de carreteras de Navarra, de tal forma que pueda ser tomado como muestra para su utilización.

## II. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURAS

Con la utilización de este modelo se puede obtener, por una parte, un análisis completo de la infraestructura y por otra parte se puedan detectar aspectos débiles y cuestiones de mejora con el fin de poder encontrar procedimientos para generar una mayor sostenibilidad real [10] [11].

En la Fig. 1 se resumen gráficamente el Modelo Explicativo y Predictivo de Dimensionamiento de Infraestructuras que se organiza mediante tres sub-modelos.

### A. Sub-modelo explicativo-descriptivo

Primeramente, para analizar cualquier caso de estudio se efectuará explicación descriptiva, donde se define, caracteriza, jerarquiza y cuantifica la infraestructura. Gracias a la aplicación de este sub-modelo se conocerá con precisión los puntos principales a analizar, mejorando de tal forma la calidad de los resultados obtenidos.

- Se inicia el estudio de una infraestructura analizando su propia definición. Se pretende explicar mediante unas líneas la funcionalidad de la infraestructura.

- La caracterización de una infraestructura se puede realizar una vez se haya definido ésta. Por tanto, esta segunda parte del sub-modelo está muy ligada a la propia definición e incluso se podrían desarrollar ambas conjuntamente. Consiste en determinar los atributos peculiares distinguen esta infraestructura de otras. Hay que saber detectar los aspectos importantes y plasmarlos de forma ordenada. Para una buena caracterización hay que describir aspectos tales como costes, dimensiones, capacidad u otros, aunque los puntos a analizar dependerán de la infraestructura que se esté estudiando. También se deberán tratar conceptos preliminares que posteriormente se vayan a emplear para el mayor entendimiento del lector. Además de una explicación general de su funcionamiento, emplazamiento y demás información que se considere de utilidad [12].

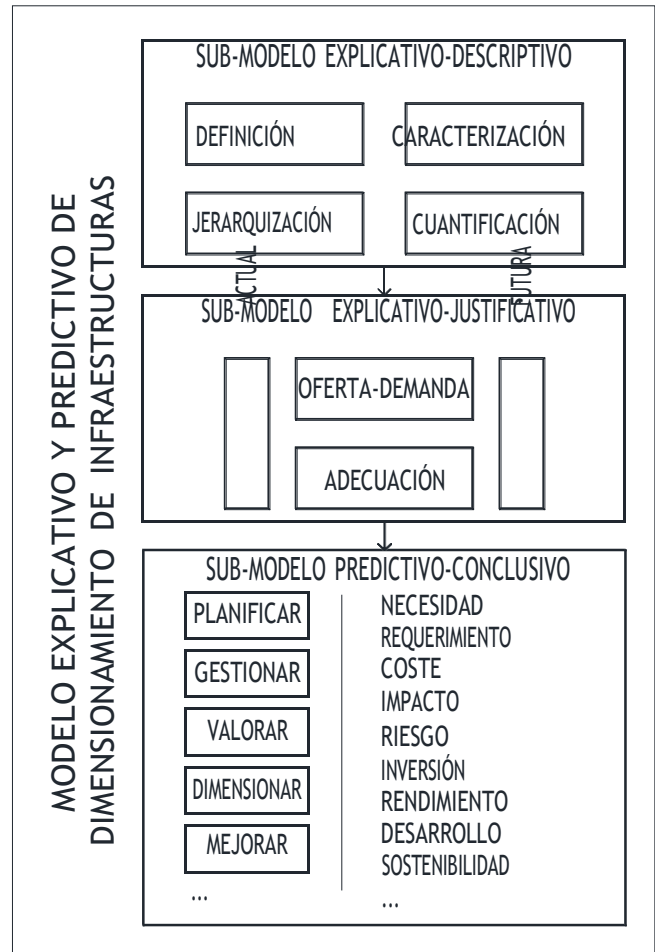


Fig. 1. Esquema del Modelo Explicativo y Predictivo de Infraestructuras

- Una vez se ha definido y caracterizado la infraestructura en cuestión, se puede proceder efectuando una jerarquización [9]. Esta consiste en organizar o clasificar de acuerdo con rangos o categorías. Mediante una jerarquización, se puede detectar elementos que ocupan una posición superior o preponderante respecto a otros. Gracias a ello, podemos diferenciar en grupos o niveles las partes que componen la infraestructura para facilitar su posterior análisis. Para asignar estos diferentes niveles hay que definir las características de cada uno de ellos, con el fin de clarificar la jerarquización.

La clasificación tradicional de una infraestructura puede ser única, como el caso de la red de carreteras, las cuales se dividen en autopistas, autovías, ... También puede ocurrir que, para una misma infraestructura, existan diferentes clasificaciones. Un ejemplo de esto último podrían ser las infraestructuras escolares, las cuales se podrían dividir según el rango de edad al que ofrecen su servicio, (escuela primaria, instituto, guardería, ...) o según sean públicos, privados y concertados. Por ello hay que saber que en función de la clasificación efectuada se obtendrán las mismas o diferentes conclusiones, por tanto, dependiendo del objetivo final del análisis se escogerá la jerarquización deseada.

Puede ser interesante jerarquizar de diferentes maneras con el fin de comparar los resultados obtenidos, pudiendo así

analizar diferentes puntos de vista de mejora o incluso resultados más claros.

- Una vez determinados los niveles o jerarquías hay que efectuar una cuantificación. Este proceso consiste en calcular la capacidad y el coste de cada nivel. Hay que conocer en función de la jerarquización realizada la cantidad de dichas infraestructuras que existen en la zona de estudio. De tal forma que se tendrían las diferentes estructuras perfectamente organizadas, caracterizadas y cuantificadas. Llegado a este punto se considera necesario clasificar y ordenar la información obtenida en forma de tabla, debido a que son muy visuales y es fácil de localizar la información deseada.

#### B. Sub-modelo explicativo-justificativo

Una vez efectuado este primer análisis descriptivo, se estudiará y justificará tanto la oferta como la demanda, ya sea actual como futura.

- Hay que disponer de información sobre las personas que utilizan las infraestructuras y con que frecuencia, además las necesidades de estas. Se obtienen datos sobre la oferta y la demanda actual. Se extrapola estos datos para tener información sobre la oferta y la demanda futura, con el fin de saber cuáles podrían ser las siguientes necesidades de la población. Actualmente se puede acceder a esta información fácilmente, en internet o acudiendo a oficinas donde se encarguen de ello, todo depende de la infraestructura a estudio. Para saber la oferta-demanda futura, si hay estudios realizados, se puede extrapolar con lo sucedido anteriormente. También se podrían realizar encuestas entre los usuarios para obtener la información necesariamente de ellos.

- El siguiente punto a analizar al desarrollar MEPDI, es determinar la adecuación actual y futura entre la oferta y la demanda. Comparando oferta-demanda existente en función de la cuantificación de las diferentes jerarquías y habiendo realizado un examen exhaustivo de si son suficientes infraestructuras, se puede determinar si éstas faltan o exceden, en función de tipologías u otros conceptos. Las consideraciones sobre la adecuación entre oferta-demanda obtenidas pueden variar en función de la jerarquización realizada anteriormente. Esto no quiere decir que haya una forma de clasificación correcta y el resto incorrecta, sino que realizando diferentes divisiones se podrán encontrar otros aspectos a mejorar. Después de comparar la oferta y la demanda en la actualidad, hay que realizar la adecuación de futuro. Con la oferta y la demanda que se extrapole se determina la adecuación futura. Mediante la información sobre la oferta y la demanda actual y determinada la previsión de futuro, se pueda realizar diferentes planes de actuación.

