

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE TRÁFICO DENTRO DEL ESTUDIO INFORMATIVO DE LA AUTOVÍA ORBITAL B-40 EN BARCELONA

Marta Rojo

Profesora, Universidad de Burgos, España

Alaitz Linares

Profesora, Universidad de Burgos, España

Miguel Ángel Salas

Profesor, Universidad de Burgos, España

Nuria Bergado

Director Técnico, GPYO INNOVA, S.L., España

Carlos Ortega

Director, GPYO INNOVA, S.L., España

Hernán Gonzalo-Orden

Profesor, Universidad de Burgos, España

RESUMEN

A la hora de planificar nuevas vías, es importante utilizar todas las herramientas que estén a nuestro alcance para optimizar su diseño, de modo que no caigamos en infra o sobredimensionamientos, que pueden provocar un funcionamiento peor al esperado o un coste mucho mayor al necesario, respectivamente. Por ello, las herramientas de macrosimulación de tráfico pueden ser un interesante apoyo para este fin.

En el presente artículo, se va a exponer un caso práctico en el que el empleo de dichas herramientas informáticas ha permitido realizar un dimensionamiento más idóneo en cuanto al número de carriles de una nueva vía. En concreto, se trata del Estudio Informativo de la Autovía Orbital B-40, en el que se han utilizado técnicas de macrosimulación de tráfico para estimar las captaciones de demanda de las diferentes alternativas consideradas, y para finalmente calcular el Nivel de Servicio previsto en cada una de ellas en los diferentes horizontes temporales establecidos.

Los resultados obtenidos han permitido afinar el diseño de dicha Autovía, y la metodología empleada puede ser un ejemplo válido para otros casos de estudio similares.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de los trabajos del Estudio Informativo de la Autovía Orbital de Barcelona B-40 -tramo Terrassa-Granollers (enlace AP-7/C60)-, la empresa GPYO INNOVA, S.L. precisó la realización de un estudio de tráfico analizar las diferentes alternativas a plantear en dicho

Estudio Informativo. Conocida la experiencia del Grupo de Investigación LogIT (Logística e Ingeniería del Transporte) de la Universidad de Burgos en materias de tráfico, se les solicita colaboración para la elaboración del citado Estudio de Tráfico.

Para su realización, el trabajo se ha dividido en dos fases, con diferentes alcances

- Fase A:
 - Estudio de antecedentes
 - Recopilación de datos básicos de tráfico, movilidad y socioeconómicos
 - Análisis de planes y programas de transporte

- Fase B
 - Delimitación del ámbito de estudio y planificación de encuestas
 - Realización y codificación de las encuestas, si se considerada necesario
 - Modelización de la situación actual: calibración matriz Origen/Destino, macrosimulación de la red y cálculo de capacidades y Niveles de Servicio por tramos
 - Prognosis de tráfico en distintos horizontes temporales y modelización de las situaciones futuras a considerar: actualización del modelo de macrosimulación para conocer tráfico futuro en cada tramo y cálculo de capacidades y Niveles de Servicio por tramos, en diferentes horizontes temporales, y para cada alternativa
 - Conclusiones

El presente artículo muestra los resultados obtenidos en el citado Estudio de Tráfico, y se estructura en 5 partes fundamentales. Tras una breve introducción y exposición de antecedentes, se incluye un resumen de los antecedentes y la información más relevante recogida en la Fase A. A continuación, se muestran las bases metodológicas seguidas. Por último, se muestran los resultados del modelo de asignación y de los cálculos de Niveles de Servicio. Finalmente, se muestra un resumen de las principales conclusiones extraídas del estudio completo.

2. DATOS BÁSICOS

La denominada autovía Orbital de Barcelona, que discurrirá entre las localidades de Terrassa y Granollers, atravesando diversos municipios del entorno en función de la alternativa finalmente seleccionada, tiene una funcionalidad múltiple, sirviendo para facilitar diversas tipologías de desplazamientos:

- Tráficos entre el centro de España y el Levante con Gerona y Europa.
- Movimientos longitudinales entre localidades del corredor.

- Ofreciendo una nueva vía de circunvalación para el municipio de Barcelona, alejada de la congestión provocada por la ciudad y sus vías de acceso y comunicando los grandes municipios del área (Terrassa, Sabadell y Granollers). El cierre de dicha Ronda es una de las actuaciones previstas en el Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024 PITVI (Ministerio de Fomento, 2015), dentro de las obras de circunvalación, así como en el Plan de Infraestructuras del Transporte de Cataluña (Generalitat de Cataluña, 2006).

2.1 Datos socioeconómicos

La población del área de análisis superaba los 670.000 habitantes en 2016, representando prácticamente el 12% de la población de la provincia de Barcelona. Los principales núcleos urbanos de la misma son Terrassa y Sabadell (origen del tramo objeto de estudio) con más de 200.000 habitantes, seguido con Granollers (fin del tramo objeto de estudio) con más de 60.000 habitantes. Estos tres municipios aglutinan el 72% de la población de la zona.

Todos los municipios del entorno han aumentado notablemente su población desde 2016, con tasas de crecimiento superiores al 10-20% en algunos casos. En su conjunto, estos municipios han incrementado su población con una tasa de crecimiento anual acumulada claramente superior a la tasa de la provincia de Barcelona, aunque se aprecia una ralentización en dicho crecimiento a partir del año 2010-2012.

Por otra parte, la tasa de motorización de la zona afectada por el cierre de la Orbital, muestra unas elevadas tasas en todos los municipios directamente afectados por la traza.

Los valores en casi todos los municipios son superiores en el año 2015 a la media de la provincia de Barcelona.

2.2 Datos de movilidad

En cuanto a las pautas de movilidad, el 78,8% de los desplazamientos de Cataluña se producen en día laborable, con una media de 24,4 desplazamientos/día y 3,57 desplazamientos/persona. El tiempo medio de desplazamiento ronda los 15 minutos para los viajes intramunicipales y los 31,50 minutos para los intermunicipales.

Si analizamos el reparto modal, observamos que la proporción en día laborable es de un 40,6% vehículo privado, 14,3% transporte público y 45,1% en modos no motorizados. Pero en día festivo, la proporción de viajes en vehículo privado alcanza un 49,1%, y el transporte público desciende hasta un 6,4%. Las ocupaciones medias de los vehículos (turismos) son de 1,22 personas/vehículo en día laborable, y de 1,40 en sábado y festivo.

Analizando la distribución horaria de los desplazamientos, vemos, en los días laborables, dos grandes puntas: una por la mañana, correspondiendo a las horas de entrada a los lugares de trabajo/estudio, y una por la tarde, en la salida.

En sábados y festivos ese patrón horario se altera bruscamente, siendo la punta de la mañana más suave y además en horas más tardías, distribuyéndose más el tráfico entre las 24 horas del día.

