

Beneficios sociales de la alta velocidad ferroviaria: El papel de los accidentes y la congestión¹

Aday Hernández²

Departamento de Análisis Económico Aplicado, EIT.

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Resumen

La inversión en infraestructuras de transporte ha de ser compensada por los beneficios sociales que ésta genera. De éstos los accidentes y la congestión en carretera son beneficios que, en ocasiones, no son estimados por falta de información o dificultad metodológica. Este trabajo presenta una aproximación empírica e indirecta que permite conocer y aislar el impacto de la alta velocidad sobre dichas externalidades. De este modo, el cálculo de los beneficios sociales derivados de la reducción de los accidentes y la congestión puede obtenerse sin la necesidad de conocer exactamente qué cantidad de tráfico se desvía de un modo a otro. Los resultados presentados para el caso español suponen que la reducción de los accidentes y la congestión representan en torno al 5% y al 0,03% de los costes totales respectivamente para el conjunto de la red. Sin ser cifras que permitan, por sí solas justificar la conveniencia social de la construcción de la infraestructura no deben, al menos ser obviadas, especialmente en el caso de los accidentes.

Palabras clave: Infraestructuras, accidentes, congestión, coste-beneficio.

Clasificación JEL: L91, L92, R41, D61.

¹ Agradezco la financiación recibida por la Cátedra Pasqual Maragall, a través de la Convocatoria 2011. Asimismo agradezco los comentarios y sugerencias aportados por Ginés de Rus, Daniel Albalade y Juan Luis Jiménez. No obstante, todos los errores son responsabilidad única del autor.

² Grupo de Investigación en Economía de las Infraestructuras y el Transporte. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus Universitario de Tafira, Despacho D. 2-02. 35017. Las Palmas de Gran Canaria. E-mail: ahernandez@acciones.ulpgc.es; Teléfono: +34 928 451 836.

1.- Introducción

Los países que han decidido invertir en alta velocidad ferroviaria han de hacer frente a los elevados costes derivados de su construcción que, desde una perspectiva coste-beneficio, deben de ser compensados por los beneficios sociales que de ella se derivan. Éstos últimos pueden ser clasificados principalmente en ahorros de tiempo, reducción de accidentes y la creación de tráfico o la liberación de capacidad de la infraestructura alternativa; es decir, reducción de la congestión. Además habría que considerar los beneficios medioambientales y los económicos adicionales, tales como incrementos de productividad o mejoras en el desarrollo regional.

Sin embargo, la literatura a este respecto no parece concluyente. Janson *et al.* (2010) han defendido la conveniencia de la alta velocidad como modo de transporte limpio y eficiente, desde un punto de vista medioambiental. Sin embargo, Kagesson (2009) y Atkins (2004) obtienen resultados contrarios cuando se incluyen los costes medioambientales derivados del período de construcción.

Por su parte, Puga (2002) y Vickerman (1995; 2006) sugieren que los beneficios regionales no son significativos porque el transporte de mercancías no se beneficia de la nueva infraestructura afectando la capacidad de la tecnología para la creación de economías de aglomeración. Además, la distribución espacial de la actividad económica a favor de las regiones menos desarrolladas depende de la conjunción de distintas fuerzas y de la relación relativa de los factores productivos entre las regiones (Vickerman, 1991 y Puga, 2002), convirtiéndose en una cuestión específica a cada proyecto.

En relación a la reducción en el número relativo de accidentes y en la congestión de las carreteras, ésta depende crucialmente de la capacidad de la nueva infraestructura para desviar tráfico de los modos alternativos, inequívocamente relacionada con los ahorros de tiempo y la política de precios de los distintos modos.

Por tanto y aunque el objetivo último de la infraestructura no es exclusivamente la de convertirse en un mecanismo para la reducción de estas externalidades, ya que existen políticas directas más efectivas, no hay que obviar la importancia que tiene la reducción de los accidentes, teniendo en cuenta los niveles de siniestralidad y mortalidad existentes. En Europa, 40.000 personas mueren en accidentes de tráfico cada año y algunas proyecciones indican que 2020 se convertirá en la tercera causa de muerte a nivel mundial para los hombres adultos entre 15 y 44 años (World Health Organization, 2003).

La reducción de los niveles de congestión, por su parte, no juega un papel tan relevante en la alta velocidad ferroviaria, los beneficios esperados son claramente inferiores, puesto que éstas se sitúan en el entorno de las grandes ciudades en el que la alta velocidad no representa ser un modo de transporte alternativo. Además, la imposibilidad de uso que la alta velocidad ferroviaria tiene para el transporte de mercancías disminuye esta potencialidad, puesto que impide la reducción del tráfico lento, causante en algunos entornos de la congestión.

No obstante, los niveles de congestión en la carretera son cualitativamente importantes, ya que compiten con las fuerzas de aglomeración que permiten la generación de incrementos de productividad de los factores. En este sentido, Graham (2007) analiza la relación entre los incrementos en la densidad de empleo y productividad atendiendo al efecto que la congestión del tráfico tiene sobre ella. Este trabajo concluye que las economías de aglomeración urbanas pueden obtenerse tanto por el incremento del empleo como por la disminución de los tiempos de viaje, lo que representa la relación directa entre incrementos de productividad e infraestructuras de transporte.

En este sentido, el presente artículo pretende estimar el impacto que la puesta en marcha de la alta velocidad ferroviaria española ha tenido sobre la reducción de los accidentes y los ahorros de tiempo derivados de la disminución de los niveles de congestión en la carretera. Este ejercicio podría resultar, a priori, sencillo si se conociera con exactitud los niveles de tráfico desviados de la carretera al ferrocarril para cada una de las líneas y los incrementos de velocidad que éstos han ocasionado.

Sin embargo, la ausencia de fiabilidad y la inexistencia, en muchos casos, de estos datos obliga a buscar herramientas alternativas para la consecución de los objetivos y el cálculo de dichos beneficios asociados a la nueva infraestructura.

Por tanto, el objetivo general del trabajo es estimar el impacto de la alta velocidad sobre los niveles de velocidad y accidentes para las carreteras españolas afectadas por los corredores construidos. En ambos casos se estima una ecuación, controlando por un conjunto de características del corredor y de la carretera, para conocer los cambios que la nueva infraestructura ha supuesto y con el que posteriormente se calculan los beneficios derivados de la reducción en ambos conceptos.

