

**ESTUDIO SOBRE LA VIABILIDAD DE LA MEJORA EN
EL TRANSPORTE DE MERCANCÍA MEDIANTE EL
USO DE VEHÍCULOS DE GRAN CAPACIDAD
(MEGATRUCKS) Y LA NECESIDAD DE
ADECUACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS**



ÍNDICE

0. RESUMEN EJECUTIVO	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. OBJETIVOS.....	7
3. REVISIÓN DE LA NORMATIVA ACTUAL	8
4. CONFIGURACIÓN DE LOS MEGATRUCKS	13
4.1. Diferentes configuraciones de vehículos de gran capacidad	13
4.2. Adecuación de los Megatrucks a la normativa vigente	13
5. ESTUDIO TÉCNICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS ACTUALES.....	15
5.1. Geometría de las vías.....	15
5.2. Capacidad portante de las estructuras.....	20
5.3. Resistencia de los firmes de carretera.....	24
6. ENCUESTA A LOS TRANSPORTISTAS ESPAÑOLES.....	26
7. ANÁLISIS DE LA POSIBLE CAPTACIÓN DE TRÁFICO HACIA DETERMINADAS RUTAS	30
8. SITUACIÓN EN OTROS PAÍSES EUROPEOS	31
8.1. Suecia	31
8.2. Finlandia	31
8.3. Noruega	32
8.4. Dinamarca	32

8.5.	Alemania	34
8.6.	Holanda	34
8.7.	Bélgica	35
8.8.	Reino Unido.....	35
8.9.	Francia	36
8.10.	Suiza	36
8.11.	Austria	36
8.12.	Nuevos miembros de la UE.....	36
9.	ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DEL TRÁFICO DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS Y ELECCIÓN DE RUTAS PARA MEGAT RUCKS	37
10.	ADAPTACIÓN DE LOS MEGATRUCKS AL PEIT	42
10.1.	Contribución a la sostenibilidad.....	42
10.2.	Objetivos macroeconómicos.....	42
10.3.	Eficiencia energética	43
11.	CONCLUSIONES.....	44
12.	ÍNDICE DE FIGURAS	45
13.	ÍNDICE DE TABLAS	46
14.	REFERENCIAS	47

0. RESUMEN EJECUTIVO

La demanda de transporte tanto de mercancías como de viajeros se ha incrementado sustancialmente en las últimas décadas, produciéndose este incremento principalmente en el transporte por carretera más que en el ferroviario, el fluvial o el cabotaje. El transporte por carretera tiene ciertas desventajas como es la ocupación de suelo, el consumo elevado de energía y la mayor emisión de gases de efecto invernadero. Sin embargo, su versatilidad y su accesibilidad a todo el territorio hace que se espere un incremento continuado del mismo en los próximos años a pesar de la potenciación de otros modos de transporte llevada a cabo por la Unión Europea.

Ante esta realidad innegable, es necesario adoptar soluciones, no para incrementar el transporte por carretera, sino para aumentar su eficiencia energética y su productividad económica, permitiendo obtener un transporte más sostenible sin que ello suponga reducir las mercancías transportadas por otros modos.

Aprovechando la oportunidad brindada por las Directivas Europeas 96/53/CE y 2002/7/CE, que permiten la circulación de vehículos por encima de las dimensiones máximas establecidas para el transporte de mercancías en territorios nacionales, diversos países europeos están llevando a cabo pruebas para evaluar las ventajas y los inconvenientes de utilizar vehículos de grandes dimensiones (25 metros de longitud y 60 toneladas de peso). De algunos de estos proyectos se pueden extraer conclusiones positivas en lo referente a la reducción de costes y disminución de emisiones. Por el contrario, existen todavía numerosas incertidumbres en dos aspectos, la adecuación de las infraestructuras y la seguridad de este tipo de transporte.

En lo referente a la adecuación de las infraestructuras, existen tres problemas principales: la influencia de las cargas sobre los firmes de carretera, la adecuación de la geometría de las carreteras a los radios de giro de camiones de gran longitud y la capacidad portante de las estructuras que deben resistir el peso transportado. En un segundo plano, podría ser también necesario adecuar los sistemas de seguridad de los túneles a este tipo de camiones. La inversión necesaria en infraestructuras para generalizar el transporte con megatrucks puede ser elevada, por lo que es prioritario realizar un proyecto piloto que permita evaluar la relación beneficios-costes y concluya sobre la conveniencia de utilizar en España este tipo de transporte.

Un proyecto piloto podría tener diferentes modalidades: establecer unas rutas determinadas para los megatrucks, permitir su circulación sólo por una parte de la red de carreteras, permitir este tipo de transporte en un radio de distribución alrededor de los puertos, etc. En cualquiera de sus variantes, este programa permitiría medir el ahorro de combustible, la reducción de emisiones, la influencia en la seguridad y, en el caso de que finalmente se aprobara la circulación de megatrucks, establecer las rutas donde se permitiría dicha circulación.

El debate está abierto y es el momento de evaluar la posibilidad de utilizar vehículos de grandes dimensiones para el transporte de mercancías por carretera. Son muchos los puntos

que hay que analizar y, ante los diferentes intereses enfrentados, la única manera de obtener conclusiones objetivas es llevar a cabo proyectos de prueba que permitan cuantificar las ventajas y desventajas de este tipo de transporte.

1. INTRODUCCIÓN

El sector transportes europeo supone aproximadamente el 7% del PIB, genera el 20% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, consume el 39% de la energía [1] y ocasiona 35.000 víctimas mortales todos los años. Estos datos reflejan la importancia de un sector en continuo crecimiento.

De este volumen total, el transporte por carretera supone un porcentaje más que significativo, representando el 80% del consumo total de energía del sector transportes o el 86% del transporte total de mercancías. Por este motivo, es de vital importancia implantar medidas encaminadas a aumentar su sostenibilidad.

La realidad del transporte de mercancías precisa de la búsqueda de soluciones sostenibles para satisfacer la creciente demanda de productos tanto en el ámbito nacional como comunitario. Es necesario aportar alternativas que permitan reducir el consumo energético, las emisiones de gases de efecto invernadero, los niveles de congestión y los costes económicos. Son necesarias nuevas soluciones que descongestionen el tráfico, cuya tendencia ha sido claramente alcista en los últimos años.

En el año 2006 las toneladas transportadas por cuenta propia aumentaron respecto de 2005 un 1.7% en tanto que las toneladas-kilómetro lo hicieron en un 1.6%. Las mercancías transportadas por cuenta ajena crecieron aún más, alcanzando un incremento del 6.6% en toneladas totales y un incremento del 5.5% en toneladas-kilómetro. (*Fuente: anuario estadístico del ministerio de fomento 2007*)

Las políticas comunitarias están encaminadas a potenciar modos de transporte más sostenibles alternativos a la carretera, para lo cual se está trabajando a favor del ferrocarril o del transporte marítimo. Sin embargo, no se ha conseguido un trasvase intermodal lo suficientemente significativo como para hablar del éxito de estas iniciativas, por lo que en paralelo a todas ellas es necesario establecer medidas adicionales que actúen sobre el transporte de mercancías por carretera.

El uso de vehículos de gran longitud o megatrucks no es un concepto nuevo, ya que se ha usado con éxito durante varios años en otros países, especialmente en Norteamérica, donde su utilización es frecuente. A nivel europeo existen países como Noruega donde este tipo de transporte se permite en una parte de la red viaria. En otros países como Bélgica, Dinamarca y Alemania se han llevado a cabo proyectos piloto para evaluar su viabilidad e impacto con resultados satisfactorios.

Este interés en la implantación de vehículos de gran capacidad ha llevado a las autoridades europeas a plantearse la posibilidad de permitir el tráfico de este tipo de vehículos para el transporte de mercancías a nivel nacional. Sin embargo, previo a su implantación, es necesario estudiar la viabilidad y las consecuencias, tanto positivas como negativas, del uso de este tipo de vehículos.

2. OBJETIVOS

Al realizar un análisis como el que se lleva a cabo en este documento, las limitaciones a las que nos enfrentamos son muy numerosas, especialmente en lo referente a las estimaciones futuras acerca de cómo afectaría al sector "transportes" la utilización de megatrucks. Por este motivo, los objetivos del presente estudio no tratan de ser excesivamente ambiciosos y, por lo tanto inalcanzables, y se limitan a exponer con objetividad cuál es la situación actual del debate sobre la conveniencia o no de permitir la circulación de vehículos de grandes dimensiones por las carreteras españolas.