2.3 Planeamiento urbanístico

Finalmente, se ha analizado los diferentes desarrollos urbanísticos de la zona que pueden afectar al tráfico en la Ronda Orbital, no hallándose ninguna incompatibilidad entre los posibles corredores analizados y la planificación urbanística del área de estudio. Tampoco se observan grandes bolsas de suelo urbanizable (residencial o para actividades económicas) que puedan ser especialmente relevantes para el tráfico de la zona (más allá del crecimiento habitual ya observado).

2.4 Datos de tráfico

Para el análisis de tráfico en el entorno, se ha atendido a todas aquellas vías paralelas a la nueva actuación y perpendiculares a la misma, con independencia de su titularidad. Así se ha recopilado datos de 6 estaciones pertenecientes al Ministerio de Fomento (una de ellas secundaria y el resto de cobertura), y de 44 estaciones de la Generalitat de Cataluña (entre las que sí hay estaciones permanentes). Los datos han sido obtenidos del Mapa de Tráfico del 2015 (Ministerio de Fomento, 2016a) y del Plan de Aforos 2015 (Generalitat de Cataluña, 2016).

Las vías de la zona bajo titularidad estatal soportan unos índices de intensidad diaria muy elevados, con elevados porcentajes de pesados, que en algunos casos superan el 20% de la IMD. El tráfico existente en el corredor de la A-7 oscila entre los 83.000 y 138.000 vehículos diarios, siendo superior en el acceso al entorno de Barcelona desde el levante español que desde la frontera francesa. Además, el tramo de mayor intensidad corresponde al que conjuntamente suman la A-7 (ahora AP-7N) en el tronco y la B-30 en las vías de servicio, entre las carreteras de acceso a Barcelona C-16 y C-58, si bien dicho tráfico ha sufrido un importante descenso desde el 2014.

Como complemento, se han analizado de forma exhaustiva los datos concretos de 3 estaciones consideradas de especial relevancia: 2 permanentes (la 10181608, ubicada en la C-58, y la 17-308, en la C-17) y una secundaria (la B-220-2 en la B-30). En ellas se observan las siguientes pautas:

- La intensidad existente en esta estación del corredor cuenta con un tráfico constante a lo largo del año excepto en el mes de agosto que se produce un descenso debido al periodo vacacional. Además, se producen en diciembre-enero y abril-mayo otros valles aunque menos marcados.
- La distribución del tráfico en la semana es relativamente uniforme en los días laborables, con una punta durante el viernes, y un importante descenso los fines de

semana, especialmente el domingo. Este comportamiento es similar para los vehículos ligeros y pesados, aunque la diferencia en porcentaje sobre la IMD entre laborables y fines de semana es mucho más marcada en el caso de los vehículos pesados.

- Finalmente, de los diagramas de frecuencias acumuladas de intensidades horarias, se observa que el tráfico para la hora 30 (IH-30) ronda el 8% de la IMD.

3. METODOLOGÍA

3.1 Delimitación y zonificación del área de estudio

Los términos municipales directamente afectados por el trazado de los distintos corredores considerados son los siguientes: L'Ametlla del Vallès, Caldes de Montbui, Canovelles, Cardedeu, Castellar del Vallès, Les Franqueses del Vallès, La Garriga, Granollers, Lliçà d'Amunt, Matadepera, Palau de Plegamans, Polinyà, La Roca del Vallès, Sabadell, Santa Eulàlia de Ronçana, Sentmenat y Terrassa. Sin embargo, obviamente el estudio no puede limitarse a considerar dichos municipios, sino que se ha extendido a un ámbito territorial, mucho mayor, que incluye toda la provincia de Barcelona, así como las provincias limítrofes, e incluso el resto de España.

El modelo finalmente elaborado se compone de 38 zonas, con desagregación en términos municipales en la zona de influencia más directa del nuevo tramo de Cierre de la Autovía Orbital de Barcelona, y en menor grado de detalle al alejarse de la zona de la actuación.

Todas las zonas están compuestas por municipios de forma individual o agregaciones de los mismos. La Figura 1 muestra la zonificación empleada.



Fig. 1 – Distribución geográfica de zonas

3.2 Obtención de la matriz origen/destino base

La principal fuente de datos utilizada en el proyecto han sido datos anonimizados de telefonía móvil procedentes de un operador de red. Adicionalmente, se han utilizado datos de usos del suelo y datos de población residente en España. Para ello, se ha contado con el apoyo de Kineo Mobility Analytics, una empresa tecnológica experta en el análisis de datos geolocalizados procedentes de dispositivos móviles y su fusión con otras fuentes de datos para proporcionar información sobre movilidad y demanda de transporte.

Como fuente de datos principal para el análisis de la movilidad general de la población se utilizaron datos anonimizados de telefonía móvil proporcionados por el grupo Orange España (Orange, Jazztel, Amena y Simyo), que cuenta con una cuota de mercado entorno al 27 % (CNMC, marzo de 2018). Estos datos contienen las posiciones geolocalizadas de los dispositivos móviles tanto para eventos activos (llamadas, mensajes SMS, conexiones a Internet) como para determinados eventos pasivos (cambios de áreas de cobertura, actualización de las conexiones a Internet, etc.), proporcionando una granularidad temporal muy elevada, que permite determinar con alto nivel de detalle la localización del dispositivo a lo largo del día.

En cuanto a la resolución espacial, se dispone de información de localización del dispositivo móvil a nivel de antena, lo que supone una precisión espacial de decenas/cientos de metros en ciudad y hasta varios kilómetros en zonas rurales.

Los datos proporcionados por el operador también incluyen información socio-demográfica ligada a los usuarios, como la edad y el género. Los datos utilizados en este estudio se corresponden con la actividad registrada durante el mes de marzo de 2018.

En cuanto a la población, para los procesos de elevación de la muestra se han utilizado los datos procedentes del padrón de habitantes. Se ha considerado a la población residente en España con edad superior a 16 años.

Agregando los diferentes motivos de viaje considerados, se obtuvo una matriz Origen/Destino global para un día laborable medio. Finalmente, atendiendo a los resultados obtenidos en la Fase A, a partir de la encuesta Movilia, observamos que la proporción de viajes en vehículo privado en día laborable es de un 40,6% vehículo privado, y que la ocupación media de los vehículos (turismos) son de 1,22 personas/vehículo en día laborable.

Además, es necesario tener en cuenta el factor K, correspondiente a las intensidades horarias correspondientes a la Hora 30, 50 o 100, que resulta de alrededor de un 8,3% para la zona de estudio (tomando un valor conservador). Teniendo en cuenta todos estos elementos correctores, se obtuvieron las matrices base finales de vehículos ligeros y pesados, que arrojaron valores similares a los obtenidos en la encuesta Movilia para el total de la provincia

de Barcelona, lo que aporta confianza en la fiabilidad del proceso empleado para su obtención.