El artículo sigue la siguiente estructura. Tras esta introducción, se realiza una revisión de la literatura sobre los conceptos de congestión y accidentes, enfatizando la relación con las infraestructuras de transporte. La siguiente sección introduce las particularidades del caso de España, así como las fuentes y la metodología utilizadas

en la sección cuarta. En ella, se estiman los impactos anteriormente mencionados prestando especial atención a la aproximación econométrica y justificando su conveniencia. La quinta sección se centra en la cuantificación de los beneficios de los accidentes y la congestión. Finalmente, algunas conclusiones reseñables y recomendaciones de política económica son extraídas de las secciones anteriores.

2.- El papel de los accidentes y la congestión en la evaluación de las infraestructuras.

Los accidentes suponen un coste para la sociedad, incluso en el caso en el que los usuarios internalizan parte del coste al pagar un seguro, en términos del sistema sanitario, policial y, los daños a terceros, y que suponen un coste monetario cuantificable, por lo que es considerado una externalidad.

Esto es, los usuarios tienen en cuenta algunos de los costes asociados a la posibilidad de tener un accidente, pero no todos, ya que en caso de que suceda, parte de dichos costes son trasladados al conjunto de la sociedad y a otros individuos, por lo que su uso puede resultar excesivo desde un punto de vista social, generando una pérdida de bienestar social.

Éstos corresponden a la pérdida de la vida y cuya valoración se conoce en la literatura como valor estadístico de la vida³, la pérdida de bienestar para familiares y amigos, y otros costes entre los que se incluyen los daños materiales a activos físicos. El primero de los costes es el de mayor importancia y el que más atención ha recibido en la literatura; de Blaeij *et al.* (2003) presentan una revisión de los trabajos más importantes y Viscusi (2003) realiza una revisión crítica de los mecanismos de estimación basados en aproximaciones de mercado⁴.

Por tanto, el origen de la externalidad viene de dos fuentes muy concretas; por un lado, los agentes no asumen las dos últimas categorías de costes y, por otro, la decisión individual del conductor afecta la probabilidad de accidente para todos los usuarios de la infraestructura. Desde este punto de vista, la introducción de mecanismos de precios que dieran señales correctas a los agentes sería un mecanismo de corrección eficiente que permitiría la reducción de la externalidad.

Finalmente, desde un punto de vista empírico, numerosos artículos se han esforzado en estimar la cuantificación del coste externo de las accidentes de carretera. Elvik

³ Para estimaciones específicas del valor estadístico de la vida, véase Maibach *et al.* (2008) y Link *et al.* (2003) para los EE.UU. y Martínez *et al.* (2004) para el caso español.

⁴ Esta literatura fue iniciada por Schelling (1968) y evalúa los tradeoffs entre el dinero y el riesgo de fallecimiento.

(2000) considera que el coste para los países de la OCDE varía del 0,5 al 5,7% del PIB. Usualmente se ha considerado que éstos han sido cuantiosos (ver Maddison *et al.* 1996, Pearce, 1993). Sin embargo, un análisis microeconómico llevado a cabo por Peirson *et al.* (1997) muestran que éstos han sido sobreestimados en numerosas ocasiones, dado que asumen que el número de accidentes tiene una relación proporcional con el flujo de vehículos (véase Vickrey 1968, 1969 y Newbery, 1987).

La congestión, por su parte, surge porque existe un exceso de demanda de la infraestructura en un momento dado que, normalmente, se debe a la falta de homogeneidad a lo largo del tiempo. Por tanto, en los momentos de máxima demanda (momentos pico), la infraestructura no puede absorber a todos los usuarios, obligando a éstos a invertir más tiempo para realizar el trayecto generando una externalidad. Ésta aparece porque los agentes no consideran en su toma de decisiones, los costes que imponen al resto de los usuarios.

La congestión ha sido ampliamente analizada en los entornos urbanos como contraposición a las economías de aglomeración y, por tanto, por sus efectos sobre la productividad. En este sentido, los sistemas de tarificación de precios derivados por el efecto de la congestión han sido estudiados e implantados en algunas ciudades como Estocolmo⁵, Londres o Milán.

Otra cuestión relativa a la congestión, desde el punto de vista de la política de transporte, es conocer la elasticidad entre la oferta de infraestructuras y la disminución de la congestión. Este aspecto, es importante para conocer la relación coste beneficio de las inversiones realizadas. Cervero (2002) muestra que los estudios que valoran los efectos de la nueva infraestructura sobre un área suelen concluir con elasticidades positivas, aunque sus elasticidades pueden variar considerablemente.

La congestión y los accidentes de carreteras son, finalmente, dos caras de la misma moneda, puesto que ambas son externalidades generadas por los usuarios de la infraestructura. No obstante, su relación no ha sido ampliamente estudiada. Shefer y Rietveld (1997) y Shefer (1994) estiman una relación indirecta entre la congestión y los accidentes, aunque estos estudios utilizan la densidad de tráfico como proxy de la congestión. Estudios que utilizaron variables de flujo son los de Belmont y Forbes (1953), Ceder y Livneh (1982) y Ceder (1982) estiman una relación en forma de U. Otros artículos como el de Turner y Thomas (1986) o Golob y Recker (2003) han demostrado que la relación entre el flujo de vehículos y la gravedad de los accidentes era negativa.

⁵ Ver Eliasson (2009) para un análisis coste-beneficio de la implementación del sistema de tarificación.

Con respecto, finalmente, al efecto de la alta velocidad sobre la congestión en los modos de transporte alternativos, éste depende de la elasticidad cruzada de la demanda entre modos. De Rus e Inglada (1997) encontraron que en la línea Madrid – Sevilla de alta velocidad, la desviación de tráfico aéreo fue mayor que la de carretera. Sin embargo, en ese caso los beneficios derivados de la reducción de accidentes y la congestión en la carretera se situaron en el 4,6% de los beneficios totales de la infraestructura. Levinson *et al.* (1997), por su parte, demuestra que aunque la alta velocidad es una infraestructura con altos costes de inversión, es una alternativa con gran capacidad en la reducción de los accidentes y de la congestión.

3. Datos y estrategia empírica

Una nota sobre el caso español.