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

1. Analizar la situación jurídica actual en lo referente al transporte por carretera y la evolución de dicha situación jurídica en el futuro próximo.
2. Analizar la viabilidad de la utilización de vehículos de gran capacidad, tanto a nivel técnico como medioambiental, analizando el consumo energético de este nuevo tipo de transporte y compararlo con el consumo energético del transporte tradicional.
3. Estudiar cómo afecta el uso de este tipo de transporte a la seguridad del tráfico, esperándose que el índice de seguridad se mantenga o aumente con respecto a los niveles actuales.
4. Estimar la disminución total del número de desplazamientos que supondría la implantación de este tipo de transporte.
5. Estudiar el aumento de desplazamientos en los corredores seleccionados para este tipo de transporte debido al efecto concentración con los correspondientes efectos sobre el pavimento, el aumento del ruido, etc.
6. Analizar la parte de la red viaria que, por sus características, se adecuaría en mayor medida a la circulación de megatrucks.
7. Servir como punto de partida para emprender un proyecto piloto similar a los ya realizados en otros países europeos para este tipo de vehículos, para lo cual se establecerán unas rutas de circulación para los megatrucks en las cuales se podría llevar a cabo el proyecto piloto.

3. REVISIÓN DE LA NORMATIVA ACTUAL

La Directiva 96/53/CE del 25 de julio de 1996, modificada posteriormente por la Directiva 2002/7/CE, estableció un conjunto de requisitos a cumplir por parte de todo vehículo de transporte dentro de la Comunidad con el objetivo de armonizar las dimensiones y pesos máximos autorizados de los vehículos de carretera destinados al transporte de personas y de mercancías. Asimismo se determinaron las diferencias entre los vehículos que realizarían trayectos a nivel nacional, respecto de aquellos que lo harían a nivel intracomunitario, permitiendo cierto grado de flexibilidad para el caso del transporte de carácter doméstico.

Mediante esta normativa, se autoriza a cada país miembro de la Comunidad a encontrar soluciones innovadoras de los vehículos destinados al transporte de personas y mercancías, siempre y cuando dichos vehículos circulen íntegramente dentro de los límites del territorio del país miembro, quedando por tanto prohibido la utilización de vehículos que no se ajustan a la Directiva en itinerarios intracomunitarios.

Estas modificaciones trajeron consigo, un conjunto de cambios en el Anexo IX, del Reglamento General de Vehículos (Real Decreto 2822/1998 del 23 de diciembre), "Masas y Dimensiones". Los cambios realizados tienen como fin fomentar el transporte combinado de mercancías permitiendo la circulación de determinados vehículos con 42 o 44 toneladas de peso máximo autorizado en lugar de las 40 generalmente admitidas.

Las modificaciones en el Artículo 4 de la Directiva 96/53/CE permiten circular aquellos vehículos de transporte de mercancías que no cumplan con las dimensiones máximas y pesos máximos que ella misma determina en el Anexo I, siempre y cuando dicha circulación sea de carácter nacional:

Los Estados miembros podrán autorizar la circulación en su territorio de:

1. Vehículos o conjuntos de vehículos destinados al transporte nacional de mercancías que no se ajusten a las características indicadas en los puntos 1.3, 2, 3, 4.1, 4.3 del anexo I.

Tabla 1 – Puntos del Anexo I de la Directiva 96/53/CE

Punto	Estipulación
1.3	Estipula una altura máxima del vehículo 4 metros
2	Estipula que el peso máximo de los vehículos de motor con 3 ejes con semirremolque de 2 o 3 ejes que lleva, en transporte combinado, un contenedor ISO de 40 pies, es de 44 toneladas
3	Estipula que el peso máximo por eje es de 20 toneladas (tándem de los remolque) ó 24 toneladas (tridem de los remolques)
4.1	Estipula que el peso soportado por el eje del motor no deberá ser inferior al 25% del peso total de la carga del vehículo
4.3	Estipula que el peso máximo autorizado (toneladas) de un vehículo de motor de 4 ejes no podrá sobrepasar 5 veces la distancia (metros) entre los ejes de los árboles extremos del vehículo

Adicionalmente en el mismo artículo 4 establece que:

“Los Estados miembros podrán autorizar que los vehículos o conjunto de vehículos que incorporen nuevas tecnologías o diseños que no se ajusten a uno o varios de los requisitos establecidos en la presente Directiva efectúen determinadas operaciones de transporte a escala local durante un período de prueba. Informarán de ello a la Comisión”

Todas las modificaciones establecidas en la Directiva 2002/7/CE posteriormente, a través de la ORDEN PRE / 3298/2004, fueron realizadas en el Anexo IX del Reglamento General de Vehículos (Real Decreto 2822/1998).

Tabla 2 - Masas por eje máximas permitidas (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).

Toneladas	
Eje simple	
Eje motor (1)	11,5
Eje no motor	10
Eje tándem de los vehículos de motor	
Si la separación «d» de dos ejes es inferior a 1,00 metros ($d < 1,00m$)	11,5
Si es igual o superior a 1,00 metros e inferior a 1,30 metros ($1,00m = d < 1,30m$)	16
Si es igual o superior a 1,30 metros e inferior a 1,80 metros ($1,30m = d < 1,80m$)	18
En el caso anterior si el eje va equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado con neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no exceda de las 9,5 toneladas	19
Eje tándem de los remolques o semirremolques	
Si la separación «d» de los ejes es inferior a 1,00 metros ($d < 1,00$)	11
Si es igual o superior a 1,00 metros e inferior a 1,30 metros ($1,00m = d < 1,30m$)	16
Si es igual o superior a 1,30 metros e inferior a 1,80 metros ($1,30m = d = 1,80m$) (2)	18
Si es igual o superior a 1,80 metros ($1,80m = d$)	20
Tándem triaxial de los remolques o semirremolques	
Si la distancia es igual o inferior a 1,30 metros ($d = 1,30m$)	21
Si la distancia es superior a 1,30 metros e inferior o igual a 1,40 metros ($1,30m = d = 1,40m$)	24

(1) Salvo para los vehículos de transporte colectivo de viajeros de la Clase I (autobuses urbanos) según la clasificación del Reglamento nº 36 al Acuerdo de Ginebra de 1958, que será de 13 toneladas.

(2) Salvo para semirremolques equipados con caja basculante reforzada para la utilización específica en construcción, obras o minería que será de 20 toneladas.

Tabla 3 - Masas máximas autorizadas de los vehículos (en toneladas) (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carretera).

	Toneladas
Vehículos de motor	
Vehículos de motor de dos ejes (1)	18
Vehículos de motor de tres ejes	25
Vehículos de motor de tres ejes, cuando el eje motor vaya equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado con neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no exceda de las 9,5 toneladas	26
Autobuses articulados de 3 ejes	28
Vehículo rígido de 4 ejes con dos direccionales, cuando el eje motor vaya equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria, o cuando cada eje motor esté equipado con neumáticos dobles y la masa máxima de cada eje no exceda de las 9,5 toneladas	32
Otros vehículos rígidos de 4 ejes	31
Remolques	
Remolque de dos ejes	18
Remolque de tres ejes	24
Vehículos articulados de 4 ejes:	
Vehículo motor de 2 ejes y semirremolque en el cual la distancia entre ejes sea igual o superior a 1,3 m y sea inferior a 1,80 metros (2)	36
Vehículo motor de 2 ejes y semirremolque en el cual la distancia entre ejes sea igual o superior a 1,80 metros	36
Vehículo motor de 2 ejes, equipado en el eje motor con ruedas gemelas, suspensión neumática o reconocida como equivalente y por un semirremolque en el cual la distancia entre ejes sea superior a 1,80 metros, y se respeten la masa máxima autorizada del vehículo motor (18 toneladas) y la masa máxima autorizada de 1 eje tándem del semirremolque (20 toneladas)	38
Otros vehículos articulados de 4 ejes compuestos por un tractor de 2 ejes y un semirremolque de otros 2 ejes	36
Vehículos articulados de 5 o más ejes:	
Vehículo motor con 2 ejes y semirremolque de 3 ejes	40
Vehículo motor con 3 ejes y con semirremolque de 2 ó 3 ejes	40
Vehículo motor de 3 ejes con semirremolque de 2 ó 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado	44
Vehículo motor de 2 ejes con semirremolque de 3 ejes llevando, en transporte combinado, un contenedor o caja móvil cerrados, igual o superior a 20 pies y homologado para el transporte combinado	42
Trenes de carretera de 4 ejes:	
Vehículo motor de 2 ejes y semirremolque de 2 ejes	36
Trenes de carretera de 5 o más ejes:	
Vehículos de motor con 2 ejes con remolque de 3 ejes	40
Vehículos de motor con 3 ejes con remolque de 2 ó 3 ejes	40

(1) Salvo para los vehículos de transporte colectivo de viajeros de la Clase I (autobuses urbanos) según la clasificación del Reglamento nº 36 al Acuerdo de Ginebra de 1958, que será de 20 toneladas.