Sin embargo, al aplicar dichas matrices al modelo de red, no se reproducen con exactitud los valores de tráfico registrado en las estaciones reales de aforo. Por tanto, será necesario hacer un último ajuste, que se describirá en capítulos posteriores, una vez esté elaborado el modelo de oferta o modelo de red.

3.3 Modelo de oferta

El horizonte inicial de modelización fue el año 2016, último año con datos completos de tráfico disponibles en la zona. Se incluyó en la modelización la totalidad de las principales infraestructuras viarias comprendidas en el área comprendida por los tramos existentes de la B-40, ronda litoral de Barcelona y el Eje Transversal C-25, que comunica la A-7 al sur de Girona, con la A-2 a la altura de Cervera, en la provincia de Lleida. El escenario se completó con la inclusión de otras vías de la red de carreteras de la provincia de Barcelona, que podrían suponer cierta competencia con la nueva infraestructura, o que pueden influir en los resultados del modelo.

En la Figura 2 se muestra el grafo explicativo de la red actual modelizada en el escenario base, junto con las conexiones de los centroides dicha red.



Fig. 2 – Red actual base

En total, la red actual modelizada se compone de 1232 secciones, 519 intersecciones, y de una longitud total de 1593 km (3251 km si desglosamos por carril), lo que muestra el alto grado de detalle conseguido en la misma, máxime si tenemos en cuenta la longitud total de la red de carreteras de la provincia de Barcelona, que era de 3929 km en 2016.

La red prevista para la modelización viaria futura, incluye la red actual, a la que se suma el cierre de la Orbital, desde Abrera hasta Terrassa, y desde Terrassa hacia Granollers (que consistirá en el tramo de actuación que se está evaluando). Además, se han analizado diferentes actuaciones previstas en la red, como el desdoblamiento de la C-59 entre Mollet y Caldes de Montbui, que en los escenarios futuros se ha considerado como una autovía con velocidad de proyecto 120 km/h.

El Estudio Informativo contempla seis posibles alternativas, que se estructuran en torno a dos corredores principales –Norte y Sur–. La Figura 3 muestra las diferentes alternativas consideradas.

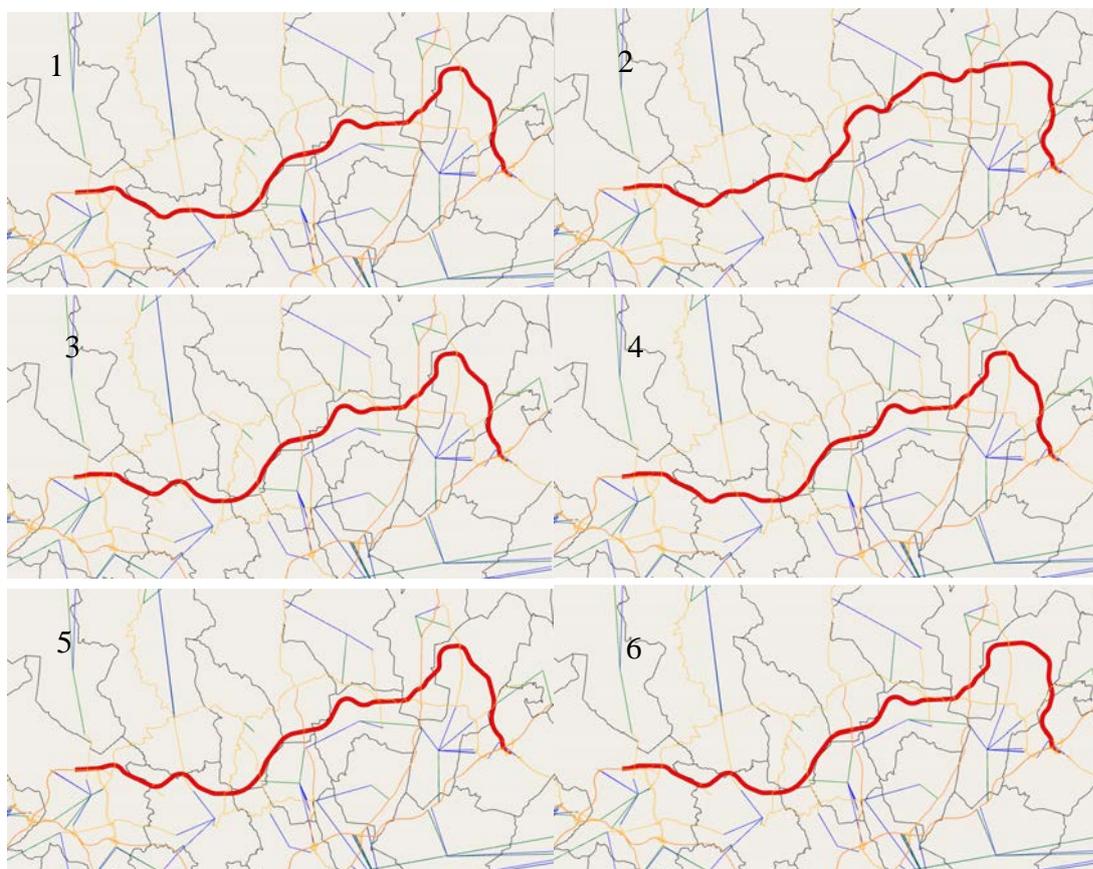


Fig. 3 – Alternativas de trazado

3.4 Modelo de asignación

El modelo de asignación se ha llevado a cabo sobre el software AIMSUN, mediante herramientas de macrosimulación, más adaptadas para el tipo de estudio que se describe. Cada tramo de la red se ha ido delineando en dicho software a partir de la información base contenida en la plataforma OpenStreetMap, actualizando en caso necesario las infraestructuras nuevas o modificadas con respecto a la misma, obviamente.

Se ha calculado, para cada tramo, el Coste Generalizado de Viaje, con una expresión similar a la que sigue:

$$CG = \frac{t_{recorrido} \cdot VST}{60} + peaje_{por\ km} \cdot Longitud \quad (1)$$

La variable VST, valor subjetivo del tiempo, se ha extraído de la Nota de Servicio 3/2014, sobre “Prescripciones y recomendaciones técnicas relativas a los contenidos mínimos a incluir en los estudios de rentabilidad de los estudios informativos de la Subdirección General de Estudios y Proyectos”, del Ministerio de Fomento.