#### C. Sub-modelo predictivo conclusivo

Posteriormente al análisis explicativo, se aplicará este submodelo con el fin de obtener la información necesaria para determinar las conclusiones asociadas a cada infraestructura estudiada. En esta parte final de la aplicación del MEPDI, hay que predecir y obtener conclusiones con el fin de planificar y mejorar el servicio de la infraestructura de forma inmediata y de cara al futuro. A su vez es objetivo solucionar las necesidades asociadas a una población y prevenir el dimensionamiento más eficiente.

Se pretende al aplicar el modelo gestionar, valorar y dimensionar una infraestructura para satisfacer las necesidades existentes en la población en el presente además de que puedan ser utilizadas en años futuros, con el fin de no tener que realizar una inversión de mejora, maximizando de esta forma su rendimiento. En definitiva, se busca la mejor sostenibilidad de la infraestructura estudiada.

### III. APLICACIÓN DEL SUB-MODELO EXPLICATIVO-DESCRIPTIVO EN LA RED DE CARRETERAS DE NAVARRA

Una vez descrito el Modelo Explicativo y Predictivo de Dimensionamiento de Infraestructuras se realiza un análisis en un caso particular con el fin de mejorar la comprensión de su aplicación. En este punto se aplica el sub-modelo explicativo-descriptivo a la red de carreteras de Navarra (España).

#### A. Definición

El transporte es el traslado de un elemento de un lugar a otro, generalmente bienes o personas. Para poder lograr el transporte de estos es necesario utilizar varios elementos interaccionando entre ellos. Esta actividad es de vital importancia para el desarrollo de la sociedad. Una parte de estos elementos son las infraestructuras, sin los cuales el transporte no podría llegar a tener lugar. Por ejemplo, en el transporte aéreo se necesitan aeropuertos, en el transporte naval se necesitan puertos, canales, astilleros... en el terrestre se necesitan carreteras, túneles... Todas estas formas de transporte podrían ser analizadas mediante el modelo presentado en el capítulo anterior, pero se va a analizar el transporte terrestre, el sistema de carreteras (ver Fig. 2). La infraestructura de la red de carreteras del Estado de España está formada por las carreteras estatales integradas en un itinerario de interés general o cuya función en el sistema de transporte afecte a más de una comunidad autónoma.



Fig. 2. Diferentes carreteras de la red viaria.

Las carreteras son un medio de transporte terrestre, diferenciándose del resto debido a la utilización de carreteras asfaltadas por vehículos a grandes velocidades. Existen diversidad de vehículos, clasificándose principalmente entre de uso particular de personas o mercancías, o de uso público. Es decir, la principal característica que diferencia al transporte por carreteras del resto es que cualquiera con su vehículo puede usar esta infraestructura.

Existe una gran red de carreteras que unen todas las localidades habitadas, alcanzando así a toda la población a

servicios básicos y a su puesto de trabajo. En Navarra, la red viaria supone la mayoría del transporte producido, por tanto, es de máxima importancia, siendo esta necesaria para el transporte de personas y mercancías, así como la cohesión de la región.

### B. Caracterización

Para formar parte de la red de carreteras considerada en este trabajo, una calzada debe reunir unas características mínimas aceptadas. La primera condición imprescindible es que deben estar asfaltadas. Para ello primero de todo es el estudio adecuado de donde va a transcurrir esta vía, para así poder compactar el terreno, añadiendo diferentes piedras. Sobre esta zona ya se podrá añadir las diferentes capas de asfalto, siendo necesario pasar una máquina la cual compacte de nuevo el asfalto con la tierra. Otra característica imprescindible es que esta vía este bien señalizada y marcada, esto quiere decir que se puedan encontrar todas las señales de tráfico obligatorias y todas las líneas continuas, discontinuas, de diferentes colores... Por último, la calzada debe ser del tamaño mínimo para la circulación de un vehículo y la zona de arcén mínima y debe tener alguna utilidad. Esto quiere decir que no se tiene una carretera que fue creada por error y no tiene ninguna utilidad. Por tanto, si una carretera no cumple todas las características anteriores, no será considerada en el estudio que se va a realizar.

### C. Jerarquización

Hay que jerarquizar las carreteras para que cumplan ciertas cualidades con el fin de poder clasificarlas en función de su nivel de importancia. Para ello hay que tomar las cualidades fundamentales que diferencian a estas. Estas cualidades están reflejadas en el catálogo de la red de carreteras de Navarra del año 2012. La construcción y el mantenimiento de estas es responsabilidad de la Dirección General de Obras Públicas del Gobierno de Navarra. No se tendrán en cuenta aquellas calles o vías dentro de núcleos urbanos, siempre y cuando no formen parte de vías interurbanas. Esto es debido a que estas vías no dependen de la financiación de gobierno autonómico y además, tienen cualidades y funciones muy diferentes a la red viaria y dependerán de los ciudadanos que residan, o trabajen, tengan comercios en estos núcleos urbanos. La red viaria de Navarra está dividida en siete categorías. La jerarquización y diferenciación de la red de carreteras está reflejada en la Ley Foral 5/2007, de 23 de marzo de Carreteras de Navarra en la que se define cada grupo, en función de su tamaño y su finalidad [15].

- Autopista

Están formadas por distintas calzadas en cada sentido de circulación, separadas entre sí por un trozo de calzada no destinado a la circulación, a excepción de tramos singulares o de carácter temporal (Fig. 3). Estas calzadas no son cruzadas ni cruzan otros tipos de vías de circulación, ya sea de vehículos, ferrocarril, bicicletas...Todas aquellas propiedades que se encuentren en las proximidades no disponen de acceso directo a estas. Se suelen encontrar valladas en los márgenes para evitar la entrada externa. Es muy común encontrar controles de acceso a esta vía, en donde hay que abonar una cantidad de dinero.



Fig. 3. Autopista.

- Autovías

Están formadas por distintas calzadas en cada sentido de circulación, separadas entre sí por un elemento de calzada no destinado a la circulación, a excepción de tramos singulares o de carácter temporal (Fig. 4). Estas calzadas no son cruzadas ni cruzan otros tipos de vías de circulación, ya sea de vehículos, ferrocarril, bicicletas...Todas aquellas propiedades que se encuentren en las proximidades disponen de accesos limitados a estas. Se suelen encontrar valladas en los márgenes para evitar la entrada externa en zonas no deseadas.



Fig. 4. Autovía.

- Vías desdobladas

Están formadas por distintas calzadas en cada sentido de circulación, separadas entre si por un elemento de calzada no destinado a la circulación, a excepción de tramos singulares o de carácter temporal (Fig. 5). En este tipo de vías es habitual encontrar rotondas, además de pasos para peatones, vías para ciclistas a un mismo nivel (a no ser que por razones de seguridad se tengan que situar a diferentes niveles). Todas aquellas propiedades colindantes tienen ciertas entradas limitadas de acceso a estas vías. Estas calzadas no suelen estar valladas y suelen haber elementos de integración urbana en los márgenes.



Fig. 5. Vía desdoblada.

- Carreteras de altas prestaciones

Se trata de una sola calzada con circulación en ambos sentidos, pudiendo haber elementos de separación entre ambos carriles, por mayor seguridad (Fig. 6).

Es bastante común encontrar un tercer carril para facilitar la maniobra de adelantamiento, además incluso un cuarto carril destinado a vehículos lentos pendientes descendentes pronunciadas. Las intersecciones con otras carreteras es preferible que sean realizadas a diferentes niveles. El acceso directo a esta vía desde propiedades colindantes tiene limitaciones. Tampoco tiene vallado a excepción de algunos tramos específicos.



Fig. 6. Carretera alta prestaciones.

La jerarquización realizada hasta este momento constituye los cuatro tipos de vía de gran capacidad.