(2) Salvo cuando el semirremolque esté equipado con caja basculante reforzada para la utilización específica en construcción, obras o minería que será de 38 toneladas, siempre que la carga impuesta sobre el dispositivo de acoplamiento sea compatible con las masas máximas por eje establecidos en la tabla 1.

Tabla 4 - Dimensiones máximas autorizadas (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).

Longitud	Metros
Vehículos de motor excepto autobuses	12
Remolques	12
Vehículos articulados excepto autobuses	16,50
Distancia máxima entre el eje del pivote de enganche y la parte trasera del semirremolque	12,00
Distancia entre el eje del pivote de enganche y un punto cualquiera de la parte delantera del semirremolque horizontalmente	2,04
Trenes de carreteras (1)	18,75
La distancia máxima, medida en paralelo al eje longitudinal del tren de carretera, entre los puntos exteriores situados más delante de la zona de carga detrás de la cabina y más atrás del remolque del conjunto vehículos, menos la parte trasera del vehículo motor y la parte delantera del remolque	15,65
La distancia máxima, medida en paralelo al eje longitudinal del tren de carretera, entre los puntos exteriores situados más delante de la zona de carga detrás de la cabina y más atrás del remolque del conjunto vehículos	16,40
Autobuses articulados	18,75
Autobuses rígidos de 2 ejes	13,50
Autobuses rígidos de más de 2 ejes	15,00
Autobuses con remolque, incluido éste	18,75
En el caso de autobuses equipados con accesorios desmontables, como los porta esquís, la longitud del vehículo, accesorios incluidos, no sobrepasará las máximas previstas en este apartado	
Anchura	
La anchura máxima autorizada, como regla general	2,55
Superestructuras de vehículos acondicionados (2)	2,60
Autobuses especialmente acondicionado para el traslado de presos (3)	2,60

(1) La longitud de los trenes de carretera especializados en el transporte de vehículos, circulando con carga, puede aumentarse hasta un total de 20,55 metros utilizando un voladizo o soporte de carga trasero autorizado para ello. El voladizo o soporte de carga trasero no podrá sobresalir en relación a la carga. La carga podrá sobresalir por detrás, sin exceder el total autorizado siempre que el último eje del vehículo que se transporta descansa en la estructura del remolque. La carga no podrá sobresalir por delante de vehículo de tracción.

(2) Un vehículo acondicionado es cualquier vehículo cuyas superestructuras fijas o móviles estén parcialmente equipadas para el transporte de mercancías a temperaturas dirigidas y en el que el espesor de cada pared lateral, incluido el aislamiento, sea de 45mm. como mínimo.

(3) Se entiende por vehículo tipo autobús, especialmente acondicionado para el traslado de presos, el constituido por un compartimento central para celdas separado del delantero (conducción y escolta) y trasero (escolta), así como un pasillo central.

4. CONFIGURACIÓN DE LOS MEGATRUCKS

4.1. Diferentes configuraciones de vehículos de gran capacidad

El presente documento analiza los vehículos cuyas dimensiones exceden las dimensiones máximas permitidas por la normativa, con un máximo absoluto de 25.25 metros de longitud y un peso máximo de 60 toneladas. Sin embargo, las configuraciones de los vehículos para alcanzar tales dimensiones pueden variar. A continuación se muestran cuatro configuraciones diferentes que se han utilizado en un proyecto piloto en Bélgica y que podrían ser de aplicación en las experiencias que se lleven a cabo en España.

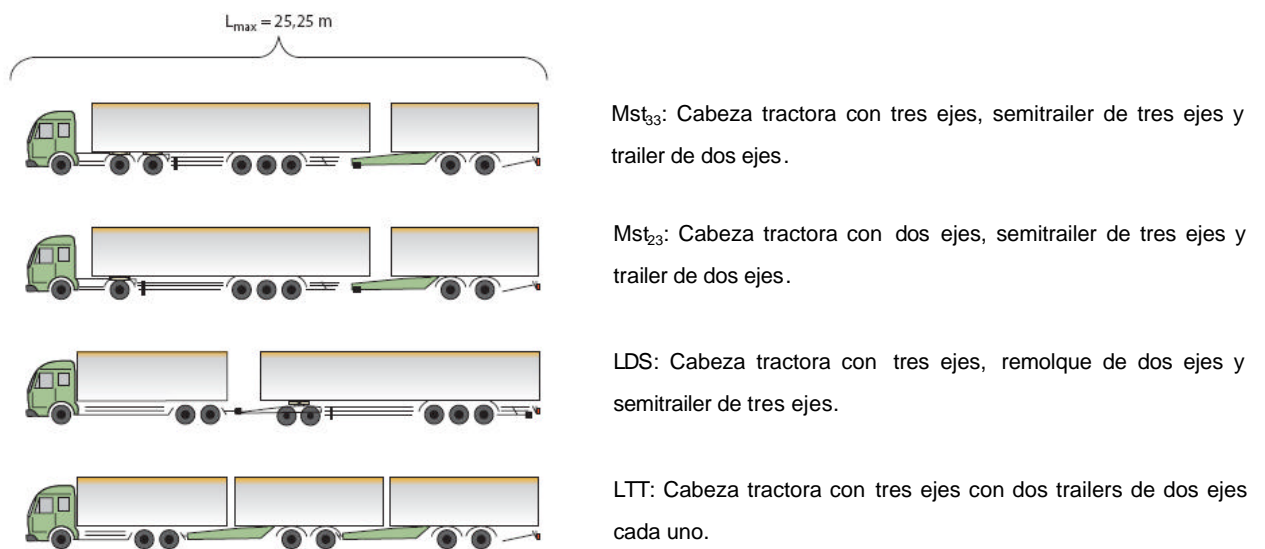


Figura 1 – Configuraciones de megatrucks con diferente número de ejes utilizados en un proyecto piloto en Bélgica (Fuente: Belgian Road Research Centre (BRRC))

4.2. Adecuación de los Megatrucks a la normativa vigente

De manera general, si comparamos las dimensiones máximas de los megatrucks con la normativa actual, los resultados se pueden resumir en la tabla 5.

Tabla 5 - Comparativa entre las dimensiones máximas permitidas por la normativa actual y las dimensiones máximas absolutas de los megatrucks (Elaboración propia)

	Máximos	Permitidos	Variación (%)
Longitud total (m)	25	18,75	33,3%
Ancho total (m)	2,6	2,55	2,0%
Altura total (m)	4,15	4	3,8%
Tractor			
Peso por eje del tándem (t)	17	20	-15,0%
Pesos Máximos del Camión			
seis ejes (t)	49,8	44	13,2%
siete ejes (t)	54,6	44	24,1%
ocho ejes (t)	62,5	44	42,0%

5. ESTUDIO TÉCNICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS ACTUALES

Antes de llevar a cabo ningún tipo de proyecto piloto es imprescindible analizar las carreteras para comprobar que los criterios de diseño de las mismas se adecuan a las dimensiones y pesos de los megatrucks. Es posible que sea necesario realizar una inversión previa al desarrollo del proyecto piloto para renovar partes de la vía que no son compatibles con los vehículos de gran capacidad. Tres son los puntos críticos que se deben considerar:

1. La geometría de la vía debe ser compatible con los radios de giro de los camiones que se vayan a utilizar. En este sentido, se estima que los mayores problemas se originaran en los accesos a las vías de circulación, donde puede que las rotondas no tengan un radio lo suficientemente amplio como para permitir el giro.
2. Los firmes de carretera por la cual circulen este tipo de camiones deben estar correctamente dimensionados para resistir tráfico pesado. El mayor problema que se plantea en este caso es una cuestión de durabilidad, ya que la utilización de megatrucks sobre un firme no adecuado puede obligar a rehabilitar el firme a los pocos años de su entrada en servicio.
3. La capacidad portante de las estructuras es posiblemente el punto más crítico. En este caso, el problema que se plantea es de seguridad. El colapso de una estructura por un exceso de carga puede suponer la pérdida de vidas humanas, por lo que hay que analizar los criterios de diseño de las estructuras y su estado de conservación. Adicionalmente, el exceso de carga en servicio puede suponer también un problema de durabilidad.