Se ha considerado un factor de equivalencia para los vehículos pesados inicialmente igual a 3, correspondiente a terreno ondulado. Así, realizaremos la asignación bajo el método de equilibrio simple de distribución estadística con restricciones de capacidad y caminos múltiples, aplicando una función de congestión, que hace que el tiempo de recorrido de cada tramo aumente en función del tráfico que está soportando. Esta función difiere según el tipo de carreteras, y su formulación, tanto para vehículos pesados como para vehículos ligeros, es del tipo:

$$t_{recorrido} = t_0 \cdot máx \left[1 + \alpha \cdot \left(\frac{Vol}{c} \right)^\beta ; 1 + \alpha \cdot 0,985^\beta + 15 \cdot \alpha \cdot \beta \cdot 0,985^\gamma \cdot \left(\frac{Vol}{c} - 0,985 \right) \right] \quad (2)$$

El tráfico que soporta cada tramo de red influye en la velocidad del mismo, y ésta a su vez vuelve a influir en la idoneidad de dicho tramo, es decir, en el tráfico que capta. Así se genera una situación en la que ambas cuestiones –tráfico soportado y velocidad resultante– deben converger, según lo establecido en los modelos de equilibrio de usuario (Wardrop, 1952).

Dado que en nuestro caso las funciones de coste de cada arco dependen únicamente del flujo en dicho arco, es problema es separable y se puede resolver de una forma relativamente rápida mediante algoritmos como el de Frank & Wolfe (1956). Los criterios de convergencia establecidos fueron un límite máximo de 100 iteraciones o una diferencia de un 0,1% entre una iteración y la siguiente.

3.5 Ajuste de matrices origen/destino a partir de datos de aforo

Una vez que tenemos las matrices base de origen/destino (O/D) y el modelo de red, podemos introducir las primeras en el segundo y determinar el tráfico sobre cada tramo de vía. Sin embargo, es habitual (y nuestro caso no es una excepción) que el volumen de tráfico resultante no coincida con el realmente registrado en las estaciones de aforo dispuestas en la red. Por ello, es conveniente ajustar dichas matrices base, modificándolas ligeramente para que, al asignar el tráfico en la situación inicial, sea similar al realmente detectado en cada vía.

Desde cierto punto de vista, el problema de recalcular las matrices origen/destino a partir de datos de aforo se puede considerar como la inversa a un problema de asignación. En un problema de asignación, se conocen los flujos entre cada par de centroides, así como las características de la red y el modelo de comportamiento de los vehículos, y se busca encontrar el tráfico soportado por cada tramo de red. En el caso contrario, se trata de obtener una matriz O/D modificada, partiendo del tráfico realmente registrado, y teniendo en cuenta las características de la red y los modelos de comportamiento del usuario (Cascetta, 2001).

En nuestro estudio, se ha implementado una metodología de equilibrio de usuario, empleando el algoritmo de Frank & Wolfe (1956) en cada iteración, y estableciendo en este caso un número máximo de 50 iteraciones completas (cada una de ellas conteniendo un ajuste Fran & Wolfe de 100 sub-iteraciones internas). Finalmente, se han obtenido sendas matrices OD ajustadas para vehículos ligeros y pesados para el escenario base del año 2016.

Para validar la fiabilidad de dichas matrices, se han comparado los datos resultantes de la asignación de las mismas con los tráficos registrados en la red, tanto para tráfico ligero como pesado. Así, tal y como establece la Nota de Servicio 5/2014 del Ministerio de Fomento, sobre “Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informativos, Anteproyectos y Proyectos de carreteras”, se ha verificado la validación del modelo a través de las dos metodologías que siguen:

- **Análisis de regresión.** Se elaboró una gráfica de dispersión, con las parejas de valores de volúmenes de tráfico obtenidos en cada tramo mediante la asignación (eje vertical) y mediante la observación real mediante aforos (eje horizontal). Sobre él, se ha ajustado una recta de regresión, de la que se comprueba que el valor de la pendiente es cercano a 1, el valor del intercepto en el eje de ordenadas es cercano a 0 (teniendo en cuenta el volumen de tráfico del que hablamos) y el coeficiente de determinación R^2 es claramente mayor que 0,7.
- **Indicador %RMSE (raíz cuadrada del error cuadrático potencial).** Tal y como se indica en la NS 5/2014 del Ministerio de Fomento, al tratarse de una red compleja y con muchos tramos, se ha dividido el total de observaciones en dos grupos: una muestra de contraste de al menos el 10% (en nuestro caso, del 28%, seleccionados aleatoriamente) y el resto de valores. Para cada grupo, se comprobó cómo ambos valores de %RMSE son inferiores al 30%.

3.6 Prognosis de tráfico y horizontes temporales considerados

Una vez calibrado y ajustado correctamente tanto el modelo como las matrices base Origen/Destino e de vehículos ligeros y pesados, el último paso, antes de proceder a estimar el tráfico a soportar por la nueva vía, es determinar los horizontes temporales a considerar, así como el crecimiento del tráfico previsto.

En cuanto a los horizontes temporales considerados, se parte del año 2025, en que se prevé que pueda estar puesta en servicio la infraestructura analizada, y se proseguirá durante 20 años más, en intervalos de 5 años. Así, los horizontes a calcular son los siguientes: 2025, 2030, 2035, 2040 y 2045.

No es necesario añadir situaciones intermedias a éstas, ya que el resto de actuaciones en el área de estudio se pueden asimilar perfectamente a los períodos anteriores.

Por otra parte, para el crecimiento estimado del tráfico, la Nota de Servicio 5/2014 del Ministerio de Fomento recomienda tener en cuenta los valores incluidos en la Orden FOM/3317/2010, “Instrucción para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos” del Ministerio de Fomento. En ésta, se establece que el incremento anual acumulativo debe ser del 1,08% en el período de 2013 a 2016 y del 1,44% desde el año 2017 en adelante. Sin embargo, para analizar si estas tasas de crecimiento son suficientes para el área de estudio, se ha procedido a calcular tasas específicas de crecimiento para cada zona, tanto para vehículos ligeros como pesados, a fin de corregir estos valores en caso necesario.

Así, para analizar el crecimiento del tráfico ligero, se ha optado por extraer las series de población correspondientes a cada zona considerada, y se ha calculado una tasa anual para cada zona, introduciendo un peso mayor para los últimos años, como suele ser habitual. A partir de dicho valor, se han estimado las prognosis de población para los horizontes temporales considerados, y finalmente la tasa de crecimiento con respecto a nuestro escenario base, situado en el año 2016. Aunque las tasas de crecimiento resultantes son inferiores a las propuestas en la NS 5/2014, se considera más recomendable utilizar éstas, ya que se ajustan mejor a la realidad de la zona de estudio, y permiten establecer diferentes tasas de crecimiento para cada zona.

En cuanto al tráfico pesado, se ha procedido de forma similar, aunque en este caso, en lugar de la variable de población, se ha optado por otra mucho más orientada al tráfico de mercancías, como es el Índice de Producción Industrial (IPI), que tiene en cuenta la producción de bienes de consumo (distinguiendo entre consumo perecedero y no perecedero), bienes de equipo, bienes intermedios y energía. Con una formulación similar a la empleada para el tráfico ligero, se ha obtenido una media ponderada. De nuevo, esta tasa de crecimiento anual es inferior a la propuesta en la NS 5/2014, aunque se sigue considerando más conveniente emplear ésta, ya que es un valor más adaptado a la zona de estudio, en lugar de un valor agregado para todo el territorio nacional.