La siguiente jerarquización constituida por tres tipos de vía conforma las carreteras convencionales (Fig. 7) que son de una sola calzada con circulación en ambos sentidos, siendo las intersecciones con otras vías a un mismo nivel.

No existe limitación alguna al acceso a esta vía desde propiedades colindantes, siempre y cuando estén sujetas a lo establecido a la normativa de seguridad vial y de diseño de carreteras.



Fig. 7. Vía desdoblada.

- Carreteras de interés general

Aquellas carreteras que soportan un volumen de tráfico importante ya que forman parte de rutas inter autonómicas e internacionales (Fig. 8).



Fig. 8. Rutas interautonómicas.

- Carreteras de interés de la Comunidad Foral

Estas carreteras constituyen la red interna de carreteras de la Comunidad Foral, además de formar parte de las conexiones con las Comunidades Autónomas vecinas como Aragón, La Rioja y País Vasco o regiones limítrofes como Francia.



Fig. 9. Red de carreteras de la provincia de Navarra.

Forman parte de la red capilar de comunicaciones, favoreciendo el acceso desde carreteras como pueden ser autovías o autopistas, hasta los núcleos de población, es decir, mediante pequeñas conexiones. En este trabajo se van realizar otra jerarquización de los principales tipos de carreteras que existen en Navarra, con el fin de clarificar el estudio. Los tipos de carreteras realizados son:

- Autopista: Doble plataforma con doble carril por sentido. Carriles con anchura igual o superior a 3,65 metros y arcenes exteriores iguales o superiores a 1,80 metros. Accesos a otras vías restringido. Su capacidad es de 9600 vehículos por hora y su coste es de 5200000 €/Km.

- Autovía: Doble plataforma con doble carril por sentido. Carriles de anchura igual o superior a 3,65 metros y arcenes exteriores iguales o superiores a 1,80 metros. Su capacidad es de 9600 vehículos por hora y su coste es de 3960000€/Km.

- Plataforma única con circulación en ambos sentidos y tres carriles: Carriles de anchura igual o superior a 3,65 metros y arcenes exteriores iguales o superiores a 1,80 metros. Su capacidad es de 4720 vehículos por hora y su coste es de 2700000 €/Km.

- Plataforma única con anchura superior a nueve metros: Carriles de anchura igual o superior a 3,65 metros y arcenes exteriores iguales o superiores a 0,85metros. Su capacidad es de 1930 vehículos por hora y su coste es de 1980000 €/Km.

- Plataforma única con anchura comprendida entre siete y nueve metros: Carriles de anchura igual o superior a 3,65 metros y arcenes exteriores inferiores a 0,85metros. Su capacidad es de 1557 vehículos por hora y su coste es de 1620000 €/Km.

- Plataforma única con anchura comprendida entre cinco y siete metros: Carriles de anchura comprendida entre 2,50 y 3,50 metros sin arcenes exteriores. Su capacidad es de 933 vehículos por hora y su coste es de 900000 €/Km.

- Plataforma única con anchura inferior a cinco metros: Dos sentidos de circulación sin carriles definidos. Su capacidad es de 234 vehículos por hora y su coste es de 960000 €/Km.

#### D. Cuantificación

Una vez se han jerarquizado todos los tipos de carreteras existentes en Navarra es importante cuantificarlas. Para ello se ha tomado como medida los kilómetros existentes de cada tipo, por tanto, la siguiente Tabla I muestra los kilómetros que hay de cada tipo en total y su porcentaje sobre el total de kilómetros que hay en toda Navarra.

Las longitudes de cada tipo de calzada según la jerarquización del Departamento de Obras Públicas del Gobierno de Navarra vienen representadas en esa siguiente. Si se desea obtener más información se puede encontrar en catálogo completo del Gobierno de Navarra de la red de carreteras.

TABLA I LONGITUDES DE LAS CARRETERAS SEGÚN EL DEPARTAMENTO DE OBRAS PÚBLICAS DE GOBIERNO DE NAVARRA 2020

| Tipo de vía                                 | Longitud (Km) | %            |
|---|---------------|--------------|
| Autopista                                   | 112           | 2,92         |
| Autovía                                     | 221           | 5,76         |
| Vías desdobladas                            | 26            | 0,67         |
| Carreteras de altas prestaciones            | 51            | 1,33         |
| <b>Total vías gran capacidad</b>            | <b>409</b>    | <b>10,68</b> |
| Red de Interés General                      | 232           | 6,07         |
| Carreteras de interés de la Comunidad Foral | 1021          | 26,67        |
| Carreteras locales                          | 2166          | 56,58        |
| <b>Total vías convencionales</b>            | <b>3420</b>   | <b>89,32</b> |
| <b>Total</b>                                | <b>3829</b>   | <b>100</b>   |

En esta tabla se puede observar el predominio mayoritario de las vías convencionales frente a las vías de gran capacidad, un 89,32% frente a un 10,68%.

Esto es debido a que Navarra está cubierta de pequeñas localidades a las cuales hay que dar servicio de carreteras para satisfacer las necesidades básicas o convencionales. Navarra consta de 272 municipios, algunos de ellos están en zonas de difícil acceso, como puede ser los pueblos ubicados en la vertiente cantábrica o el pirineo.

#### IV. APLICACIÓN DEL SUB-MODELO EXPLICATIVO-JUSTIFICATIVO EN LA RED DE CARRETERAS DE NAVARRA.

En este cuarto capítulo se aplica el sub-modelo explicativo-descriptivo asociado al Modelo Explicativo y Predictivo de Dimensionamiento de Infraestructuras a la red de carreteras de Navarra (España).

##### A. Demanda y oferta actual

Para saber la demanda existen en la actualidad, se van a tomar los datos de dos formas diferentes: mediante los aforos de las carreteras que se encuentran en la página web del departamento de Fomento del Gobierno de Navarra y mediante el conocimiento de las poblaciones colindantes y sus habitantes. Desde la página web anteriormente nombrada, se pueden obtener datos como son las denominadas intensidades medias diarias (IMD) [16]. Estos datos son obtenidos mediante estaciones distribuidas en toda la red de carreteras y dan datos de vías de altas capacidades y carreteras locales que son de gran importancia para la comunidad autónoma.

La intensidad media diaria anteriormente nombrada, es el valor medio de tráfico que se puede encontrar en una calzada concreta, pero es importante tener en cuenta que este tráfico puede ir variando a lo largo de las horas y según el día. Esto quiere decir que el tráfico se verá maximizado en horas punta de los días entre semana, en todas aquellas carreteras de acceso a ciudades.

Por ello, si se compara el número de vehículos que circulan en una vía en un día, con la capacidad máxima de la vía en un día, no se obtendría ninguna información relevante. Esto es así ya que en los momentos de hora punta, muchos vehículos querrán circular, pero en otras horas, la calzada no estará tan demandada. Para solucionar este problema, se van a comprar los vehículos máximos por hora, de tal forma que, al reducir el estudio de día a hora, es más preciso el estudio.

También hay que tener en cuenta las variaciones anuales, semanales y diarias. Las diarias como se ha comentado anteriormente, varían en función de la hora, siendo la máxima demanda en las horas punta (los niños van a la escuela, los adultos al trabajo...).

En caso de las variaciones semanales, se distinguen días laborales y días festivos. Los días laborales las carreteras suelen estar más concurridas en accesos a ciudades, polígonos... En cambio, los días festivos no suele haber tantos problemas de tráfico. Dentro de las variaciones anuales, suelen ser más significativos los meses de vacaciones, julio y agosto, ya que mucha gente sale de las ciudades camino a la playa u otros lugares. Esto provoca la disminución del tráfico en grandes ciudades.