Un punto adicional a tener en cuenta, aunque no se aborde en este documento, es la seguridad en los túneles. En el caso de que se aprobase el uso de este tipo de vehículos, se debería revisar la seguridad de los túneles, especialmente en lo referente al tema de incendios.

5.1. Geometría de las vías

Análisis realizados en otros países europeos acerca de la maniobrabilidad de los megatrucks muestran que los vehículos de gran longitud (25.25 m.) se comportan de forma muy similar los trenes de carreteras permitidos en la normativa vigente (18.75 m.) en los enlaces de entrada y salida de las autopistas. Sin embargo, los problemas de giro aparecen en el acceso a carreteras secundarias, donde una parte de la infraestructura, especialmente rotondas y cruces, no se adecua a las características de este tipo de vehículos. Por este motivo, antes de asignar ningún tipo de ruta, es necesario realizar un estudio de los condicionantes geométricos de la vía.

Para cada una de las posibles configuraciones de megatrucks que se utilicen, al menos, será necesario llevar a cabo un estudio geométrico similar al que muestra la Figura 1. Actualmente

existen programas de ordenador capaces de realizar este análisis geométrico de forma más precisa.

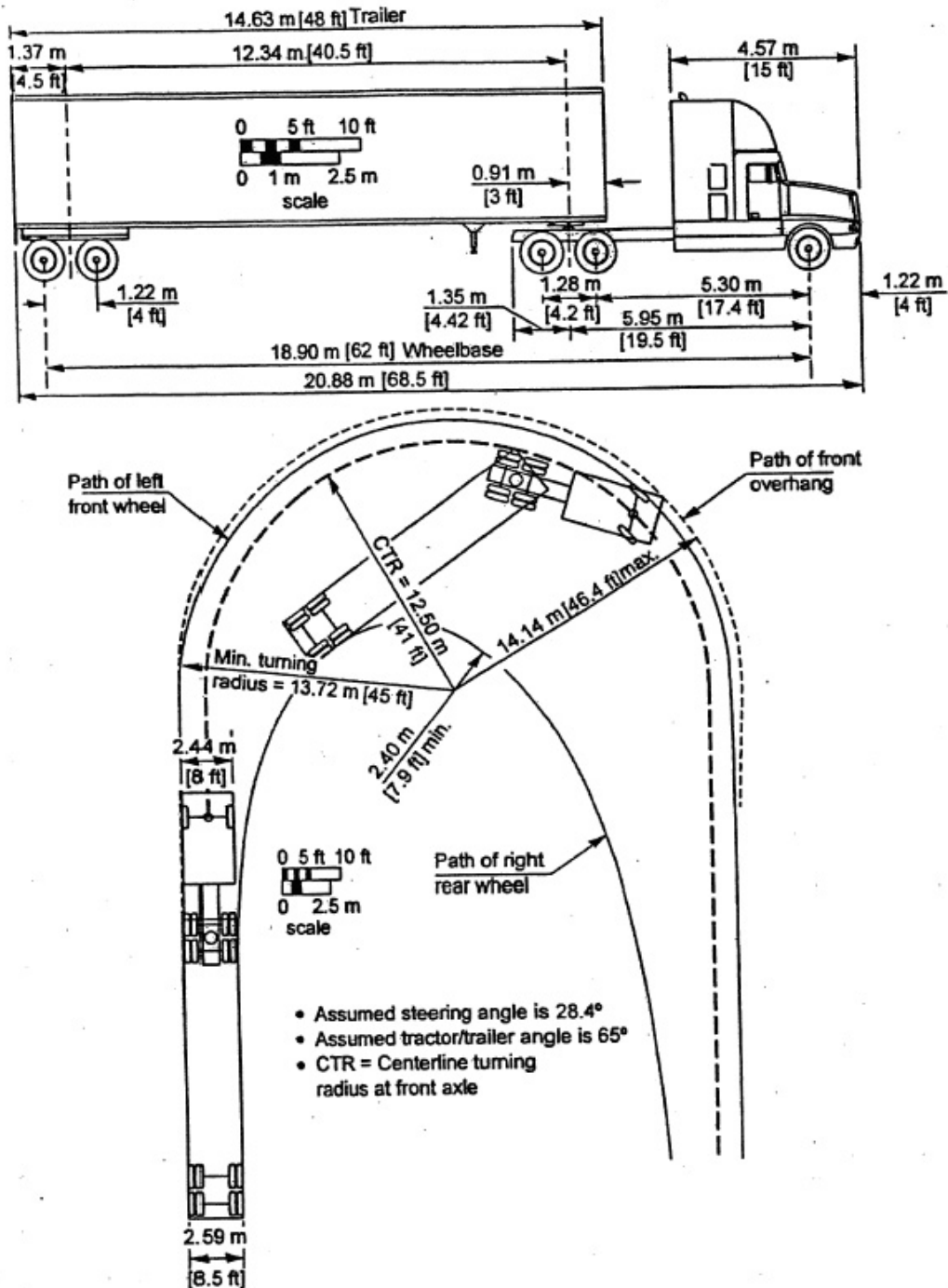


Figura 2 - Análisis geométrico del radio de giro de un camión de dimensiones conocidas (Fuente: Ingeniería de Carreteras, Carlos Kraemer et. al.)

De manera general, podemos concluir que para que un vehículo de 25 metros de longitud no tenga problemas de giro en una curva, el radio de curvatura de esta debe ser al menos de 15 metros. Para evitar problemas con la geometría de las rotondas, su radio de curvatura no debe ser inferior a 18 metros (preferiblemente 20 metros) en el caso de que el camión no cambie de dirección en la rotonda y no debe ser inferior a 20 metros (preferiblemente 22 metros) en el caso de que el camión realice un giro de tres cuartos de circunferencia en la rotonda. Como se ha indicado con anterioridad, estos valores son sólo orientativos y es necesario analizar detalladamente las rutas por las que circulen estos camiones.

Es poco probable que los megatrucks circulen por vías diferentes de autovías o autopistas, adaptándose este tipo de vías a las necesidades de giro de los megatrucks. A continuación se muestra la tabla 2, con los radios de curvatura que marca la norma para diferentes situaciones. En autovías, autopistas, vías rápidas y carreteras C-100 el radio mínimo de curvatura en planta es de 250 m.:

Tabla 6 – Radio de curvatura y peraltes para una velocidad específica (Fuente: Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras)

Velocidad específica (km/h)	Radio (m)	Peralte (%)
80	250	8,00
85	300	8,00
90	350	8,00
95	400	8,00
100	450	8,00
105	500	8,00
110	550	8,00
115	600	8,00
120	700	8,00
125	800	7,51
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1425	4,84
150	1725	4,29

Adicionalmente, todos los elementos del trazado deben estar coordinados para lo cual es necesario que en el caso de que existan dos curvas consecutivas sin que haya una recta intermedia mayor a 400 m debe existir una relación entre las dos curvas y así lo recoge la norma *"Para todo tipo de carretera, cuando se unan curvas circulares consecutivas sin rectas intermedias o rectas de longitud menor o igual que cuatrocientos metros (400m), la relación de radios de las curvas circulares no sobrepasará los valores obtenidos a partir de las expresiones de"*:

Tabla 7 – Relación para determinar los radios de dos curvas enlazadas (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras)

Clase de carretera		R ₂
Grupo 1	AP, AV R y C-100	$1,5 \cdot R + 1,05 \cdot 10^{-8} \cdot (R-250)^3 \cdot R$ 250 = R = 700
Grupo 2	C-80, C-60 C-40	$1,5 \cdot R + 4,693 \cdot 10^{-8} \cdot (R-50)^3 \cdot R$ 50 = R = 300

Tabla 8 - En autopistas, autovías, vías rápidas y carretera (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).