Por último, dado que no se dispone de datos de encuestas, no se ha podido elaborar modelos de generación de viaje sensibles a las variables de accesibilidad. Por ello, se ha optado por emplear la elasticidad media de la demanda respecto al tiempo de viaje en vías de tipo similar para determinar el nuevo tráfico inducido por la apertura de la nueva vía.

Considerando unas elasticidades de la demanda respecto al tiempo de $-0,45$ y $-1,0$ a corto y largo plazo, respectivamente, (Guirao, 2000), resultaría que el tráfico inducido es de un $1,69\%$ a corto plazo y un $3,77\%$ a largo plazo, respecto del total de viajes.

Se puede apreciar que el tráfico inducido por la nueva vía resulta un valor relativamente bajo con respecto al total de viajes, lo que resulta comprensible al no existir cambios en los usos del suelo condicionados a la realización de la actuación objeto del Estudio, sino que básicamente se trata de una redistribución de viajes como consecuencia de cambios en destinos.

4. RESULTADOS

Como resultado del proceso anteriormente indicado, se han realizado asignaciones para las seis alternativas seleccionadas en los años 2025, 2030, 2035, 2040 y 2045. Finalmente, en función de las condiciones de circulación, se calculan los Niveles de Servicio, a partir del procedimiento indicado en el Manual de Capacidad (TRB, 2016).

En primer lugar, se calcularon los resultados correspondientes a la hipótesis inicial de disponer suponiendo 2 carriles por sentido a lo largo de todo el recorrido. Sin embargo, se apreció que el Nivel de Servicio en la hora punta del año horizonte (2045) era inadmisibles en los tramos iniciales, por lo que la configuración final seleccionada fue la disposición de 3 carriles por sentido desde la conexión con la actual B-40 hasta el enlace de Sabadell Oeste.

Como se puede observar en las Tablas 1 y 2 y en las Figuras 4 a 9, aunque los resultados son similares para todas las alternativas (dado el escaso margen de trazado para las mismas), la IMD global en el año estimado de puesta en servicio (2025) varía entre los 44.300 y los 46.500 vehículos/día, siendo las alternativas de mayor captación la 1 y la 4, es decir, las que discurren más al Sur del corredor. En el escenario del año 2045, los valores de IMD rondan entre los 52.500 y los 55.400 vehículos/día. El volumen de pesados se sitúa, en todos los casos, alrededor del 10-12%, en promedio.

Estos volúmenes implican que la Autovía Orbital de Barcelona sería capaz de captar alrededor de un 30% del tráfico de largo recorrido que actualmente transita por la B-30 y la AP-7 (unos 70.000 vehículos/día), lo que respalda su funcionalidad esperada como catalizadora del tráfico de largo recorrido ajeno a la metrópoli barcelonesa. Además, aporta un importante servicio a las localidades cercanas, al permitir que gran parte del tráfico que discurre entre ellas utilice la nueva vía.

En cuanto a Niveles de Servicio, en el año de puesta en servicio se alcanzaría un Nivel D únicamente en las Alternativas 1 y 4 (aquellas que más tráfico captan), mientras que, en el año horizonte, 2045, dicha situación es generalizada.

Las únicas excepciones a la Norma 3.1-IC de Trazado son las alternativas 1 y 4, en las que el Nivel de Servicio D en sus tramos iniciales no cumple estrictamente lo establecido en la Instrucción de Trazado, aunque no se considera recomendable ampliar la sección en ellos a 4 carriles por sentido.

TRAMO/DETECTOR	SENTIDO	IMD TOTAL 2025						NS 2025					
		AIt 1	AIt 2	AIt 3	AIt 4	AIt 5	AIt 6	AIt 1	AIt 2	AIt 3	AIt 4	AIt 5	AIt 6
conexión B-40 - Terrassa Este	PK desc	69.951	66.228	67.867	69.658	67.620	67.938	B	B	B	B	B	B
	PK asc							C	B	C	C	C	C
Terrassa Este - Sabadell Oeste	PK desc	89.926	86.368	88.022	89.636	87.778	88.058	C	C	C	C	C	C
	PK asc							D	C	C	D	C	C
Sabadell Oeste - Sabadell Este	PK desc	51.210	44.563	47.635	50.518	47.600	47.918	C	B	B	C	B	B
	PK asc							D	C	C	D	C	C
Sabadell Este - Sentmenat B-142	PK desc	48.169	46.243	47.583	48.120	47.516	47.482	C	C	B	C	B	B
	PK asc							C	C	C	C	C	C
Sentmenat B-142 - Caldes de Montbui C-59	PK desc	30.558	27.211	30.571	30.281	30.604	30.552	B	B	B	B	B	B
	PK asc							B	B	B	B	B	B
Caldes de Montbui C-59 - Lliçà d'Amunt BV-1602	PK desc	38.208	38.298	37.367	37.580	37.479	38.254	C	C	C	C	C	C
	PK asc							B	B	B	B	B	B
Lliçà d'Amunt BV-1602 - Canovelles C-17	PK desc	43.984	39.547	43.144	43.357	43.254	44.024	C	C	C	C	C	C
	PK asc							C	B	C	C	C	C
Canovelles C-17 - Les Franqueses del Vallès	PK desc	25.049	28.612	24.857	25.000	24.817	24.915	B	B	B	B	B	B
	PK asc							B	B	B	B	B	B
Les Franqueses del Vallès - C-151	PK desc	32.449	34.946	32.257	32.400	32.216	31.156	B	B	B	B	B	B
	PK asc							B	B	B	B	B	B
C-151 - AP-7	PK desc	35.859	31.242	35.666	35.781	35.608	26.954	B	B	B	B	B	B
	PK asc							B	B	B	B	B	B
PROMEDIO		45.384	43.775	44.474	45.087	44.435	43.964	B	B	B	B	B	B
<i>Tráfico inducido (veh/día)</i>		767	740	752	762	751	743						
<i>Tráfico atraído de otros corredores (veh/día)</i>		44.617	43.036	43.722	44.325	43.684	43.221						

Tabla 1 – Resumen de resultados – año de puesta en servicio (2025)