Durante la última década, España ha apostado por las infraestructuras con inversiones cercanas a los 250 mil millones (supone un esfuerzo inversor del 1,5% del PIB como media para el período 2005-2020). En el caso concreto del ferrocarril, éste ha concentrado más del 48% de las inversiones totales, con el desarrollo de una ambiciosa Red de Ferrocarril de Altas Prestaciones, cuyo objetivo es que el 90% de la población española peninsular esté localizada a menos de 50 Km. de una estación con servicios de alta velocidad ferroviaria.

En este sentido, España supone un caso de referencia. La longitud de red española alcanza los 2.700 kilómetros de longitud, lo que sitúa a España, después de China, como el segundo país del mundo y el primero de Europa en número de kilómetros de alta velocidad en explotación, conectando a finales de 2010 a 17 provincias y 24 ciudades españolas.

Sin embargo, la carretera continúa siendo el líder absoluto en el transporte de mercancías. La alta velocidad española no está diseñada para su transporte, y en el de pasajeros se mantiene con una cuota de mercado superior a la media europea. Esto se explica parcialmente porque la red de carreteras es extensa y se desarrolla por todo el territorio con una red actual 24.797 km de las que el 35% son autovías y autopistas.

La construcción de infraestructuras y la modernización de las mismas, además de la mejora en la seguridad pasiva y diversos cambios legislativos, han permitido una reducción de la tasa de víctimas mortales que ya alcanzaba cifras preocupantes a comienzos de la década. La tasa de víctimas mortales por cada mil habitantes situaba

España como el tercer país de la UE-15, sólo por detrás de Portugal y Grecia, y a niveles de países como la República Checa y Chipre. Sin embargo, los esfuerzos en la reducción de víctimas han dado sus frutos y en 2009, España presenta una tasa inferior a la media de la UE-15, en el entorno de países como Finlandia, Dinamarca o Luxemburgo.

Mientras, el valor estadístico de la vida, otro aspecto esencial en la valoración de los accidentes, ha crecido en este período aparejado al crecimiento de la renta de los individuos. La elasticidad utilizada (Bickel *et al.*, 2006), es unitaria respecto al crecimiento de la renta y el valor estadístico de la vida ajustada por capacidad del poder adquisitivo es de 1.302.000 € para el año 2002.⁶

Por tanto la reducción en el número de accidentes en la última década en España va acompañada de incrementos en el valor de la vida, dejando un escenario incierto sobre la evolución de los costes sociales de la externalidad. No obstante, los valores expuestos y la tasa de mortalidad son suficientemente significativos como para que tenga que ser contemplados en el análisis coste-beneficio de cualquier infraestructura de transporte.

La congestión, por su parte, está altamente presente en el entorno de las ciudades y tiene un componente temporal importante. A nivel agregado, la red de carreteras del Estado español mitiga los impactos que, en términos económicos, pudiera ocasionar. No obstante, el hecho de que la alta velocidad y las autovías discurren por los mismos corredores nos permite augurar que el impacto de la alta velocidad pudiera ser significativo dentro del contexto español.

La congestión, en ocasiones, aparece únicamente en determinados momentos del día (períodos pico) y está condicionado por dos aspectos vitales, la velocidad media y el valor del tiempo de los individuos afectados. A diferencia de otros países, España tiene un límite de velocidad de circulación en las autovías y autopistas, lo que permitirá por diferencias conocer el tiempo de congestión. En la actualidad, dicha velocidad máxima se encuentra establecida en los 120 kilómetros por hora⁷ superior a los 90 km/hora de Noruega y Suecia, entre otros, pero por debajo de los 130 km/hora de Austria, Holanda, Francia y otros países del entorno europeo.

El otro aspecto que condiciona el ahorro social de la congestión es el valor del tiempo

6 Viscusi (1993) sugiere que las personas son más reacias a tomar riesgos que no controlan directamente, por lo que la disposición a pagar para la reducción de riesgos en los accidentes de trenes es mayor que la de carretera. Este argumento no es considerado en este trabajo.

7 El Gobierno redujo la velocidad máxima a los 110 km/hora de manera coyuntural para un período de 4 meses, de marzo a junio de 2011

que se les otorga a los pasajeros del vehículo privado, conductor y posibles acompañantes. El valor del tiempo depende, entre otros factores, del motivo de viaje, siendo superior para los desplazamientos por motivos de trabajo que por placer. Así, Bickel *et al.* (2006) establecen que para España, corregido en términos de poder adquisitivo y expresado en euros del 2002, el valor de una hora es 12,71 € para viajes de placer y 25,95 € para viajes por motivos de trabajo.

Además, hay que tener en cuenta que bajo condiciones de congestión, el valor del tiempo se incrementa derivado de las molestias adicionales que ésta puede generar. Así Wardman (2001, 2004) considera que el incremento es un 48% sobre el valor del tiempo bajo condiciones normales de tráfico; Eliasson (2004) multiplica por un factor 1,5 y Steer Davies Gleave (2004) por 1,2. La elasticidad renta valor del tiempo recomendada para valores del tiempo en el entorno de Europa es 0,4 – 0,5, (Gunn *et al.*, 1996; Hensher and Goodwin, 2004), aunque en numerosos análisis se utilice una elasticidad unitaria.

Datos y metodología

Los mapas de tráfico proporcionados por el Ministerio de Fomento permiten conocer los accidentes acontecidos y el tráfico, así como su velocidad, entre otras características, para cada una de las carreteras españolas anualmente para el período 1999-2008. Una manera simple de aproximar el impacto de dicha infraestructura sobre los accidentes sería conocer el tráfico desviado desde la carretera y la elasticidad flujo de tráfico-accidentes. Sin embargo, esta información no está disponible, por lo que dicho efecto debe ser calculado de manera indirecta.

La información ha sido extraída de las autovías y autopistas que discurren por los mismos corredores en los que la alta velocidad tiene presencia y en los que los datos han sido recogidos de manera anual. La base de datos es mayor para el caso de los accidentes que para el de la velocidad, puesto que no todas las estaciones de aforo recogen esta última variable.