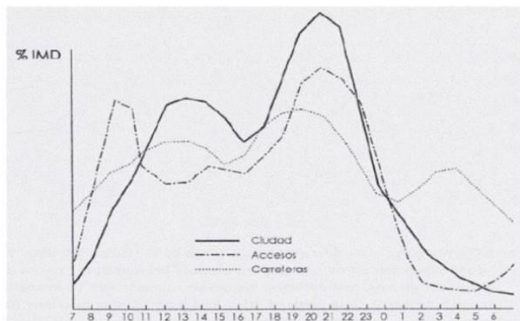


Fig. 10. Intensidad del tráfico diaria en función del tipo de carretera

En este análisis, al necesitarse la intensidad máxima de una vía, se va a analizar entre las 20:00 y las 21:00, ya que como se puede ver en la Fig. 10, se produce la máxima intensidad en todo tipo de carreteras. La intensidad media diaria varía entorno a un 10% en este horario. Si no se tienen en cuenta las fluctuaciones semanales y anuales, con la IMD y el 10%. Por ello, para calcular la demanda, se va a utilizar un método usado en muchos países del mundo, dimensionar las vías a partir de la intensidad de hora 30, IH30. La intensidad de hora 30 se refiere al valor de tráfico que solamente es superado en 30 horas. Estas 30 horas indican que el 99,7% del tiempo no se supera ese valor, pero además es el codo que relaciona la gráfica entre la intensidad y el número de horas al año. El valor IH30 tiene en cuenta las fluctuaciones semanales y anuales, además de las diarias, por tanto, es más fiable que el 10% del IMD. Es importante destacar que 30 horas en todo el año no van a tener una buena calidad del servicio, pero 30 horas de 8760 horas totales de todo el año no es una pérdida de gran importancia. El valor de IH30 puede oscilar hasta un 14% el IMD. Estas fluctuaciones son menores en zonas urbanas, pero son superiores en zonas de interés turístico. Este estudio va a realizarse en Navarra, estando compuesta mayoritariamente por carreteras interurbanas y rurales, se puede considerar 14% de fluctuación del IMD de

demanda máxima por hora. Además, como se ha mencionado anteriormente, es necesario saber o los aforos de tráfico, o en aquellas de desplazamiento entre núcleos de poblaciones como Pamplona, Estella, Tafalla... se necesitarán los datos de población, los cuales se van a recopilar del Instituto de Estadística de Navarra [16].

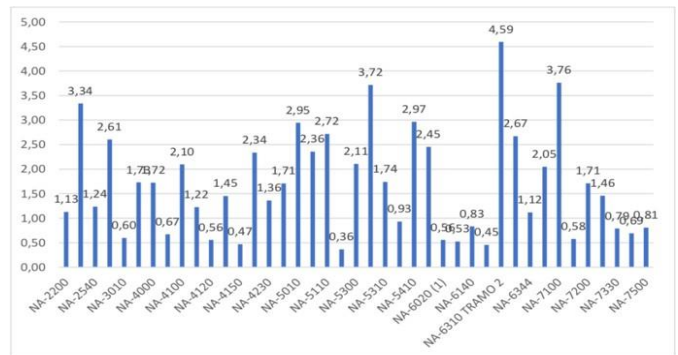


Fig. 11. Intensidad Media Diaria en carreteras

Con los datos de aforos que se tienen hay que deducir que IMD a cada población, pero este procedimiento es exclusivo para carreteras locales que se tiene su aforo y son rurales o interurbanas [17].

TABLA II INTENSIDAD MEDIA DIARIA POR POBLACIÓN

| IDENTIFICACIÓN  | No m b r e                               | LON GIT U D (Km) | POB LA C IÓN SER V ID A | IM D | IM D / POB LA C IÓN SER V ID A |
|-----------------|--|------------------|-------------------------|------|--------------------------------|
| NA-2200         | Bigüézal - Castillo - Nuevo              | 4,20             | 71                      | 80   | 1,13                           |
| NA-2520         | Olague-Zubiri                            | 13,30            | 59                      | 197  | 3,34                           |
| NA-2540         | Almandoz-Irurita                         | 9,15             | 399                     | 493  | 1,24                           |
| NA-2600         | Errat zu-Francia                         | 11,90            | 579                     | 1509 | 2,61                           |
| NA-3010         | Tudela-Ábitas                            | 7,87             | 2843                    | 1692 | 0,60                           |
| NA-4000         | Lesaka-Oiartzun (Hasta Lesaka)           | 2,80             | 2586                    | 4472 | 1,73                           |
| NA-4000         | Lesaka-Oiartzun                          | 16,58            | 188                     | 324  | 1,72                           |
| NA-4040         | Doneztebe- Santesteban - Saldias         | 17,28            | 1009                    | 679  | 0,67                           |
| NA-4100         | Aizolain-Lizaso                          | 16,74            | 1590                    | 3337 | 2,10                           |
| NA-4114         | Orokiet a-Saldias                        | 14,19            | 169                     | 207  | 1,22                           |
| NA-4120         | Gulina-Ardst egui                        | 13,74            | 334                     | 186  | 0,56                           |
| NA-4140         | Ihaben-Etxaleku                          | 4,59             | 157                     | 228  | 1,45                           |
| NA-4150         | Leit za-Goizuet a-Hernani                | 29,53            | 895                     | 419  | 0,47                           |
| NA-4210         | Valle de Ezcabart e                      | 7,82             | 282                     | 659  | 2,34                           |
| NA-4230         | Lizaso - Arraitz - Orkin                 | 7,41             | 895                     | 1216 | 1,36                           |
| NA-4400         | Etxalar-Francia                          | 11,76            | 826                     | 1411 | 1,71                           |
| NA-5010         | Acceso A Oloritz                         | 3,63             | 224                     | 660  | 2,95                           |
| NA-5100         | Garinoin-Uzquit a                        | 15,02            | 185                     | 436  | 2,36                           |
| NA-5110         | Pueyo-Ait o de Lerga                     | 14,97            | 85                      | 231  | 2,72                           |
| NA-5200         | Ribaforada-Cortes                        | 17,15            | 6049                    | 2195 | 0,36                           |
| NA-5300         | San Martín de Unx-Olte                   | 9,75             | 458                     | 965  | 2,11                           |
| NA-5301         | Oite-Beire                               | 3,68             | 334                     | 1241 | 3,72                           |
| NA-5310         | Ujué                                     | 6,29             | 212                     | 369  | 1,74                           |
| NA-5330 TRAMO 1 | Pitillas-Sant acara-M éida               | 10,16            | 2238                    | 2085 | 0,93                           |
| NA-5410         | Sangüesa-Yesa                            | 11,82            | 347                     | 1029 | 2,97                           |
| NA-6000 (2)     | Echavacoiz-Campanas                      | 11,79            | 394                     | 967  | 2,45                           |
| NA-6020 (1)     | Carrascal-M arcilla (I) (Hasta Artajona) | 13,20            | 1832                    | 1023 | 0,56                           |
| NA-6030 TRAMO 2 | Mendigortia-Tafalla                      | 10,61            | 1731                    | 910  | 0,53                           |
| NA-6140         | Tafalla-M iranda De Arga                 | 17,35            | 916                     | 763  | 0,83                           |
| NA-6210 (1)     | Na-115-Falces- Na-122 (Hast a Falces)    | 6,00             | 2559                    | 1163 | 0,45                           |
| NA-6310 TRAMO 2 | Torres Del Río- Lazaguri a-M endavia     | 5,70             | 206                     | 946  | 4,59                           |
| NA-6340         | Allo-Ancin (Allo - A-12)                 | 9,70             | 1050                    | 2803 | 2,67                           |
| NA-6344         | Acceso a Sesma                           | 0,23             | 1240                    | 1385 | 1,12                           |
| NA-6540         | Lodosa-Alcanadre                         | 3,36             | 745                     | 1527 | 2,05                           |
| NA-7100         | Puerto de Lizarraga-Arbizu               | 7,11             | 202                     | 760  | 3,76                           |
| NA-7130         | Amescua Alta                             | 12,74            | 650                     | 374  | 0,58                           |
| NA-7200         | Sansol-Cabredo                           | 19,23            | 276                     | 472  | 1,71                           |
| NA-7230         | Viana-Aguilar de Códos (Hasta Aras)      | 7,53             | 287                     | 419  | 1,46                           |
| NA-7330         | Villanueva de Yeri-Lazcaun               | 2,53             | 397                     | 313  | 0,79                           |
| NA-7400 TRAMO 3 | Arróniz-Oleja                            | 3,23             | 55                      | 38   | 0,69                           |
| NA-7500         | Inrutzun-M idotz- Lekunberri             | 11,26            | 114                     | 92   | 0,81                           |