TRAMO/DETECTOR	SENTIDO	IMD TOTAL 2045						NS 2045					
		AIt 1	AIt 2	AIt 3	AIt 4	AIt 5	AIt 6	AIt 1	AIt 2	AIt 3	AIt 4	AIt 5	AIt 6
conexión B-40 - Terrassa Este	PK desc	78.025	73.066	75.002	78.597	74.290	75.185	B	B	B	B	B	B
	PK asc							C	C	C	C	C	C
Terrassa Este - Sabadell Oeste	PK desc	104.176	99.077	101.192	104.724	100.637	101.360	D	C	C	D	C	C
	PK asc							D	D	D	D	D	D
Sabadell Oeste - Sabadell Este	PK desc	62.596	53.134	57.162	63.069	56.769	57.399	C	C	C	C	C	C
	PK asc							D	C	C	D	C	C
Sabadell Este - Sentmenat B-142	PK desc	55.358	52.218	54.310	55.523	54.396	54.112	C	C	C	C	C	C
	PK asc							D	D	C	D	C	C
Sentmenat B-142 - Caldes de Montbui C-59	PK desc	40.311	33.912	41.495	40.265	41.239	40.995	B	B	B	B	B	B
	PK asc							B	B	B	B	B	B
Caldes de Montbui C-59 - Lliçà d'Amunt BV-1602	PK desc	42.824	44.224	42.406	43.263	43.234	43.554	C	C	C	C	C	C
	PK asc							C	B	C	C	C	C
Lliçà d'Amunt BV-1602 - Canovelles C-17	PK desc	49.895	45.910	49.444	50.353	50.296	50.565	C	C	C	C	C	C
	PK asc							C	C	C	C	C	C
Canovelles C-17 - Les Franqueses del Vallès	PK desc	31.328	36.116	31.068	31.370	31.042	31.313	B	B	B	B	B	B
	PK asc							B	C	B	B	B	B
Les Franqueses del Vallès - C-151	PK desc	41.187	44.320	40.928	41.230	40.901	39.933	C	C	C	C	C	B
	PK asc							C	C	C	C	C	C
C-151 - AP-7	PK desc	45.371	42.757	45.087	45.388	45.146	37.861	C	C	C	C	C	C
	PK asc							C	C	C	C	C	B
PROMEDIO		53.664	51.744	52.604	53.926	52.635	52.247	C	C	C	C	C	C
<i>Tráfico inducido (veh/día)</i>		2.023	1.951	1.983	2.033	1.984	1.970						
<i>Tráfico atraído de otros corredores (veh/día)</i>		51.641	49.793	50.621	51.893	50.651	50.277						

Tabla 2 – Resumen de resultados – año horizonte (2045)