En este sentido, la econometría nos proporciona múltiples posibilidades para su estimación. La existencia de años anteriores y posteriores a la puesta en marcha de la infraestructura, y un conjunto de variables de control, permite construir el contrafactual. Éste consiste en la propia carretera y la comparación de sus niveles de accidentes y congestión antes y después, lo que permite conocer mediante diferencia el efecto de la propia infraestructura sobre los niveles de accidentes y congestión.

Otro de los problemas al que nos enfrentamos con frecuencia a la hora de conocer los impactos que una infraestructura tiene sobre la economía o alguna de sus características es la existencia de endogeneidad entre la infraestructura y las variables de interés (Gramlich, 1994). En este sentido, la relación entre los accidentes o la velocidad existente y la construcción de la alta velocidad puede verse afectada por la influencia que el flujo de vehículos (tráfico) tiene sobre ambas variables. Es decir, la existencia de elevados niveles de tráfico está asociada a la aparición de grandes corredores donde la alta velocidad es más proclive a ser instalada por sus características pero, a su vez, la nueva infraestructura puede generar impacto sobre los flujos y modificar los niveles de tráfico y, consecuentemente, la velocidad y los accidentes.

Las características de la alta velocidad, que imposibilita el transporte de mercancías, nos permite tener acceso a un instrumento del tráfico que es el tráfico de vehículos pesados. Éstos están altamente correlacionados con el desarrollo de las regiones, pero no con la aparición de la infraestructura porque éste no se ve afectado.

La tabla 1 proporciona los estadísticos descriptivos de las variables de interés; *Accidentes* representa los accidentes existentes en cada una de las estaciones de aforo⁸ (7 kilómetros antes y después) para cada una de las carreteras por las que discurre los corredores de la línea de alta velocidad, relativizadas por el número de kilómetros de los distintos tramos; *Velocidad* recoge la velocidad media recogida en la estación; *Ligero* es la intensidad media diaria del conjunto de turismos, coches con caravana y camionetas; *Pesado* es la intensidad media diaria de camiones articulados, camiones sin remolque, trenes de carretera, autobuses y vehículos especiales; *Proporción tráfico pesado* es el ratio entre la intensidad media diaria de vehículos ligeros y vehículos pesados, lo que permite capturar la composición del tráfico; *Índice de peligrosidad* se define como el ratio de muerto-heridos⁹ por accidentes; *Esfuerzo inversor* representa el ratio entre la inversión en carreteras y el PIB de la provincia y el *AVE* que es una variable binaria que toma valor 1 en los años de operación del tren de alta velocidad y 0 de otro modo.

⁸ La actual Red de Carreteras del Estado suman un total de 3285 estaciones de aforo, éstas permiten por medio de un contador automático conocer la intensidad de tráfico de todas las horas del año, así como la velocidad por la que se circula. El número de accidentes se asigna a las estaciones de aforo en función del punto kilométrico en el que se haya producido.

⁹ En 1993, España aceptó la definición de la Convención de Viena en la que se considera que un muerto por accidente es aquel que fallece en la escena del accidente o en los 30 días posteriores a causa de las heridas causadas en el incidente.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos¹⁰

Variable	Media	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
<i>Accidentes</i>	1,12	1,83	0	53
<i>Velocidad</i>	97,79	16,33	48	125,7
<i>Ligero</i>	20.552,69	23.132,15	0	156.731
<i>Pesado</i>	4.829,79	4.196,95	0	50.776
<i>Proporción tráfico pesado</i>	0,34	0,42	0	0,94
<i>Índice de peligrosidad</i>	0,73	0,42	0	19,72
<i>Esfuerzo inversor</i>	0,01	0,006	$9 \cdot 10^{-4}$	0,06
<i>AVE</i>	0,62	0,49	0	1

Para el conjunto de carreteras exploradas, la velocidad media es de 97,79 kilómetros por hora por las que circulan alrededor de 20.553 vehículos ligeros y 4.830 vehículos pesados lo que da lugar a 1,12 accidentes por kilómetro de vía recorrido.

El esfuerzo inversor en las carreteras en las provincias afectadas por alguna de las líneas de alta velocidad analizada supone el 1% del PIB de la provincia con un máximo del 6%. Finalmente, la proporción de tráfico pesado es del 34%.

Se observa que hay algunas estaciones que presentan una velocidad máxima superior a la máxima permitida. En esos casos, las observaciones han sido eliminadas para no afectar a las estimaciones.

4. Resultados

El objetivo es aislar el impacto que la nueva infraestructura tiene sobre nuestras dos

¹⁰ Las estimaciones de los accidentes y la velocidad se realizarán de manera independiente pero el hecho de que compartan un gran número de variables nos permite presentarlos conjuntamente.

variables de interés, a través de diferentes variables de control. Una primera aproximación sería estimar dicho impacto a través de mínimos cuadrados ordinarios; sin embargo, la posible existencia de endogeneidad nos obliga a utilizar estimaciones de variables instrumentales.

En ese sentido, el hecho de que la alta velocidad ferroviaria sea incapaz de transportar mercancías y que el tráfico de ésta esté muy correlacionado con la actividad económica, que al final es la que indirectamente genera la fuente de endogeneidad con la decisión de construcción de la nueva instalación, nos permite obtener un instrumento válido.

Accidentes

En el caso de los accidentes, la ecuación a estimar es:

$$Accidentes_{it} = \beta_0 + \beta_1 Ligeros_{it} + \beta_2 Proporción\ tráfico\ pesado_{it} + \beta_3 Índice\ peligrosidad_{it} + \beta_4 Esfuerzo\ inversor_{it} + \beta_5 AVE_{it} + \delta_1 Año_t + \delta_2 Carretera_i + U_{it}$$

donde se incluyen las siguientes variables.