En la Fig. 11 se ha representado mediante un diagrama de barras los datos que han sido nombrados de las 42 carreteras, clasificados en la Tabla II

**B. Demanda y oferta futura**

Es complicado determinar con exactitud la demanda que va a existir en el futuro ya que esta va a depender de muchos factores como son los medioambientales, políticos, de población... En este ejemplo se va a determinar la demanda futura en función de la tendencia de uso que va a tener cada vía en concreto. Gracias a la tendencia se podrá obtener la información necesaria para aquellas vías que puedan necesitar de alguna modificación en el futuro. Además, muchas vías parecen estar sobredimensionadas en la actualidad, pero al realizar el estudio de la demanda de futuro se puede ver que está vía estaba dimensionada con previsiones de futuro, justificando de tal forma su sobredimensionamiento [18]. Para poder realizar todo esto, es necesario tomar las estadísticas de uso de cada carretera a estudio. Con esta información se realiza una gráfica para analizar la tendencia que siguen, mediante la obtención de la pendiente aproximada. Una vez se tiene está pendiente, se alarga en un plazo de diez años para así obtener cualquier demanda entre esos años [19].

Como se puede comprobar si se circula con un vehículo por la red de carreteras de Navarra, es muy difícil encontrar algún tipo de atasco o colapso de la red, esto es debido a que cuando se realizó la construcción de las carreteras de Navarra se tuvo muy en cuenta la demanda futura que se podía llegar a soportar. La demanda actual está lejos de los niveles máximos de red. Este sobredimensionamiento es existente en los siete tipos de carreteras a estudio, aunque es más notable en aquellas carreteras de interés de la Comunidad Foral y las carreteras locales. Todo esto se puede ver en la Tabla III.

TABLA III CAPACIDADES Y OCUPACIÓN DE LAS CARRETERAS

| Tipo de vía                                 | Longitud (km)   | Capacidad existente (vehículos x km/h) | Demanda máxima (vehículos x km/h) | % Ocupación máxima |
|---|-----------------|--|-----------------------------------|--------------------|
| Autopista                                   | 111,95          | 1.074.720,00                           | 312.145,00                        | 29,04              |
| Autovías                                    | 220,71          | 2.118.816,00                           | 428.849,00                        | 20,24              |
| Vías desdobladas                            | 25,60           | 241.152,00                             | 110.563,00                        | 45,85              |
| Carreteras de altas prestaciones            | 50,77           | 240.011,00                             | 67.257,00                         | 28,02              |
| <b>Total, vías de gran capacidad</b>        | <b>409,03</b>   | <b>3.674.698,00</b>                    | <b>918.814,00</b>                 | <b>25,00</b>       |
| Red de interés general                      | 232,34          | 464.752,00                             | 161.649,00                        | 34,78              |
| Carreteras de interés de la Comunidad Foral | 1.021,04        | 1.799.818,00                           | 264.558,00                        | 14,70              |
| Carreteras locales                          | 2.166,43        | 251.079,00                             | 187.878,00                        | 74,83              |
| <b>Total, vías convencionales</b>           | <b>3.419,81</b> | <b>4.780.649,00</b>                    | <b>614.085,00</b>                 | <b>12,85</b>       |
| <b>Total</b>                                | <b>3.828,84</b> | <b>8.455.347,00</b>                    | <b>1.532.899,00</b>               | <b>18,13</b>       |

Como se puede ver, aquellas vías que son de gran capacidad son las que mayor ocupación tienen, aunque la ocupación media de estas es del 25%, mientras que el resto de las vías (vías convencionales) la media de ocupación es de 12,85%, siendo la media total de 18,13% [20]. Las vías convencionales tienen tan poca ocupación debido a que toda localidad en Navarra tiene obligatoriamente una carretera que lo una con la red de carreteras de Navarra. Es decir, ese tipo de carreteras debe existir obligatoriamente sin dependencia de que la demanda sea muy pequeña Tabla IV. El coste total de carreteras de Navarra es de

5.896.053.290€, es decir, 9.157€ por habitante de la comunidad, por ello esta inversión debe ser controlada para que sea lo más eficiente o sostenible posible [21].

TABLA IV COSTES DE LAS CARRETERAS

| Tipo de vía                                 | Longitud (km)   | Coste                | Coste por habitante |
|---|-----------------|----------------------|---------------------|
| Autopista                                   | 111,95          | 573.348.440          | 890                 |
| Autovías                                    | 220,71          | 874.011.600          | 1.357               |
| Vías desdobladas                            | 25,60           | 97.396.200           | 151                 |
| Carreteras de altas prestaciones            | 50,77           | 136.317.600          | 212                 |
| <b>Total, vías de gran capacidad</b>        | <b>409,03</b>   | <b>1.681.073.840</b> | <b>2.610</b>        |
| Red de interés general                      | 232,34          | 402.934.950          | 626                 |
| Carreteras de interés de la Comunidad Foral | 1.021,04        | 1.531.012.500        | 2.378               |
| Carreteras locales                          | 2.166,43        | 2.281.032.000        | 3.543               |
| <b>Total, vías convencionales</b>           | <b>3.419,81</b> | <b>4.214.979.450</b> | <b>6.547</b>        |
| <b>Total</b>                                | <b>3.828,84</b> | <b>5.896.053.290</b> | <b>9.157</b>        |

Es importante tener en cuenta que las vías de gran capacidad, su coste es mayor debido la mayor anchura de la calzada. Aunque las vías de gran capacidad contribuyen al coste total un 28,5% del total, solo suponen un 10,7% de la red en cuanto a longitud. Por todo ello, estas vías deben ser construidas únicamente cuando se detecte adecuadamente un empeoramiento justificado en el servicio ofrecido. Al igual que aquellas carreteras convencionales que se deseen aumentar a doble carril, se debe justificar adecuadamente el aumento de la demanda por esa vía.

**C. Adecuación actual**

Con todos los datos obtenidos en Fig. 11 no se puede obtener una conclusión clara debido a la nula uniformidad de los datos, por ello es necesario realizar algunos cálculos. La media aritmética es de 1,65, además, por lo general todos los datos están comprendidos entre 0,5 y 3 la población. Estos datos no ofrecen la información necesaria, por lo que se necesita realizar un histograma entre la relación IMD y la población para los datos anteriores.