Relación entre radios consecutivos – grupo 1					
Radio Entrada	Radio Salida		Radio Entrada	Radio Salida	
	Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo
250	375	250	820	> 1720	495
260	390	250	840	> 1720	503
270	405	250	860	> 1720	510
280	420	250	880	> 1720	517
290	435	250	900	> 1720	524
300	450	250	920	> 1720	531
310	466	250	940	> 1720	537
320	481	250	960	> 1720	544
330	497	250	980	> 1720	550
340	513	250	1000	> 1720	556
350	529	250	1020	> 1720	561
360	545	250	1040	> 1720	567
370	562	250	1060	> 1720	572
380	579	253	1080	> 1720	578
390	596	260	1100	> 1720	583
400	614	267	1120	> 1720	588
410	633	273	1140	> 1720	593
420	652	280	1160	> 1720	598
430	671	287	1180	> 1720	602
440	692	293	1200	> 1720	607
450	713	300	1220	> 1720	611
460	735	306	1240	> 1720	616
470	758	313	1260	> 1720	620
480	781	319	1280	> 1720	624
490	806	326	1300	> 1720	628

500	832	332	1320	> 1720	632
510	859	338	1340	> 1720	636
520	887	345	1360	> 1720	640
530	917	351	1380	> 1720	644
540	948	357	1400	> 1720	648
550	981	363	1420	> 1720	651
560	1015	369	1440	> 1720	655
570	1051	375	1460	> 1720	659
580	1089	381	1480	> 1720	662
590	1128	386	1500	> 1720	666
600	1170	392	1520	> 1720	669
610	1214	398	1540	> 1720	672
620	1260	403	1560	> 1720	676
640	1359	414	1580	> 1720	679
660	1468	424	1600	> 1720	682
680	1588	434	1620	> 1720	685
700	1720	444	1640	> 1720	688
720	> 1720	453	1660	> 1720	691
740	>1720	462	1680	> 1720	694
760	> 1720	471	1700	> 1720	697
780	> 1720	479	1720	> 1720	700
800	> 1720	488			

En vías C-100, cuando se enlacen curvas circulares consecutivas con una recta intermedia de longitud superior a cuatrocientos metros (400 m), el radio de la curva circular de salida, en el sentido de marcha, será igual o mayor que setecientos metros (700 m.)

El tema de rotondas y cruces deberá someterse a un estudio especial, puesto que la normativa no puede garantizar su adecuación a los vehículos de gran capacidad.

En lo referente a los carriles de aceleración y deceleración, tampoco se espera que supongan un problema geométrico para la circulación de vehículos de grandes dimensiones. Los carriles de cambio de velocidad se clasifican en los siguientes tipos:

- Paralelo, en el que el carril de cambio de velocidad, adosado a la calzada principal, incorpora una transición de anchura variable linealmente en el extremo contiguo a dicha calzada.
- Directo en el que el carril de cambio de velocidad es tangente al borde de la calzada principal o forma con él un ángulo muy pequeño, cuya cotangente no sea inferior a veinte (20), y no rebase treinta y cinco (35) cuando sea de deceleración.

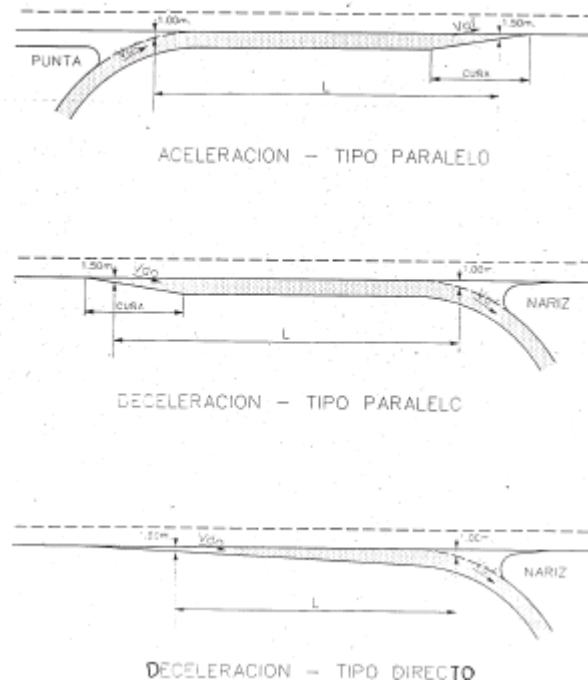


Figura 3 – Carriles de cambio de velocidad (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).

5.2. Capacidad portante de las estructuras

Es sin ningún género de dudas el punto crítico en lo que a adaptación de infraestructuras se refiere. La mayor parte de la inversión necesaria se destinaría a este concepto y un fallo en este sentido supondría un problema de seguridad grave. Parece sensato pensar que las estructuras de reciente construcción se adaptarían sin excesivos problemas a este nuevo tipo de vehículos, pero es necesario analizar qué ocurriría con las estructuras antiguas cuyos criterios de cálculo no se ajusten a las nuevas solicitaciones. Existe además un problema añadido como es el estado de conservación de las estructuras, lo cual dificulta el análisis y encarece la inversión.

En este punto del documento nos limitaremos a estudiar los criterios de cálculo que establece la normativa vigente y sus antecesoras y a analizar qué efecto tendrían la sobrecarga transmitida por los megatrucks en un paso superior tipo.

Desde los años 70, la normativa española ha elaborado dos instrucciones para el diseño de Puentes. Mediante la orden del 28 de febrero de 1972 se aprueba la *“Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carretera”* y, en la orden del 12 de febrero de 1998 se aprueba la *“Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de Puentes de Carretera (IAP-98)”*.

Ambas instrucciones consideran un tren de cargas similar:

1. Una sobrecarga uniforme de cuatro kilonewtons por metro cuadrado ($4,0 \text{ kN/m}^2$) extendida en toda la plataforma del tablero o en parte de ella, según sea más desfavorable para el elemento de estudio.
2. Uno o dos vehículos de seiscientos kilonewtons (600 kN), cuyo eje longitudinal se considerará paralelo al de la calzada, y formado cada uno por seis cargas de cien kilonewtons (100 kN). La separación entre las cargas en sentido longitudinal será de un metro y cincuenta centímetros ($1,50 \text{ m}$), y en sentido transversal de dos metros ($2,00 \text{ m}$). La superficie de apoyo sobre la que actuará cada carga será de veinte centímetros ($0,20 \text{ m}$), paralelamente al eje del vehículo, por sesenta centímetros ($0,60 \text{ m}$) de ancho.

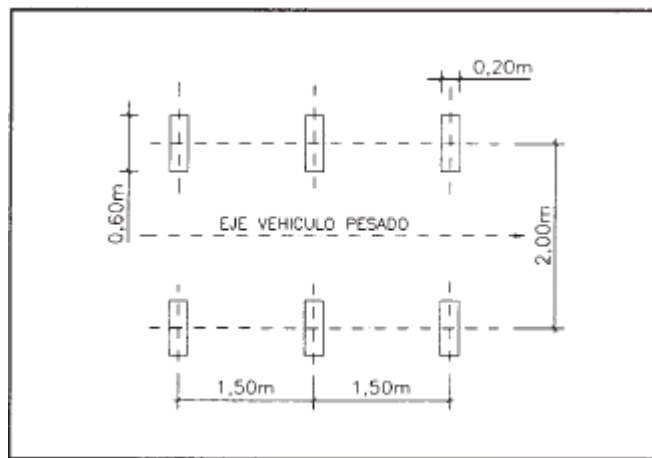


Figura 4 – Planta del tren de cargas de la Instrucción IAP-98

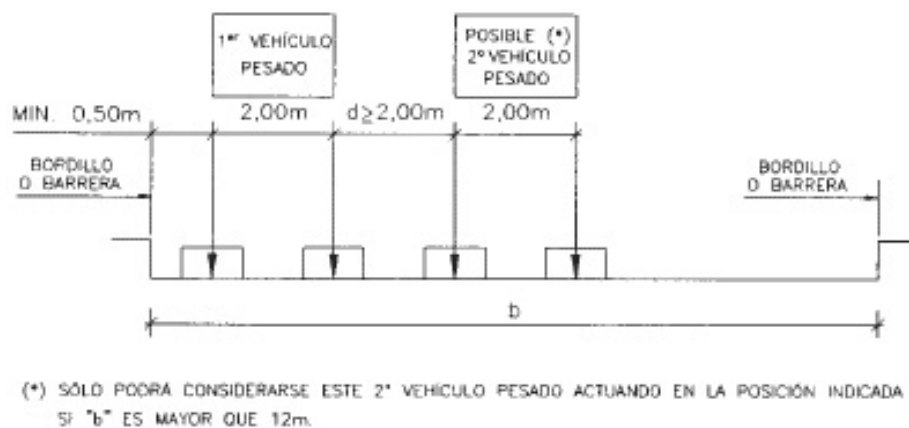


Figura 5 – Alzado del tren de cargas de la Instrucción IAP-98

La principal diferencia entre ambas normativas radica en que la IAP-98 exige la consideración de dos trenes de cargas simultáneos en el caso de que la anchura del puente exceda los 12 metros, su antecesora únicamente consideraba un tren de cargas independientemente de la anchura de la estructura.