- *Ligeros_{it}* captura el IMD del conjunto de turismos, coches con caravana y camionetas que pasan por ambos sentidos de la vía en los puntos kilométricos en los que se sitúan las estaciones de aforo.
- *Proporción tráfico pesado_{it}* permite capturar la composición del tráfico, incidiendo en el porcentaje de los vehículos pesados respecto a los ligeros. La relación esperada entre el número de accidentes y el porcentaje de vehículos pesados es positivo porque la presencia de éstos disminuye la velocidad de reacción del resto de vehículos (Abdel-Aty y Radwan, 2000).
- *Índice peligrosidad_{it}* describe la composición de los accidente lo que nos permite capturar la existencia de posibles puntos negros a lo largo del recorrido o de cualquier consecuencia de eventos anómalos en esa estación de aforo que determina una peligrosidad mayor. El trazado de ese punto puede ser una de las causas, como ya resaltaron (McGee *et al.*, 1995).
- También, se ha introducido una variable binaria por carretera, *Carretera_i*, que toma valor 1 para las observaciones que pertenecen a la misma carretera y 0 de otro modo. El objetivo es capturar los condicionantes fijos de la propia carretera y que son difícilmente modificables en la componente temporal; éstos claramente condicionan el número de accidentes. La importancia de la propia

carretera en las condiciones del tráfico y de los accidentes fue desarrollada por Milton y Mannering (1996), en entornos urbanos y Agent and Deen (1975) para el caso de las autopistas.

- Sin embargo, la variable anterior no incluye o no puede aproximar el efecto de un gobierno regional más sensibilizado con la reducción de accidentes o la modernización de sus infraestructuras viarias, por lo que $Esfuerzo\ inversor_{it}$ es una variable que captura los niveles de inversión que se han realizado en las carreteras de la provincia durante el período de estudio.
- Finalmente, y sin considerar la explicación a la variable AVE_{it} , introducimos un conjunto de variables binarias a nivel de año, HSR_{it} , que permitan capturar los avances tecnológicos o los cambios legislativos que han endurecido las penas por conducción negligente.

En la tabla 2, se presentan las estimaciones de la ecuación anterior. La primera columna representa una estimación de mínimos cuadrados ordinarios, mientras que la segunda se acerca al problema, a través de una estimación de variables instrumentales.

Tabla 2. Estimaciones de la variable accidentes

Variables explicativas	MCO	VI (ligero = pesado)
<i>Ligero</i>	$6,15 \cdot 10^{-5}$ $(1,22 \cdot 10^{-6})^{***}$	$6,88 \cdot 10^{-5}$ $(2,1 \cdot 10^{-6})^{***}$
<i>Proporción tráfico pesado</i>	0,153 $(0,051)^{***}$	0,244 $(0,055)^{***}$
<i>Índice de peligrosidad</i>	0,019 $(0,042)$	0,027 $(0,042)$
<i>Esfuerzo inversor</i>	1,648 $(4,079)$	12,28 $(4,78)^{***}$
<i>AVE</i>	-0,14	-0,14

	(0,068)***	(0,068)***
<i>Dummies carretera</i>	SI	SI
<i>Dummies años</i>	SI	SI
<i>Constante</i>	0,42 (0,231)**	-0,16 (0,267)
Observaciones	1.530	1.530
F test	143,12***	94,19***
R ²	0,74	0,74

Nota 1: significatividad al *** 5%, ** 10%.

Errores estándar entre paréntesis

Las estimaciones se han realizado con 1.530 observaciones extraídas de las estaciones de aforo del Ministerio de Fomento derivadas a su vez de los mapas de tráfico. Ambas estimaciones presentan resultados similares y de gran robustez ante estimaciones alternativas. La capacidad explicativa del modelo se sitúa en el 74% del conjunto de variaciones de los accidentes por kilómetro y el impacto de la alta velocidad es significativa lo que supone una reducción de 0,14 accidentes por kilómetro.

Las variables incluidas pueden clasificarse en variable de tráfico, composición de tráfico, peligrosidad, inversión y el conjunto de dummies de control. La variable que mide la afluencia de vehículos por carretera, *Ligero_{it}*, presenta un efecto significativo pero cercano a cero sobre el número de accidentes¹¹, una mayor influencia tiene la variable que captura la composición del tráfico, *Proporción tráfico pesado_{it}*. Es decir, la existencia de una mayor proporción de tráfico lento (pesado) da lugar a un mayor número de accidentes.

Por otro lado, la tasa de peligrosidad que mide la proporción de número de muertos por heridos no es significativa. A nivel carretera, la peligrosidad puede considerarse una componente constante, en gran medida, determinada por el trazado y que, por

¹¹ Se han explorado formas funcionales alternativas, en las que se consideraba efectos de segundo orden en dicha variable pero los resultados no fueron significativos.

tanto, es capturada por el conjunto de dummies a nivel carretera. Es decir, la no significatividad de esta variable determina que los cambios de peligrosidad a nivel estación de aforo no parecen ser reseñables.

Por tanto, este modelo simple permite capturar tres cuartas partes de la variación de la variable endógena y proporciona influencia significativa a la entrada del AVE en la reducción de los accidentes. A continuación, procedemos a analizar el caso de la congestión.

Congestión

En el caso de la congestión, la ecuación de interés ha de permitirnos conocer cuál es el efecto que la infraestructura de alta velocidad tiene sobre la velocidad media de los vehículos en esa carretera, elemento directamente observable y que nos permitirá posteriormente conocer el ahorro económico de la congestión. Por tanto, la estimación es:

$$Velocidad_{it} = \beta_0 + \beta_1 Liger o_{it} + \beta_2 Proporción tráfico pesado_{it} + \beta_3 Índice peligrosidad_{it} + \beta_4 Esfuerzo inversor_{it} + \beta_5 AVE_{it} + \delta_1 Año_t + \delta_2 Carretera_i + U_{it}$$

, al igual que en el caso anterior se ha incorporado un conjunto de dummies para capturar la componente temporal y el efecto de la carretera.

La tabla 3 presenta las estimaciones para la variable *velocidad*.

Tabla 3. Estimaciones de la variable velocidad.

Variables explicativas	MCO	VI
		(ligero = pesado)
<i>Ligero</i>	1,31·10 ⁻⁴ (5,79·10 ⁻⁵)	4,6·10 ⁻⁴ (1,43·10 ⁻⁴)***
<i>Proporción tráfico pesado</i>	-10,79 (1,53)***	-8,37 (1,84)***
<i>Índice de peligrosidad</i>	-7,69 (3,95)**	-7,45 (4,03)**

<i>Esfuerzo inversor</i>	-43,41 (108,43)	21,43 (81,5)
<i>AVE</i>	9,68 (2,26)***	9,21 (2,66)***
<i>Dummies carretera</i>	SI	SI
<i>Dummies años</i>	SI	SI
<i>Constante</i>	99,19 (5,23)***	93,96 (6,54)***
Observaciones	477	477
F test	14,26***	23,33***
R ²	0,46	0,43

Nota 1: significatividad al *** 5%, ** 10%.