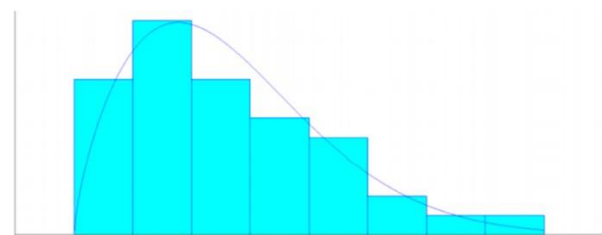


Fig. 12. Histograma Intensidad Diaria de la población

Los datos que se pueden obtener gracias a este histograma son (Fig. 12):

Distribución de Weibull (1,88, 1,96)

Número de datos: 42

Valor mínimo: 0,36

Valor máximo: 4,59

Media: 1,67

Desviación estándar: 1,05

Para obtener la demanda máxima es necesario situarse en la peor situación posible. Tomando el percentil 75, el cual garantiza que el 15% de los datos de tráfico se encuentran por debajo, es de 2,0106. El IMD de un tramo es el equivalente a 2,0106 de población pasa por ese tramo, por tanto, se asegura que la demanda que se calcula estará en el 75% de los casos por debajo de la calculada.

**D. Adecuación futura**

Para ofrecer un estudio detallado de cara al futuro, se van a analizar cada tipo de carretera por individual, debido a que algunas carreteras estarán sobredimensionadas y otras su dimensionamiento será escaso.

- Autopistas

Este tipo de vía tiene una extensión de 111,95 Km en toda Navarra (Fig. 13). En el 86% de esta no se supera el 40% de ocupación. Además, el 44% tiene una ocupación menor al 20% y un 14% tienen una ocupación entre 40% y 80% en horas punta.

Es importante tener en cuenta que este tipo de vías tienen doble carril, por lo tanto, al pasar de un carril a dos, prácticamente se multiplica por cuatro la capacidad de dicha vía. Esto quiere decir que una ocupación de 100% de una vía convencional, no llega ni al 23% en vías de doble carril.

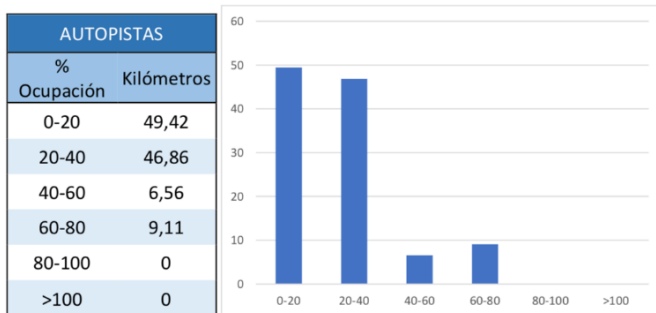


Fig. 13. Ocupación autopistas

Este tipo de vías no suele tener una ocupación igual entorno a toda la longitud de la vía, en el caso de Navarra, la mayor ocupación se suele encontrar entorno a Pamplona, en los accesos a esta. El tramo de menor ocupación se encuentra entre Tafalla y la AP68, siendo entre el 19% y el 6%. En este tramo la estructura a sido totalmente sobredimensionada y ni la demanda de futuro justifica esta inversión.

- Autovías

En Navarra hay un total de seis autovías que recorren la Comunidad Autónoma, formando un total de 220,71 Km (Fig. 14). Ninguna de estas seis llega al 40% de la ocupación. Un 65% de estas se encuentran entre el 20% y el 40%, el restante (35%) tiene una ocupación menor del 20%. Al igual que en las autopistas, la existencia de un segundo carril justifica que haya una ocupación menor al 40% pero aquellas que tengan una ocupación menor del 23% no están justificada, y por tanto es una infraestructura sobredimensionada.

Aquellos kilómetros de vía que se ha mencionado anteriormente que no llegan al 20% de ocupación, son los correspondientes a la A-21, la autovía del Pirineo y a la A-12, la autovía del Camino de Santiago (entre Estella y la Na-134).

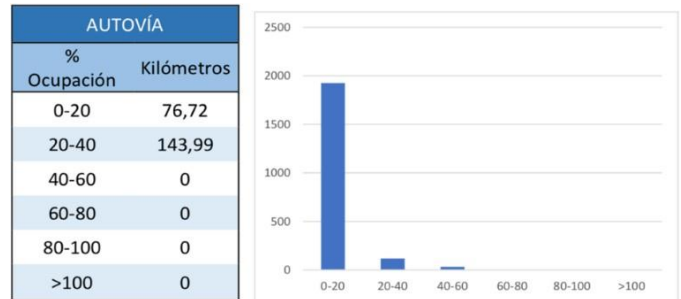


Fig. 14. Ocupación autovías

Ambas corresponden a autovías que comunican a la comunidad con otras comunidades vecinas, comunican con Logroño y Huesca, siendo ambas capitales de baja densidad de población. Ambas carreteras han sido construidas sin justificación.

Es de destacar que estas dos carreteras han sido las últimas en construirse en Navarra, siendo ambas ejemplo de la poca planificación con la que se decidió construir ambas carreteras.

- Vías desdobladas

Estas vías están formadas por 25,6 Km, los cuales se encuentran en su mayoría en los accesos a Pamplona, debido a ser la zona donde de mayor tráfico en toda la Comunidad (Fig. 15). Un 6% de todos estos kilómetros no llega al 20% de ocupación, el 33% se encuentran entre 40% y el 60%, mientras que el 61% tienen una ocupación de entre 40% y 80%.

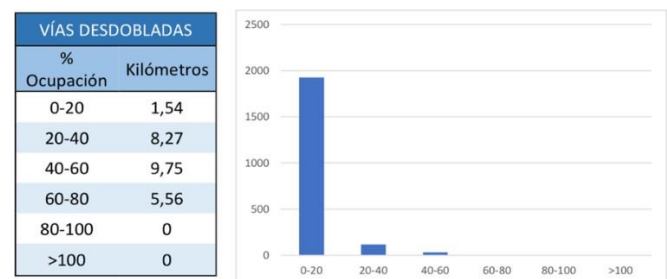


Fig. 15. Ocupación en vías desdobladas

Al encontrarse únicamente un 6% por debajo de la ocupación del 20%, este tipo de carreteras se encuentra correctamente dimensionado.

- Carreteras de altas prestaciones

Este tipo de carreteras está formado por 54,02 Km correspondientes únicamente a la N-121, conectando Pamplona con Behobia, siendo esta la unión entre la capital navarra (Fig. 16), el norte de la comunidad y el sur de Francia. Todos sus tramos tienen una ocupación máxima entre el 22,9% y el 38,6%. Todos los tramos de esta vía constan con 3 carriles, tiene una capacidad de 4443 vehículos/hora, superior a la demanda máxima existente de 1543 vehículos/hora.

La ocupación no es muy alta y con una carretera convencional de dos carriles se podría dar servicio con un tráfico de hasta el 70%, pero este sobredimensionamiento es admisible y adecuado. Por esta vía circulan muchos vehículos con cargas pesadas, los cuales van a velocidades menores, por lo que provocan retenciones. Además, es de destacar que esta carretera es la que mas muertos por accidentes de tráfico tiene en toda Navarra, por tanto, la mejora de la vía de carretera convencional a vía de altas prestaciones, se reduce la cantidad de accidentes.

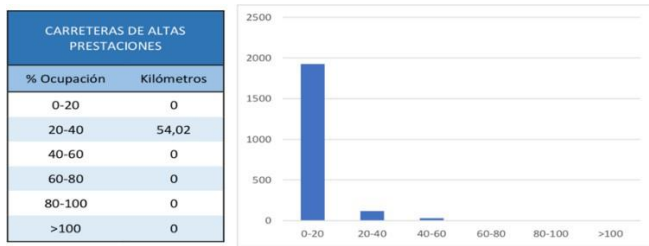


Fig. 16. Ocupación carreteras de altas prestaciones

Aun así, hay tramos de este tipo de vías con ocupación menor del 20%, estos tramos se encuentran más hacia el sur de Pamplona. Esas vías están sobredimensionadas.