En lo referente a la fatiga, las acciones variables repetitivas previsible durante la vida útil de una estructura, pueden ser definitivas por modelos simplificados de carga, que son los que habitualmente se emplean para la comprobación del estado límite de fatiga.

En el caso de que el fenómeno de la fatiga sea producido por las acciones del tráfico, se tomará como modelo de carga representativo de este un vehículo con las mismas características geométricas que el vehículo de 600 kN, pero con una carga total de trescientos noventa kilonewtons (390 kN) (seis (6) cargas de sesenta y cinco kilonewtons (65kN) cada una). A este valor se le aplicará un coeficiente dinámico multiplicador, igual a $F=1,2$.

Con estos datos, se describe a continuación un pequeño ejemplo donde se comparan las sollicitaciones derivadas de la normativa y las ocasionadas por los megatrucks sobre una estructura biapoyada de 40 metros de luz:

IAP-98:

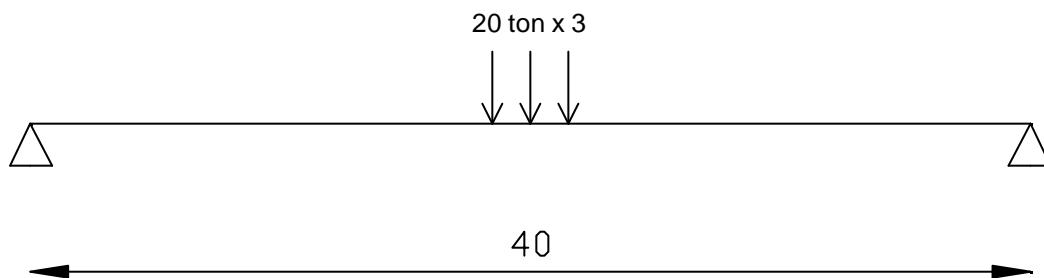


Figura 6 – Disposición pésima del tren de cargas para el cálculo del momento flector

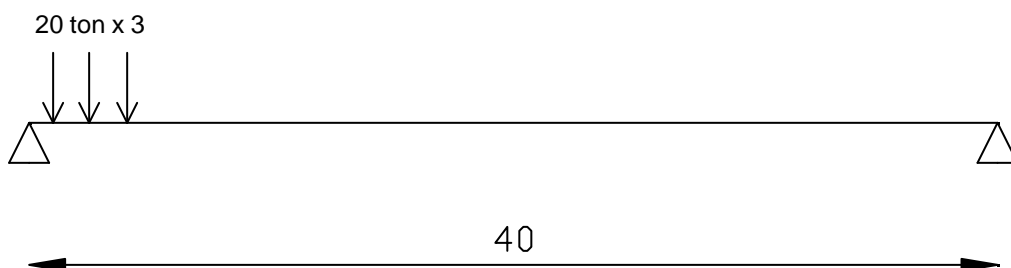


Figura 7 - Disposición pésima del tren de cargas para el cálculo del cortante

En este caso calculamos el momento flector que produce el tren de cargas de la Instrucción en el centro de vano. Consideraremos que el puente tiene una anchura superior a los 12 metros, por lo que es obligatorio disponer dos trenes de carga actuando simultáneamente en paralelo. El momento flector máximo en el centro de la luz es de:

$$M = 1170mt$$

Si desplazásemos las cargas hacia el extremo del puente, el cortante máximo resultante es:

$$V = 107,7ton$$

Megatrucks:

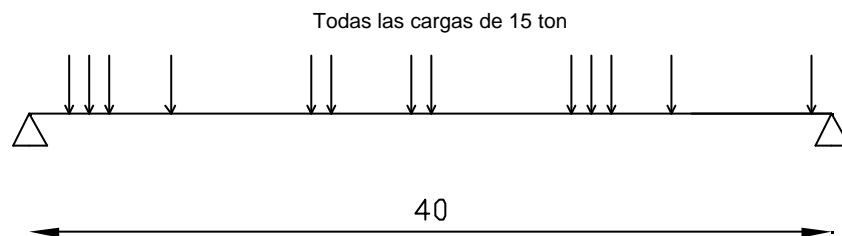


Figura 8 – Tren de cargas para un puente cargado con megatrucks en toda su longitud

En este caso, calculamos el momento flector máximo que producen sobre el puente un megatruck en la posición más desfavorable unido a otros dos megatrucks en la parte anterior y posterior del puente. Estos dos megatrucks sólo tienen apoyado en el puente un número limitado de ejes, ya que debido a la longitud de este tipo de vehículos es imposible que actúen simultáneamente en su totalidad sobre un puente de 40 metros de longitud. Consideraremos que los megatrucks están duplicados, uno por cada sentido de circulación. Con estas hipótesis y con la disposición de la figura, el momento máximo que se produce en el centro de vano es:

$$M = 967,5mt$$

Y el cortante máximo:

$$V = 105,7ton$$

Como se puede observar, los valores que se obtienen aplicando el tren de cargas que marca la Instrucción son mayores que los que se obtienen tras suponer el puente completamente

cargado con megatrucks. Ahora bien, en el caso de la Instrucción de puentes de 1972, donde únicamente se consideraba un tren de cargas independientemente de la anchura del puente, es posible que las solicitaciones de los megatrucks sean superiores a las solicitaciones de cálculo. Además, se trata de estructuras antiguas cuyo estado de conservación puede no ser óptimo, por lo que será necesario estudiarlas con un cuidado especial.

En conclusión, parece que los megatrucks no suponen un exceso de carga con respecto a la carga de cálculo en los puentes recientes y de nueva construcción. En aquellos puentes construidos previamente a la entrada en vigor de la IAP-98, se puede producir un exceso de carga con respecto a la de cálculo. En todos los casos es necesario hacer un estudio detallado de cada estructura para garantizar la seguridad y, aquellas que lo necesiten, deberán ser reparadas y reforzadas.

5.3. Resistencia de los firmes de carretera

El efecto de los megatrucks sobre los firmes de carreteras puede ocasionar un problema de durabilidad de los mismos con el consiguiente aumento de los gastos de mantenimiento. En ningún caso se plantea un problema de seguridad, por lo que este punto no es tan crítico como el anterior.

En principio, los megatrucks no deberían ser más agresivos que los camiones tradicionales, ya que la carga por eje de estos vehículos es inferior. Sin embargo, es posible que los efectos dinámicos de camiones con una carga superior afecten más negativamente al firme. Una opción para evaluar la agresividad de las cargas de tráfico es:

$$K = n \cdot a \cdot \sum_i f_i \left(\frac{P_i}{P} \right)^g$$

Donde:

f_i = Número de repeticiones de la carga

n = número de ejes por vehículo

$a = 0.143$ para pavimentos flexibles

$a = 1$ para pavimentos rígidos

Utilizando esta formulación, si comparamos el efecto de los megatrucks con el efecto de un vehículo tradicional formado por una cabeza tractora de dos ejes con un semitrailer de tres ejes, obtenemos los resultados que figuran en la Tabla 9:

Tabla 9 - Agresividad relativa de un megatruck en comparación con un camión tradicional (Fuente: Belgian Road Research Centre (BRRC))

	Agresividad relativa comparada con un camión tradicional
--	---

	LDS	MST23	MST33	LTT
<i>Pavimento flexible</i>	0.96	1.24	0.79	1.26
<i>Pavimento semirrígido</i>	0.09	1.00	0.0003	0.009
<i>Pavimento rígido</i>	0.49	1.02	0.06	0.59

Si en lugar de analizar el efecto sobre el firme por vehículo, se analiza por unidad transportada, los megatrucks resultarían teóricamente menos agresivos que los vehículos tradicionales.