Errores estándar entre paréntesis

En este caso, el número de observaciones disminuye considerablemente porque no todas las estaciones de aforo reportan información sobre las velocidades media a lo largo de un período amplio de años. De este modo, las estimaciones se han realizado con un total de 477 observaciones.

Nuevamente, no existen diferencias significativas ni en la capacidad explicativa del modelo, ni en el impacto de nuestra variable de interés. El modelo expuesto permite explicar el 46% para el caso de los mínimos cuadrados ordinarios y el 43% para la estimación con variables instrumentales de la variable endógena velocidad.

El efecto de la alta velocidad es significativo y su coeficiente es 9,68 para MCO y 9,22 para VI (variables instrumentales). Esto quiere decir, que desde la entrada en vigor de la línea de alta velocidad, en media, éstas suponen un incremento de 9 kilómetros por hora de velocidad. En otras palabras, esto supone una reducción de la congestión en las carreteras afectadas por la nueva infraestructura.

El resto de variables exógenas presentan los signos esperados. Así, el incremento en la proporción del tráfico pesado o de la peligrosidad tiene un efecto negativo sobre la

velocidad. Al igual que en el caso anterior, la afluencia de vehículos por carretera, $Ligero_{it}$, presenta un efecto significativo pero cercano a cero sobre la velocidad.

Finalmente resaltar que el esfuerzo inversor que, en el caso de los accidentes tuvo un impacto significativo, no lo tiene sobre la velocidad. Esto puede estar asociado a que las intervenciones realizadas en los últimos años en las carreteras españolas no han perseguido el incremento de la velocidad, sino la reducción de los accidentes (Ministerio de Fomento; 2005).

El modelo presentado ha permitido capturar el impacto sobre la velocidad y los accidentes de manera satisfactoria y robusta, demostrando que la alta velocidad ha tenido un impacto significativo sobre ambas variables consideradas externalidades esenciales del transporte por carretera. Por tanto, éstas han de ser incluidas en el análisis coste-beneficio de las nuevas infraestructuras. En la siguiente sección, vamos a calcular los beneficios sociales de dichos ahorros.

5. Beneficios sociales de los accidentes y la congestión para la alta velocidad.

El objetivo de esta sección es utilizar los coeficientes anteriormente obtenidos para estimar los beneficios sociales que la alta velocidad ferroviaria ha reportado en términos de reducción de la congestión y los accidentes.

Accidentes

La estimación de los beneficios sociales derivados de la reducción de los accidentes de tráfico en los corredores afectados por la introducción de la alta velocidad ferroviaria requiere del uso del coeficiente, $\beta_{AVE}=0,14$, anteriormente calculado y que determina dicho impacto. Además, es necesario conocer la tasa de fallecidos y heridos por accidente de tráfico que es también accesible en los mapas de Tráfico del Ministerio de Fomento.

Por lo tanto, conociendo las tasas anteriormente mencionadas, el impacto de la alta velocidad sobre el número de accidentes por kilómetro y el valor estadístico de la vida, se puede calcular de manera directa el beneficio social por kilómetro y año. La tasa media de muertos y heridos por accidente es 0,11 y 1,75 para las líneas estudiadas, respectivamente, mientras que el valor de la vida es 1.302.000 € y un herido es de 161.800 € para el año 2002 (Link *et al.*, 2003).

Por tanto, aplicamos la siguiente fórmula:

$$BS_{Accidentes} = \left(\frac{\text{Muertos}}{\text{Accidentes}} * \text{Valor económico vida} \right) * \beta_{AVE} + \beta_{AVE} * \left(\frac{\text{Heridos}}{\text{Accidentes}} * \text{Valor económico herido} \right)$$

Esta fórmula nos proporciona el beneficio social por kilómetro de carretera afectado por la alta velocidad. Para el año 2010 y una vez actualizado los valores económicos anteriormente mencionados, obtenemos que el beneficio social por kilómetro es 69.579 € del año 2010, lo que supone considerando los kilómetros construidos hasta ese momento (1.512 kilómetros), un beneficio social anual de 105.224.196 €.

Esta cifra puede parecer mucho o muy poco y está claramente condicionada a la inversión de la nueva infraestructura. Por ello, el ahorro es equivalente a una reducción de 69 víctimas mortales para el conjunto de la red. En términos de coste efectividad, el beneficio social cubre los costes de mantenimiento de la infraestructura de 1.052 kilómetros¹², lo que supone aproximadamente el 70% de los costes de mantenimiento de la infraestructura.

No obstante, hay que tener en cuenta que el coste de mantenimiento es únicamente un 6-8% de los costes totales cuando incluimos la inversión, (de Rus, 2011), por lo que los beneficios sociales derivados de la reducción de los accidentes supone aproximadamente un 4,2-5,6% de los costes totales.

Congestión

La estimación de los beneficios sociales derivados de la reducción de la congestión en los corredores afectados por la introducción de la alta velocidad ferroviaria requiere del uso del coeficiente, $\beta_{AVE}=9,21$, anteriormente calculado y que determina dicho impacto. Éste determina, en términos esperados, cuál es la disminución de la velocidad para el período posterior a la puesta en marcha de la nueva infraestructura.

Por tanto, para conocer los beneficios sociales, es necesario transformar el ahorro de la velocidad en tiempo y el aumento de la velocidad en ahorro de tiempo por kilómetro.¹³ Una vez conocido el ahorro, en términos de tiempo, hay que multiplicarlo por el valor del tiempo de los pasajeros para transformarlo en unidades monetarias.

¹² Se asume que los costes de mantenimiento de la infraestructura es 100.000 €/km, queda excluido el mantenimiento y operación de los trenes u otras consideraciones.

¹³ La variable tiempo es la inversa de la velocidad expresada en kilómetros por hora, por tanto el ahorro es la diferencia de las inversas de las velocidades antes y después de la nueva infraestructura.

Los valores han sido extraídos de Link *et al.*, 2003 y actualizados a valores del 2010. Se ha asumido que el 30% de los desplazamientos se realizan por motivos de trabajo (coste de oportunidad mayor), construyéndose una media ponderada del valor del tiempo que será utilizada para el cálculo de la congestión.