- Carreteras de interés general

Este tipo de vías son las interautonómicas o internacionales, soportando grandes volúmenes de tráfico y por tanto su calzada tiene una gran anchura. Debido a la transferencia de competencias a Navarra, la titularidad de estas es provincial, a diferencia con otras comunidades, cuya titularidad es estatal. En Navarra existen 232,34 Km de este tipo de carreteras (Fig. 17). El 76% de estas vías no alcanza el 40% de ocupación con demanda máxima, mientras que el 31% ni siquiera alcanza el 20% de ocupación. También existe un 3% de estas vías que soporta una ocupación superior a la que puede soportar.

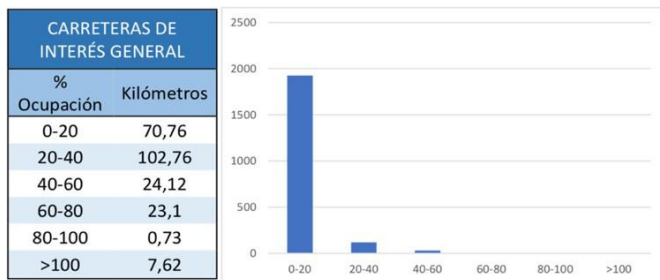


Fig. 17. Ocupación de carreteras de interés general

Gracias a la Fig. 17 se puede ver que 7,62 Km soportan una capacidad de ocupación mayor de la máxima. Estos tramos de carretera pueden llegar a una gran saturación, pero al encontrarse en los accesos a Pamplona. Este dato se puede dar debido a la generalización de los datos en el cálculo. En la determinación de la capacidad máxima mediante la Intensidad de hora 30, se tomó como valor general 14% de la IMD para todas las carreteras sin tener en cuenta las características de cada una. Este valor puede llegar a ser algo alto para accesos urbanos, si se tomase 8%, la demanda máxima se situaría en un 43%, encontrándose ahora dentro de los límites de capacidad de la vía.

La mayoría de los tramos se encuentran entre el 0% y el 40%. Los tramos con menor ocupación son los que se encuentran entre Pamplona-Francia, por Valcarlos y Baztán, además de la carretera que une Pamplona con Tudela.

- Carreteras de interés para la Comunidad Foral

Este tipo de vías están constituidos por 1021,04 Km, los cuales estructuran internamente la Comunidad Foral y con las regiones que son limítrofes. El 98% de estas vías tienen una ocupación del menor del 40%, concretamente el 27% supera el 20 de ocupación bajo demanda máxima.

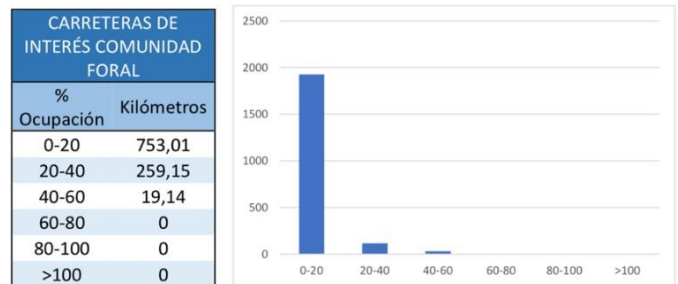


Fig. 18. Ocupación de carreteras de interés para la Comunidad Foral

Viendo los datos reflejados en la Fig. 18 hay un claro sobredimensionamiento de estas vías. La anchura de estas varía entre 7 y 12 metros, por tanto, se podría conseguir ahorrar mediante la reducción de la anchura de la vía.

- Carreteras locales

Este tipo de carreteras están colocadas para permitir la conexión entre núcleos de poblaciones con carreteras de orden superior (Fig. 19). Antes de analizar su dimensionamiento, es importante tener en cuenta que es necesaria su existencia, aunque su demanda sea baja. Está formada por 2.166,43 Km. El 93% tiene una ocupación menor del 20% y el resto ocupaciones menores del 60%.

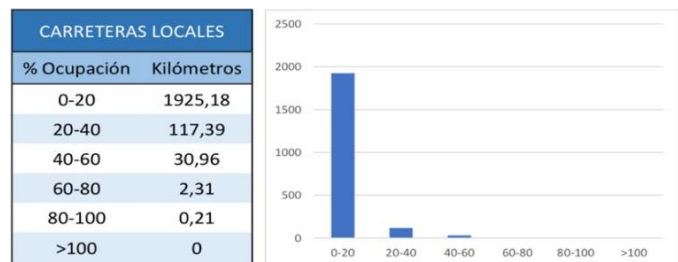


Fig. 19. Ocupación carreteras locales

Aunque pueda parecer que este tipo de vías está mal dimensionado, hay que tener en cuenta lo anteriormente dicho. Por tanto, para saber si están mal dimensionadas es necesario fijarse en la anchura de la vía.

#### V. APLICACIÓN DEL SUB-MODELO PREDICTIVO-CONCLUSIVO EN LA RED DE CARRETERAS DE NAVARRA.

En este caso, se analiza la gestión y la inversión económica en dimensionamiento, por lo que estos dos son los aspectos fundamentales de estudio.

Tras realizar las modificaciones pertinentes que se creen necesarias de cara al futuro, con el fin de concluir y determinar su sostenibilidad, se realiza una comparación entre los costes de la demanda actual con los costes de la demanda futura (Tabla V).

TABLA V COSTES PLANIFICACIÓN DE CARRETERAS

| Tipo de vía                                 | Longitud (km)   | Coste actual         | Coste ajustado a demanda | Coste con demanda futura |
|---|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Autopista                                   | 111,95          | 573.348.440          | 245.112.920              | 246.577.670              |
| Autovías                                    | 220,71          | 874.011.600          | 350.334.450              | 361.444.050              |
| Vías desdobladas                            | 25,60           | 97.396.200           | 78.791.850               | 78.791.850               |
| Carreteras de altas prestaciones            | 50,77           | 136.317.600          | 54.844.650               | 54.844.650               |
| <b>Total, vías de gran capacidad</b>        | <b>409,03</b>   | <b>1.681.073.840</b> | <b>729.083.870</b>       | <b>741.658.220</b>       |
| Red de interés general                      | 232,34          | 402.934.950          | 175.040.100              | 219.069.900              |
| Carreteras de interés de la Comunidad Foral | 1.021,04        | 1.531.012.500        | 588.437.100              | 929.108.250              |
| Carreteras locales                          | 2.166,43        | 2.281.032.000        | 1.147.195.350            | 1.789.673.850            |
| <b>Total, vías convencionales</b>           | <b>3.419,81</b> | <b>4.214.979.450</b> | <b>1.910.672.550</b>     | <b>2.937.852.000</b>     |
| <b>Total</b>                                | <b>3.828,84</b> | <b>5.896.053.290</b> | <b>2.639.756.420</b>     | <b>3.679.510.220</b>     |

Como se puede observar, teniendo en cuenta únicamente la demanda actual, el coste de esta infraestructura sería de 2.639.756.420 €, pero en realidad el coste es de 5.896.053.290 €, siendo un 45% superior [20]. Es necesario que este sobredimensionada, pero se considera que el porcentaje es bastante elevado, por tanto, en general se puede decir que la infraestructura viaria de Navarra esta sobredimensionada.

Teniendo en cuenta los cálculos realizados para la demanda futura el coste que responde a esta es de 3.679.510.220 €, siendo un 62% del coste actual. Esta gran diferencia recae sobre todo en las carreteras convencionales (Fig. 20).