En el caso de que se estableciera una experiencia piloto con vehículos de gran capacidad, se presupone que la circulación de dichos vehículos se circunscribiría a la red principal y, más concretamente, a las autovías y autopistas. En España, los principales corredores de la Red de Carreteras del Estado, después de las adecuaciones realizadas en los años 80, disponen de firmes capaces de soportar tráfico de la categoría T00 (Intensidad Media Diaria de Vehículos Pesados; $IMD_p = 4000$) o en su defecto de la categoría T0 (Intensidad Media Diaria de Vehículos Pesados; $2000 = IMD_p < 4000$), por lo que una experiencia piloto no debería suponer una adecuación de las infraestructuras actualmente en uso en lo que a firmes se refiere.

6. ENCUESTA A LOS TRANSPORTISTAS ESPAÑOLES

La implantación de megatrucks como una solución alternativa al transporte de mercancías por carretera debe evidentemente contar con la aprobación de los transportistas que finalmente serán los encargados de realizar los portes. Por este motivo, se decidió realizar una encuesta con la ayuda de La Asociación del Transporte Internacional por Carretera (ASTIC) para conocer la visión de los transportistas en esta iniciativa.

Se preparó una encuesta con las siguientes preguntas:

1. ¿Cuántas rutas cubre su servicio de transporte?
2. La distancia media recorrida por ruta es:

< 300 km	300 km – 500 km	501 km – 800 km	> 800 km
----------	-----------------	-----------------	----------

3. ¿Qué rutas realiza?:

	Badajoz	Barcelona	Bilbao	Burgos	Cádiz	Castellón	La Coruña	Lérida	Madrid	Murcia	Santander	Sevilla	Tarragona	Valencia	Zaragoza
Badajoz															
Barcelona															
Bilbao															
Burgos															
Cádiz															
Castellón															
La Coruña															
Lérida															
Madrid															
Murcia															
Santander															
Sevilla															
Tarragona															
Valencia															
Zaragoza															

4. ¿Realiza servicios de transporte internacional por carretera?

SI	NO
----	----

En caso afirmativo, ¿qué ruta realiza?

5. ¿Con qué frecuencia realiza sus recorridos (veces por semana)?
6. ¿Qué tipos de productos son los que transporta?
- Alimentos
 - Materiales de construcción
 - Productos en isoterma
 - Contenedores
 - Mudanza
 - Paquetería
 - Coches
7. ¿De cuántos vehículos dispone?
8. ¿Cuál es la carga máxima media de sus vehículos?
9. ¿Cuál es el consumo medio mensual de combustible (aproximado) por?

litros	euros

10. ¿Qué porcentaje del total de sus gastos representa el mantenimiento de los camiones?

< 10%	10% - 15%	15% - 20%	> 20%
-------	-----------	-----------	-------

11. ¿El trazado de las carreteras dificulta su servicio de transporte?

nada	poco	bastante	mucho
------	------	----------	-------

12. ¿La congestión supone un problema para el correcto desarrollo de su negocio?

SI	NO
----	----

13. ¿Cree usted que el uso de vehículos de gran capacidad de carga y grandes dimensiones representa un beneficio para reducir la congestión de tráfico?

nada	poco	bastante	mucho
------	------	----------	-------

14. ¿Cree que los vehículos de grandes dimensiones y gran capacidad de carga representan una alternativa factible para el actual transporte por carretera?

nada	poco	bastante	mucho
------	------	----------	-------

15. ¿Cree usted que su mercancía es apta para ser transportada en vehículos de gran capacidad de carga y grandes dimensiones?

SI	NO
----	----

16. ¿Cree usted que el uso de vehículos de gran capacidad de carga en su negocio repercutirían en un beneficio económico para su servicio de transporte?

nada	poco	bastante	mucho
------	------	----------	-------

17. ¿Qué corredores cree apropiados para que circulen los vehículos de gran capacidad de carga y grandes dimensiones?
18. En el caso de que se habilitaran dichos corredores, ¿estaría dispuesto a abonar un peaje para hacer uso de los mismos?

SI	NO
----	----

19. De no coincidir los corredores habilitados para la circulación de los vehículos de gran capacidad y grandes dimensiones, ¿qué porcentaje de su transporte se desviaría hacia esos corredores?

< 5%	5% - 10%	10% - 15%	> 15%
------	----------	-----------	-------

20. ¿Estaría dispuesto a llevar a cabo una experiencia piloto con el uso de vehículos de gran capacidad de carga?

SI	NO
----	----

Aunque no todas las preguntas son igualmente significativas, al tratarse de una asociación de transportistas internacional las respuestas a algunas preguntas son evidentes (longitud de la ruta, transporte internacional, etc.), podemos extraer conclusiones muy interesantes.

Por un lado, es destacable el hecho de que los transportistas no realicen rutas fijas y se acomoden a las necesidades de sus clientes. No existen los servicios regulares o al menos son muy escasos. Por otro lado, la frecuencia de los recorridos depende en de su duración, ya que, como se ha indicado, no existen rutas fijas que permitan establecer un servicio periódico. Estos puntos pueden resultar importantes a la hora de establecer rutas por las que podrían circular vehículos de grandes dimensiones.

En cuanto a la mercancía transportada, el resultado de la encuesta indica que cualquier tipo de mercancía es adecuada para ser transportada en megatrucks, aunque los alimentos y los camiones frigoríficos sean los menos aptos. En el extremo contrario se encuentran los coches y otros materiales de grandes dimensiones, cuyas características convierten a los megatrucks en una solución óptima para su transporte.

El tamaño de las empresas de transporte es muy variado y los trabajadores autónomos también representan un porcentaje significativo. El tamaño de las empresas y el número de vehículos que de que disponen condiciona enormemente la implantación de vehículos de grandes dimensiones para el transporte de mercancías. Cuanto mayor sea el tamaño de la empresa, mayor será la facilidad para que incorpore vehículos nuevos a su activo, mientras que las empresas de tamaño reducido o los trabajadores autónomos tendrán mayores problemas. Ahora bien, la renovación de la flota se hace en periodos de tiempo muy cortos, en época de bonanza económica se ha llegado a hacer cada tres años, hecho que favorece la posible utilización de megatrucks.

En lo referente al consumo, los camiones tradicionales consumen entre 38-40 litros cada 100 km. y transportan una carga de entre 24-25 toneladas, el resto de peso hasta el límite máximo permitido corresponde a la masa del camión. Si analizamos el consumo de los megatrucks y obtenemos un ratio de consumo por unidad transportada, el ahorro de combustible puede ser muy importante para los transportistas. Si a esto añadimos que los costes de mantenimiento son bajos (menos de un 10 %) debido a la frecuente renovación de la flota, la utilización de megatrucks no debería suponer un problema desde el punto de vista económico. Ahora bien, ante la pregunta ¿cree usted que el uso de vehículos de gran capacidad de carga en su negocio repercutirían en un beneficio económico para su servicio de transporte?, los retractores de los megatrucks argumentan que este tipo de vehículos les perjudicaría económicamente porque el precio de los portes no dependería de la cantidad de mercancía transportada y, en la práctica, llevarían más carga al mismo precio reduciendo de esta manera el beneficio.

Por último, se obtuvieron respuestas alentadoras en lo que se refiere a la infraestructura. Los transportistas no consideran que las carreteras supongan un problema y, en el caso de que se establecieran rutas para el uso de megatrucks, estarían dispuestos a abonar un peaje tal y como hacen en la actualidad. Los transportistas circulan fundamentalmente por autovías y autopistas y generalmente prefieren abonar los peajes existentes por comodidad, seguridad, velocidad comercial, etc. que redundan en una mayor productividad y, por lo tanto, en un mayor beneficio. Además, consideran que no se produciría un incremento de la concentración de tráfico de vehículos pesados por estas rutas (<5%) por lo que no se agravarían los problemas de congestión a los que ellos dicen contribuir poco, porque adaptan sus horarios para evitar la hora punta en la entrada de las ciudades.