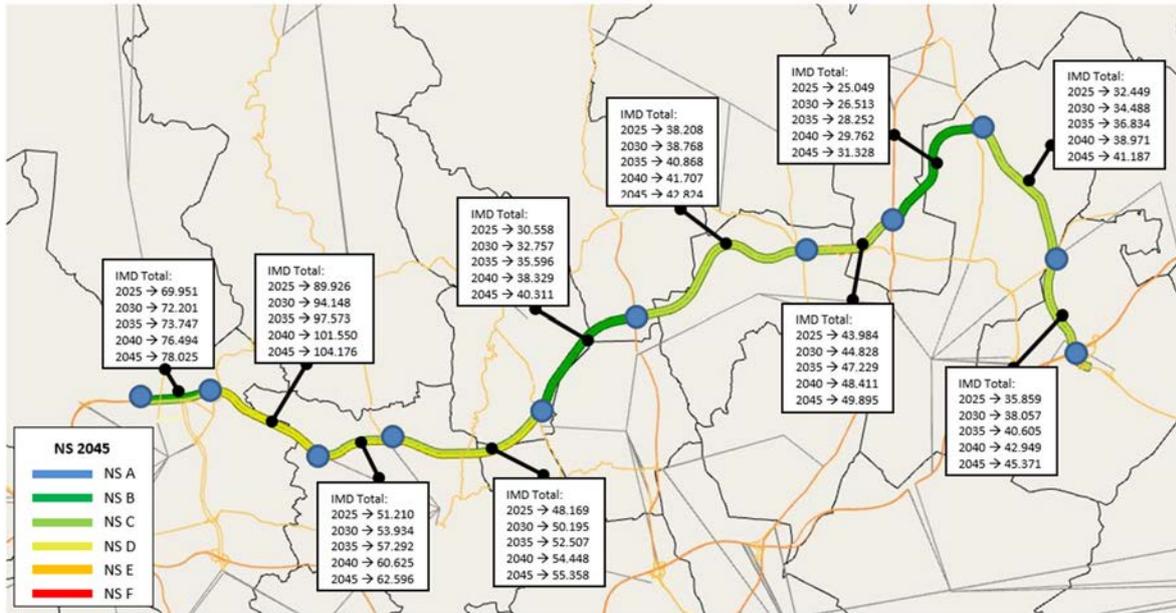


Fig. 4 – Resultados alternativa 1

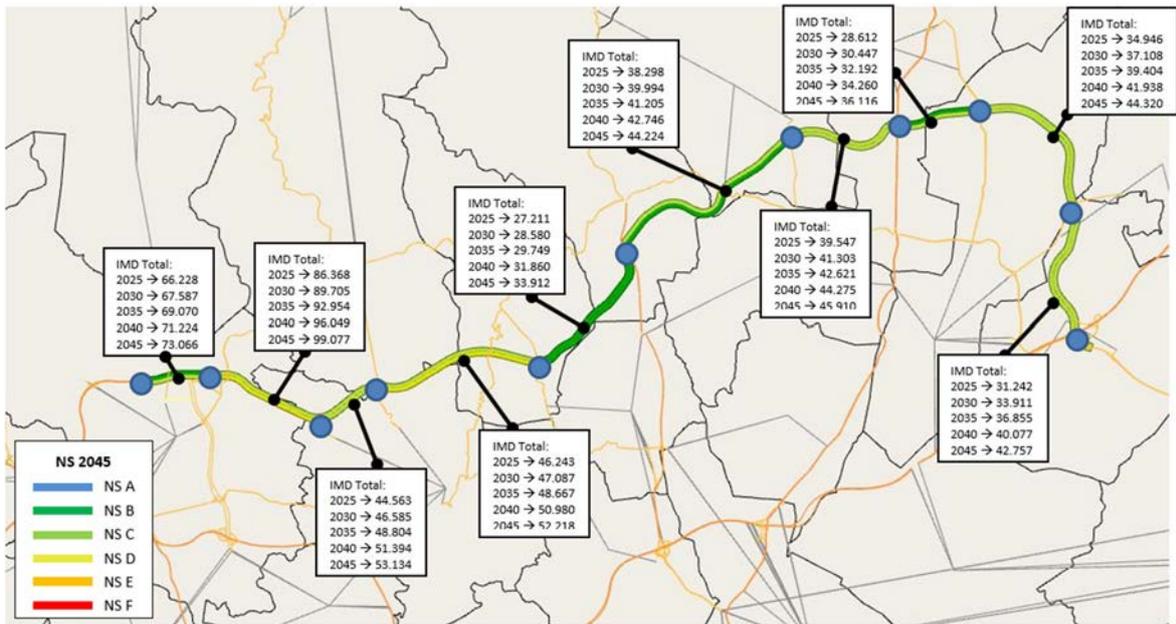


Fig. 5 – Resultados alternativa 2

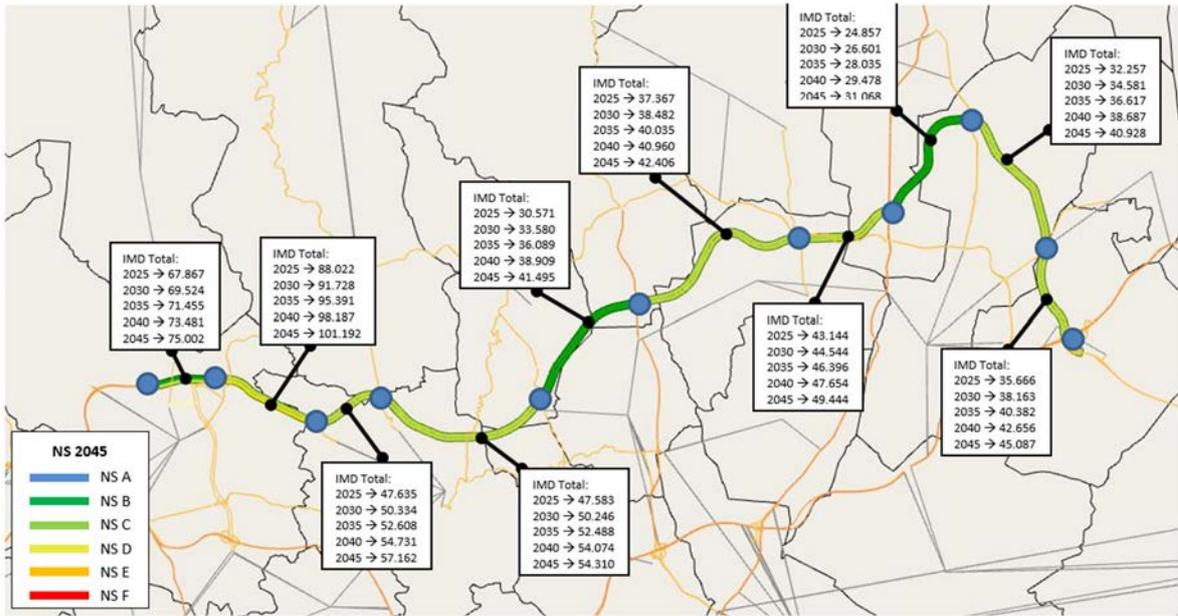


Fig. 6 – Resultados alternativa 3

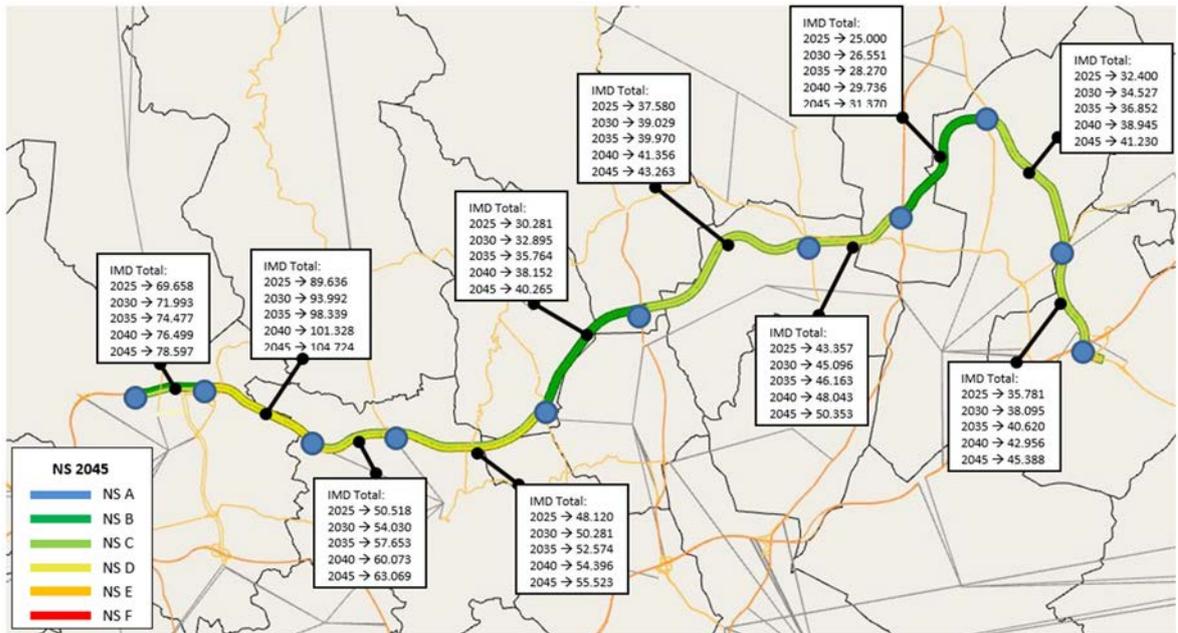


Fig. 7 – Resultados alternativa 4

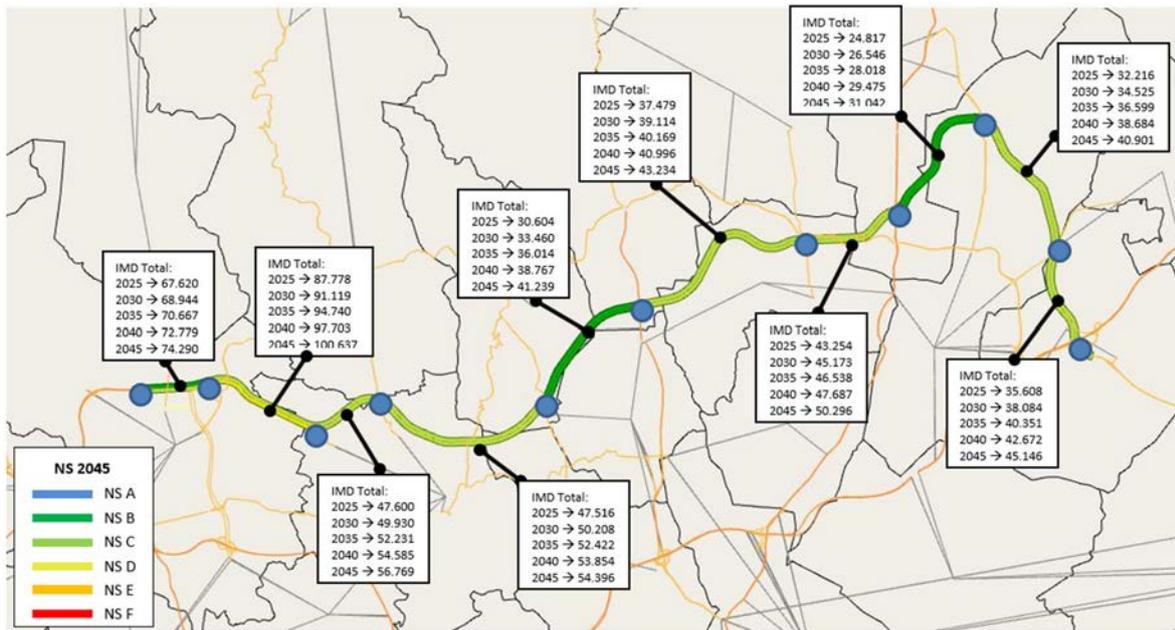


Fig. 8 – Resultados alternativa 5

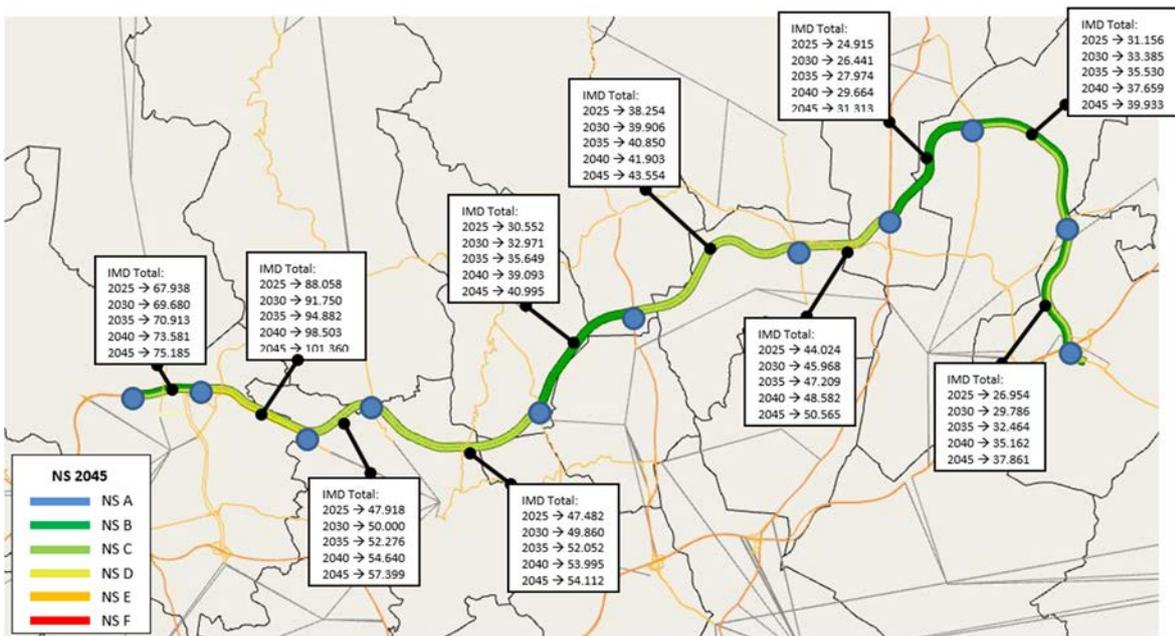


Fig. 9 – Resultados alternativa 6

5. CONCLUSIONES

El estudio informativo en análisis, en su fase A, planteó diversos corredores que discurren por varios municipios entre Terrassa, al inicio del estudio, y La Roca del Vallès, cerca de Granollers, en su final. Existe la previsión de dos grandes corredores, denominados: Corredor 1, que discurre por el Norte, y Corredor 2, por el Sur, que finalmente se han plasmado en 6 alternativas.

En la fase B, se incorporaron técnicas de macrosimulación de tráfico, mediante apoyo de software específico para tal fin, y se modelizaron las diferentes alternativas en varios horizontes temporales, comprendidos entre el año estimado de puesta en servicio, 2025, y el año horizonte, 2045. Con dichas herramientas, se ha podido realizar un mejor dimensionamiento de la red, evitando posibles Niveles de Servicio inadmisibles, y también costes más altos de lo necesario. Es por ello que este tipo de herramientas de simulación pueden aportar valor técnico y económico a la planificación de infraestructuras.

Queda pendiente verificar que los datos estimados se correspondan a las previsiones estimadas mediante la simulación, lo que sin duda aportará un componente de validación -o no- a dichas técnicas. En cualquier caso, resulta evidente que una herramienta de mejora del diseño como las empleadas en el presente estudio siempre va a mejorar la calidad de este tipo de estudios de planificación de nuevas infraestructuras.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo está basado en el Proyecto de Investigación denominado “Simulación y Análisis de Tráfico dentro del Estudio Informativo de la Autovía Orbital B-40”, contratado por la empresa GPYO INNOVA, S.L. la elaboración del citado Estudio de Tráfico, y realizado por Universidad de Burgos.