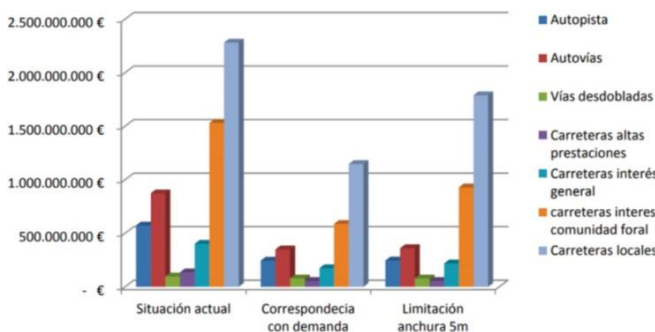


Fig. 20. Costes carreteras

Viendo los datos obtenidos se ha habido mucha inversión en la red de carreteras para garantizar un buen servicio, pero esta cuantía al no realizarse un estudio correcto no cumple su labor y podía ser mejor aprovechado. Las vías desdobladas y las carreteras de altas prestaciones son las más eficientes, es decir, en aquellas que el dinero que se ha invertido ha sido más aprovechado. Por otro lado, se encuentran las carreteras de interés foral, autovías y autopistas, siendo las menos eficientes,

respecto a su dimensionamiento en función del coste y su ocupación [22] [23] [24].

VI. CONCLUSIONES

Como consideración general se puede concluir que este Modelo Explicativo y Predictivo de Dimensionamiento de Infraestructuras puede ser utilizado para diferentes infraestructuras y con estudios de diferente finalidad, lo cual supone una ventaja frente al resto de modelos existentes en la actualidad. Esto es así debido a que se ha dividido en tres modelos, el submodelo explicativo-descriptivo, seguido del submodelo explicativo-justificativo, donde se puede obtener información del estado general de la infraestructura, y finalmente, a través del submodelo predictivo-conclusivo se puede obtener una información enfocada al objetivo de estudio. Siguiendo las pautas propuestas en este modelo se puede plantear la evaluación de cualquier infraestructura de forma similar a lo realizado en la red de carreteras de Navarra. El modelo descrito mantiene la simplicidad de su aplicación, debido a la existencia de unos simples pasos a seguir en los dos primeros sub-modelos, a la vez de la de la complejidad de poder analizar específicamente algo gracias a la flexibilidad del ultimo sub-modelo.

REFERENCIAS

- [1] Concepto ABC “Infraestructura” (2022). Recuperado de Concepto ABC, <https://conceptoabc.com/infraestructura/>.
- [2] Ranking mundial de la competitividad en infraestructura (2021). Recuperado de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción “Ranking mundial infraestructuras”, <https://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2018/RANKING%20MUNDIAL%20DE%20COMPETITIVIDAD%204.0%20EN%20INFRAESTRUCTURA%202018-2019.pdf>.
- [3] “Primera línea de defensa contra el cibercrimen” Ciberseguridad (2022). Recuperado de versia, <https://www.versia.com/tecnologia/ciberseguridad>.
- [4] “The conversation” Rumbo 2030 (2022). Recuperado de CONAMA 2018, <https://theconversation.com/es-realista-pensar-en-un-futuro-100-renovable-152186>.
- [5] “Infraestructuras y crecimiento” (2022). Recuperado de BBVA research, [https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2017/04/WP\\_Infraestructura.pdf](https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2017/04/WP_Infraestructura.pdf).
- [6] “Modelo para la gestión de infraestructuras de tecnologías de la información” Instituto tecnológico metropolitano (2022). Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/3442/344263272003/html/>
- [7] “Evaluación y análisis de modelos de infraestructura logística, dentro de la zona” Casa del libro (2022). Recuperado de <https://www.casadellibro.com/libro-evaluacion-y-analisis-de-modelos-de-infraestructura-logistica-dentro-de-la-zona/9788479932879/12250686>
- [8] “Análisis geoespacial para la caracterización funcional de las infraestructuras viarias en modelos de accesibilidad territorial utilizando sistemas de información geográfica” Repositorio universidad de Coruña (2022). Recuperado de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/11715>
- [9] “Modelo de análisis espacial para prever el impacto de la infraestructura gris y verde en la transformación del paisaje regional y urbano” ResearchGate (2022). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/327802614\\_Los\\_modelos\\_de\\_analisis\\_espacial\\_para\\_prever\\_el\\_impacto\\_de\\_la\\_infraestructura\\_gris\\_y\\_verde\\_en\\_la\\_transformacion\\_del\\_Paisaje\\_Regional\\_y\\_Urbano](https://www.researchgate.net/publication/327802614_Los_modelos_de_analisis_espacial_para_prever_el_impacto_de_la_infraestructura_gris_y_verde_en_la_transformacion_del_Paisaje_Regional_y_Urbano)
- [10] “Qué es una infraestructura” Pcweb (2021). Recuperado de Pcweb.info, <https://pcweb.info/que-es-infraestructura-definición-significado-ejemplos/>.

- [11] “Qué es una infraestructura” (2021). Recuperado de ¿Don Cómo?, <https://educar.doncomos.com/que-es-infraestructura-definición-significado-concepto>.
- [12] “¿Qué es la caracterización?” Workshop experience (2022). Recuperado de Workshop experience, <https://www.workshopexperience.com/que-es-caracterizacion-definicion-tipos-ejemplos/>
- [13] “Jerarquizar” Definición.de (2022). Recuperado de defición.com, <https://definicion.de/jerarquizacion/>.
- [14] Ley Foral 5/2007, de 23 de marzo de Carreteras de Navarra, 2007.
- [15] “Intensidad Media Diaria” Datos.gob (2022). Recuperado de datos.gob, <https://datos.gob.es/es/catalogo/a10002983-cegesev-imd-intensidad-media-diaria-ano-2019>.
- [16] “Instituto de estadística” navarra.es (2022). Recuperado de (na)sat, [http://www.navarra.es/home\\_es/Gobierno+de+Navarra/Organigrama/Lo+s+departamentos/Economia+y+Hacien+da/Organigrama/Estructura+Organica/Instituto+Estadistica/](http://www.navarra.es/home_es/Gobierno+de+Navarra/Organigrama/Lo+s+departamentos/Economia+y+Hacien+da/Organigrama/Estructura+Organica/Instituto+Estadistica/).
- [17] Intensidad Media Diaria (2022). Recuperado de datos.gob, <https://datos.gob.es/es/catalogo/a10002983-cegesev-imd-intensidad-media-diaria-ano-2019>.
- [18] “Carreteras” mitma (2022). Recuperado del Gobierno de España, <https://www.mitma.gob.es/carreteras>.
- [19] Demanda máxima (2022). Recuperado de <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/C169D52E-751B-4D68-95C2-606124AA280A/464657/AFOROSLIGEROS2019.pdf>
- [20] “Plan de aforos de tráfico” Mapa de intensidades medias diarias todos los vehículos 2019 (2022). Recuperado de navarra.es, [http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Territorio/Carreteras/Plan+de+Aforos+de+Trafico.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Territorio/Carreteras/Plan+de+Aforos+de+Trafico.htm).
- [21] “Justificación de precios” prod.fomento (2022). Recuperado del Gobierno de España, [https://prod.fomento.gob.es/recursos\\_mfom/paginabasica/recursos/a19\\_justificacion\\_de\\_precios\\_v07\\_33-ba-4270.pdf](https://prod.fomento.gob.es/recursos_mfom/paginabasica/recursos/a19_justificacion_de_precios_v07_33-ba-4270.pdf).
- [22] La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales, Ian Thomson y Alberto Bull, 2001.
- [23] Estudio de cuantificación y ocupación de las infraestructuras de transporte de Navarra, Francisco Javier Alcalde, UPNA, 2013.
- [24] Planificación de la red de carreteras de Navarra a partir de la demanda poblacional presente y futura, Alejandro Oderiz Pagola, UPNA,2021.