Finalmente, hay que determinar el número de pasajeros y el número de kilómetros que éstos recorren. En primer lugar se ha asumido un factor de carga de 1,3 para los vehículos ligeros, puesto que los acompañantes también sufren la desutilidad proporcionada por la congestión. En segundo lugar, se ha aplicado un recargo por la desutilidad que provoca el tiempo en congestión igual a 1,5, Eliasson (2004). Finalmente, es necesario conocer el origen-destino de los pasajeros que se encuentran en el corredor de la línea de alta velocidad, puesto que no todos recorren la totalidad de la línea y, por tanto, no se ven afectados en la misma medida por los problemas de congestión.

En este caso y a falta de una matriz origen-destino detallado se ha utilizado los datos proporcionados por la encuesta Movilia (Ministerio de Fomento, 2007) y se ha extrapolado los coeficientes asumiendo que estos son constantes y aplicables al año 2010. Por tanto y una vez obtenido todos los datos necesarios, se aplica la siguiente fórmula:

$$BS_{Congestión} = \left(\frac{I}{VelocidadsinAVE + b_{AVE}} - \frac{I}{Velocidad AVE} \right) * Valor\ del\ tiempo * \\ (I + incremento\ por\ congestión) * N^o\ Pasajeros * kilómetros\ recorridos$$

Esta fórmula nos proporciona el beneficio social, para el caso de la congestión. Para el año 2010 y una vez actualizado los valores económicos anteriormente mencionados, obtenemos que el beneficio social por kilómetro y pasajero es de 0,033 €, lo que supone considerando el conjunto de desplazamientos de los corredores afectados un beneficio social anual de 2.644.440 €.

En este caso, la cifra es ligeramente superior al ahorro que supone una víctima mortal; y al coste de mantenimiento de la infraestructura de 27 kilómetros de alta velocidad, lo que supone en términos comparativos, como se realizó en el caso de los accidentes, un 0.03% del conjunto de la red.

7. Conclusiones de política pública y recomendaciones.

Desde un punto de vista de la política de transporte e infraestructuras públicas, la evaluación coste-beneficio de las nuevas inversiones ha de ser un eje esencial de la misma. Para ello, la tarea fundamental es la estimación de los costes y beneficios sociales que han de determinar la conveniencia de la inversión.

El problema surge porque dicha tarea no es sencilla. La incertidumbre asociada a la elasticidad cruzada de la demanda entre los modos y, por consiguiente, al volumen de tráfico desviado por parte de la nueva infraestructura impide conocer con exactitud los beneficios sociales derivados de la reducción de los accidentes y la congestión.

Sin embargo, la posibilidad de comparar el propio corredor antes y después de la introducción de la nueva infraestructura, controlando por una serie de características, permite estimar el impacto que la alta velocidad ha generado sobre la carretera en términos de incrementos de la velocidad y de la reducción de los accidentes. De este modo, podemos conocer casi de manera directa dichos beneficios.

En el caso de la reducción de los accidentes, éstos han de ser tenidos en cuenta puesto que, al menos para el caso español, representan en torno al 5% de los costes totales de la alta velocidad. Sin embargo, las cifras estimadas para la reducción de la congestión no parecen, en ningún caso, ser importantes en términos cuantitativos.

No obstante, para este último caso, hay que considerar que gran parte de la congestión tiene una naturaleza intra-día por lo que el uso de un análisis temporal que considere esta condición podría estimar impactos ligeramente superiores a los aquí presentados.

Además, habría que tener en cuenta otras políticas alternativas que en términos de coste efectividad sean preferibles para la sociedad, tales como un sistema de precios que refleje el coste verdadero de la externalidad ocasionada por los usuarios, considerando que ni la reducción de los accidentes, ni de la congestión pueden justificar, por sí solas, la conveniencia social de la inversión.

Otro aspecto a considerar es que los resultados obtenidos están sujetos a la incertidumbre sobre la relación futura entre las variables; tales como el crecimiento del valor del tiempo o del valor estadístico de la vida. En este sentido, cambios significativos sobre alguna de dichas variables pueden alterar sensiblemente los resultados. No obstante, todos los supuestos se han realizado considerando la situación más favorable para el proyecto.

Referencias

- Abdel-Aty, M. y A. E. Radwan, 2000. Modeling traffic accident occurrence and involvement. *Accident Analysis & Prevention, Volumen 32 (5), p. 633-642.*
- Agent, K. R. y R. C. Deen, 1975. Relationship between roadway geometrics and accidents. *Transportation Research Record, Volumen 541*
- Atkins, 2004. High speed line study. *Department of Environment, Transport and the Regions. London.*
- Belmont, D. M. y T. W. Forbes, 1953. Effects of average speed and volume on motor-vehicle accidents on two-lane segments. *Highway Research Board Proceedings, Volumen 32, p. 383-395.*
- Bickel, P., R. Friedrich, A. Burgess, P. Fagiani, A. Hunt, G. D. Jong, J. Laird, C. Lieb, G. Lindberg, P. Mackie, S. Navrud, T. Odgaard, A. Ricci, J. Shires, y L. Tavasszy, 2006. HEATCO – Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. *Technical Report Deliverable 5, European Commission.*
- Blaeij, de A., J.G. Raymond, M. Florax, P. Rietveld y E. Verhoef 2003. The value of statistical life in road safety: a meta-analysis. *Accident Analysis & Prevention, Volumen 35 (6), p. 973-986.*
- Ceder, A., 1982. Relationship between road accidents and hourly traffic flow I: Probabilistic approach. *Accident Analysis & Prevention, Volumen 14 (1), p. 35-44.*
- Ceder, A., Livneh, M., 1982. Relationship between road accidents and hourly traffic flow I: Analyses and interpretation. *Accident Analysis & Prevention, Volumen 14 (1), p. 19-34.*
- Cervero, R. (2002). Induced Travel Demand: Research Design, Empirical Evidence and Normative Policies. *Journal of Planning Literature, Volumen 17 (1), p. 3-20.*
- De Rus, G. y V. Inglada, 1997. Cost-benefit analysis of the high-speed train in Spain. *The Annals of Regional Science, Volumen 31 (2), p. 175-188.*
- De Rus, G., 2011 (suecosana)
- Eliasson, J., 2004. Car drivers' valuations of travel time variability, unexpected delays and queue driving. *Proceedings of the European Transport Conference, 2004.*