REFERENCIAS

CASCETTA, E. (2001). *Transportation Systems Engineering: Theory and Methods*. Kluwer Academic Publishers.

FRANK, M. y WOLFE, P. (1956). An Algorithm for Quadratic Programming. *Naval Researches Logistic Quarterly* 3, pp. 95-110.

GENERALITAT DE CATALUÑA (2006). *Plan de Infraestructuras del Transporte de Cataluña 2006-2026 (PITC)*. Generalitat de Catalunya.

GENERALITAT DE CATALUÑA (2016). *Plan de Aforos 2015*. Generalitat de Catalunya.

GUIRAO, B. (2000). *El cálculo del tráfico inducido como herramienta en la planificación de infraestructuras de transporte. Aplicación a la puesta en servicio de las nuevas líneas ferroviarias de alta velocidad en España*. Tesis Doctoral.

MINISTERIO DE FOMENTO (2007). *Encuesta de Movilidad de las Personas Residentes en España, MOVILIA 2006/2007*. Ministerio de Fomento.

MINISTERIO DE FOMENTO (2010). *Orden FOM/3317/2010, Instrucción para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos*. Ministerio de Fomento.

MINISTERIO DE FOMENTO (2014a). Nota de Servicio 3/2014, Prescripciones y recomendaciones técnicas relativas a los contenidos mínimos a incluir en los estudios de rentabilidad de los estudios informativos de la Subdirección General de Estudios y Proyectos. Ministerio de Fomento.

MINISTERIO DE FOMENTO (2014b). Nota de Servicio 3/2014, Prescripciones y recomendaciones técnicas para la realización de estudios de tráfico de los Estudios Informativos, Anteproyectos y Proyectos de carreteras. Ministerio de Fomento.

MINISTERIO DE FOMENTO (2015). Plan de Infraestructuras, Transporte y Vivienda 2012-2024 (PITVI). Ministerio de Fomento.

MINISTERIO DE FOMENTO (2016a). Mapa de Tráfico 2015. Ministerio de Fomento.

MINISTERIO DE FOMENTO (2016b). Norma 3.1-IC. Trazado. Ministerio de Fomento.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (2016). Highway Capacity Manual HCM 2016. Transportation Research Board - TRB. EE.UU.

WARDROP, J.G. (1952). Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. Proc. Inst. Civil Engineers, Part II, pp. 325-378.