- Eliasson, J. 2009. A cost-benefit analysis of the Stockholm congestion charging system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volumen 43 (4), pp. 468-480.
- Elvik, R., 2000. How much do road accidents cost the national economy? *Accident Analysis & Prevention*, Volumen 32 (6), p. 849-851.
- Golob, T. F. y W. W. Recker, 2003. Relationships among urban freeway accidents, traffic flow, weather and lighting conditions. *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, Volumen 129, p. 342-353.
- Graham, D. J., 2007. Variable Returns to Agglomeration and the Effect of Road Traffic Congestion, *Journal of Urban Economics*, Volumen 62, p. 103-120.
- Gramlich, E. M., 1994. Infrastructure investment: A review essay. *Journal of Economic Literature*, Volumen 32, p. 1176-1196.
- Gunn, H.F., M. A. Bradley, y C. L. Rohr, 1996. The 1994 national value of time study of road traffic in England in the Easthampsted Conference on the Value of Travel Time Savings.
- Hensher, D.A. y P. Goodwin, 2004. Implementation values of travel time savings: the extended set of considerations in a toll road context, *Transport Policy* 11(2), p.171-181.
- Jansson, K., H. Lang, O. Larsen y R. Mortazavi, 2010. Analysis of currently used models in Sweden for long-distance public transport and possible ways to improve, *12th WCTR, Lisboa, Portugal*.
- Kageson, P. 2009. Environmental aspects of inter-city passenger transport. *OECD-ITF Transport Research Centre. Discussion Paper, 2009-28*.
- Levinson, D., J.M. Mathieu, D. Gillen y A. Kanafani, 1997. The full cost of high-speed rail: an engineering approach. *The Annals of Regional Science*, Volumen 31, p. 189-215.
- Link, H. (et al.), 2003. Unification of accounts and marginal costs for transport efficiency (UNITE), Deliverable 8: Pilot Accounts - Results for Austria, Denmark, Spain, France, Ireland, Netherlands and UK.
- Maddison, D., D. Pearce, O. Johansson, E. Calthrop, T. Litman y E. Verhoef, 1996. *The True Costs of Road Transport*. London: Earthscan.
- Maibach, M., C. Schreyer, D. Sutter, H.P. van Essen, B.H. Boon, R. Smokers, A. Schrotten, C. Doll, B. Pawlowska y M. Bak, 2008. Internalisation Measures and

Policies for Economic valuation of externalities linked to transport projects All external Cost of Transport (IMPACT), Handbook on estimation of external costs in the transport sector, Version 1.1 Report Delft.

Martínez, J.E., J.L. Pinto y J. M. Abellán, 2004. El valor estadístico de la vida humana en España, XXIV Jornadas de economía de la salud, El Escorial.

McGee, H., W. Hughes, K. Daily, 1995. Effect of highway standards on safety. *NCHRP Report 374, Transportation Research Board.*

Milton, J. C. Y F. L. Mannering, 1996. The relationship between highway geometries, traffic related elements and motor vehicle accidents, Final Research Report, WA-RD 403.1, Washington State Department of Transportation, Washington.

Ministerio de Fomento, 2005. PEIT: Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte 2005-2020. Madrid, Secretaría General Técnica del Ministerio de Fomento.

Ministerio de Fomento, 2007. Encuesta de movilidad de las personas residentes en España. Movilia (2007) . Madrid, Secretaria General Técnica del Ministerio de Fomento.

Newbery, D., 1987. Road user charges in Britain. *Discussion Paper, 174, Centre for Economic Policy Research.*

Pearce, D. W., 1993. Measuring Sustainable Development, London: Earthscan.

Peirson, J., Skinner, I y R. Vickerman, 1997. The Microeconomic Analysisi of the External Costs of Road Accidents. *Economica*, 65, 429-40.

Puga, D., 2002. European regional policy in light of recent location theories. *Journal of Economic Geography Volumen 2 (4), p. 373-406.*

Turner, D. J. y R. Thomas, 1986. Motorway accidents: an examination of accident totals, rates and severity and their relationship with traffic flow. *Traffic engineering & control, Volumen 27 (7-8), p. 377-387.*

Schelling, T. C., 1968. The life you save may be your own. In S. B. Chase, Jr (Ed.), Problems in public expenditure analysis (pp. 127–162). Washington, DC: The Brookings Institution.

Shefer, D., 1994. Congestion, air pollution and road fatalities in urban areas. *Accident, Analysis & Prevention, Volumen 26 (4), p. 501-509.*

Shefer, D., and P. Rietveld, 1997. Congestion and safety on highways: Towards an Analytical Model, *Urban Studies, Volumen 34 (4), p. 679-692.*

- Steer Davies Gleave, 2004. Effects of road congestion on rail demand: technical report. A report to the Association of Train Operating Companies (ATOC).
- Vickerman, R. (ed.), 1991. Infrastructure and Regional Development, Pion, London.
- Vickerman, R., 1995. The regional impacts of Trans-European networks. *The Annals of Regional Science, Volumen 29, p. 237-254.*
- Vickerman, R., 2006. Indirect and wider economic benefits of high speed rail. Paper given at the 4th annual conference on railroad industry structure, competition and investment, Madrid, October.
- Vickrey, W. S., 1968. Automobile accidents, tort law, externalities and insurance: an economist's critique. *Journal of Contemporary Law and Problems Summer, p. 464-484.*
- Vickrey, W. S., 1969. Congestion theory and transport investment. *The American Economic Review, Volumen 59 (2), p. 251-260.*
- Viscusi, W. K., 1993. The value of risks to health and life. *Journal of Economic Literature, Volumen 31 (4), p. 1912-1943.*
- Viscusi, W.K., 2003. The value of a statistical life: a critical review of market estimates throughout the world. *Journal of Risk and Uncertainty, Volumen 27 (1), p. 5-76.*
- Wardman, M., 2001. A review of British evidence on time and service quality valuations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Volumen 37 (2-3), p. 107-128.*
- Wardman, M., 2004. Public transport values of time. *Transport Policy Volumen 11 (4), p.363-377.*
- World Health Organization, 2003. The world health report, Geneva, Switzerland.