Los transportistas consideran que en lo referente al establecimiento de rutas de circulación para los megatrucks, se puede avanzar mucho estudiando las rutas en las que se ha permitido el transporte especial de mercancías de gran tamaño y peso. Estas rutas podrían servir para un proyecto piloto que se llevara a cabo en España, para el cual se encontrarían empresas suficientes que estuvieran dispuestas a participar.

7. ANÁLISIS DE LA POSIBLE CAPTACIÓN DE TRÁFICO HACIA DETERMINADAS RUTAS

La utilización de megatrucks en el transporte de mercancías tiene como objetivo aumentar la sostenibilidad del transporte por carretera, disminuyendo el consumo de combustible y reduciendo el volumen de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, grupos opositores al uso de megatrucks argumentan que existe la posibilidad de que se obtenga el resultado contrario al esperado por dos motivos:

1. El establecimiento de rutas más rentables para los transportistas puede tener un efecto llamada, lo que aumentaría el tráfico en dichas rutas y ocasionaría problemas de congestión, aumentando el consumo y las emisiones.
2. La aparición de este tipo de transporte puede ir en detrimento de otros modos más sostenibles como son el transporte ferroviario o el cabotaje.

Existen numerosos estudios europeos que evalúan ambos efectos y cuyos resultados son sorprendentemente contradictorios. A modo de ejemplo, en lo referente al punto 2, citar el estudio del Instituto Fraunhofer alemán que estima que la utilización de vehículos de gran capacidad produciría un trasvase de mercancías del transporte ferroviario al transporte por carretera de aproximadamente un 30% anual, lo que provocaría un aumento global de las emisiones. Por el contrario, una experiencia piloto holandesa demostró que el transporte fluvial interno sólo perdió entre un 0.2-0.3% de su volumen total durante el tiempo que duró el proyecto piloto, mientras que en el caso del transporte ferroviario este porcentaje se situó entre el 1.4-2.7%. (Fuente: Ministerio de Transporte, Obras Públicas y Gestión del Agua de Holanda).

En cuanto al posible efecto llamada hacia las rutas habilitadas, parece tener un mayor grado de consenso en torno a la opinión de que este efecto no sería significativo. De la encuesta realizada a los transportistas se desprende que no existen rutas fijas de transporte, sino que los portes se realizan de manera personalizada. En consecuencia, los transportistas mantendrán las rutas que se ajusten a sus clientes y no variarán su recorrido por el hecho de que se permita la circulación de megatrucks por determinadas vías. Es posible que, entre dos rutas próximas, los transportistas elijan aquella que permite la utilización de vehículos de gran capacidad, pero el grado de coincidencia será mínimo, por lo que se espera que el efecto concentración que se produzca no sea significativo.

Además, es importante destacar que aunque aumente el volumen de circulación debido al uso de megatrucks, los camiones en general no son un factor determinante en los volúmenes de congestión de las carreteras. La congestión se produce fundamentalmente en la entrada y la salida de las ciudades en hora punta y los transportistas tienen la ventaja de que pueden planificar sus viajes para evitar los puntos y las horas conflictivas.

8. SITUACIÓN EN OTROS PAÍSES EUROPEOS

8.1. Suecia

En Suecia se permite la circulación de vehículos de hasta 25.2 metros de longitud desde 1995 y adicionalmente, se permite el transporte especial con vehículos de mayores dimensiones. Asimismo, se ha puesto en marcha un proyecto piloto "En Trave Till" que comenzó en diciembre de 2008 y que permite la circulación de vehículos con una longitud de 30 metros y una carga de 90 toneladas para transportar madera desde Norrbotten hasta Överkalix y Munksund a través de la carrera E4. En el mismo proyecto, se ensayarán dos combinaciones de vehículos de 74 toneladas entre Dalsland y Bohuslän en el oeste de Suecia.

Cuando comenzó en Suecia el uso de los megatrucks, el gobierno introdujo un nuevo impuesto sobre todos los camiones para recaudar fondos para reforzar las estructuras. Durante el periodo 1996-2005, se recaudaron 400 millones de euros con los que se reemplazaron 1100 puentes. El impuesto no distingue entre diferentes camiones debido a su peso.

Tras esta larga experiencia, las autoridades suecas han realizado estudios sobre la seguridad de este tipo de vehículos, así como de su consumo de combustible. En lo referente al primer punto, se ha demostrado que los megatrucks son más agresivos cuando se trata de accidentes por alcance, probablemente debido a su mayor carga y, por tanto, mayor inercia. En lo referente a los accidentes provocados por el adelantamiento a este tipo de vehículos, VTI ha llegado a la conclusión de que el aumento del riesgo de accidente al adelantar un vehículo de 24 metros de longitud en comparación con el riesgo al adelantar a un vehículo de 18 metros de longitud no es estadísticamente representativo.

Según un estudio del "Swedish Transport Research Institute", el consumo de combustible disminuyó una media de un 14.3% en el transporte de mercancías gracias al uso de megatrucks con el consiguiente ahorro de emisiones de CO₂. Este valor medio varía dependiendo de la ruta adoptada en un rango de 12.9 a 15.3%. En consecuencia, según el Informe 2002:6E del *Transport Research Institute: Improved Performance of European Long Haulage Transport*, si no se utilizara este tipo de vehículos, las emisiones de óxido de nitrógeno de Suecia se verían incrementadas en 14000 toneladas anuales, lo que representaría un 25% del total.

8.2. Finlandia

Finlandia tiene actualmente una regulación similar a la sueca, permitiéndose vehículos de 25.25 metros de longitud y 60 toneladas de peso. Estudios conjuntos sueco-finlandeses (*Kenneth Ramberg, Transport & Infrastructure, 2004*) muestran que combinaciones de vehículos de mayor longitud mejoran la eficiencia energética en aproximadamente un 20%, lo cual se corresponde con una reducción similar en las emisiones de CO₂.

8.3. Noruega

El pasado 1 de junio comenzó en Noruega un proyecto piloto que durará tres años. Se permitirá el cruce de fronteras para unir terminales, especialmente con Suecia y Finlandia. En esta prueba no se permite la circulación por cualquier carretera, sino que se han dispuesto rutas determinadas que cumplen con los requisitos técnicos necesarios. Tras este proyecto piloto, la administración de carreteras de Noruega decidirá sobre su continuidad. El programa finalizará antes de lo previsto en caso de que se detecten efectos negativos en la red o en el tráfico.

8.4. Dinamarca

Dinamarca puso en marcha un proyecto de prueba el 24 de noviembre de 2008 con una duración de tres años. El proyecto utilizará vehículos de 25.25 metros de longitud y 60 toneladas de peso. Antes de comenzar el proyecto, el ministerio de transportes danés invirtió 11.4 millones de euros para la adecuación de rotondas y cruces para la circulación de estos vehículos, cifra que posteriormente aumentó. Cualquier compañía de transportes se puede adherir a esta iniciativa que será subvencionada por el gobierno con 20 millones de euros, esperándose una participación de al menos 1000 megatrucks.



Figura 9 – Rutas danesas para megatrucks entre los principales puertos del país y las áreas industriales más importantes (Fuente: No Mega Trucks Campaign, Martin Roggermann)

8.5. Alemania

El Ministerio de Transportes alemán decidió suspender las pruebas con megatrucks en octubre de 2007 debido a la división de opiniones entre sus políticos. La Asociación de la Industria de la Automoción (VDA) y la Federación Alemana de Comercio Extranjero y al por mayor (BGA) están a favor de que las pruebas continúen.

El Instituto Federal de Investigación de Carreteras (BAST) estimó necesaria una inversión de entre 4000 y 8000 millones de euros para reforzar los puentes, incrementar los requisitos de seguridad de los túneles, adecuar las rotondas y los cruces, aumentar la capacidad de los aparcamientos, etc.

A principios de 2008, el ministro de transportes, Thuringia Andreas Trautvetter, aprobó un nuevo proyecto piloto en contra de la opinión de los ministerios federales. El proyecto fue prolongado por el nuevo ministro, Gerold Wucherpfenning, durante otro año, aumentando tan solo la longitud de los vehículos hasta los 25.25 metros, pero manteniendo el peso máximo en 40 toneladas.

8.6. Holanda

En Holanda se han realizado dos ensayos con 100 vehículos. Ambos ensayos duraron tres años, el primero desde 2001 a 2003 y el segundo de 2004 a 2006. Dos fueron las conclusiones que se obtuvieron en estos periodos de prueba. Por un lado, se midió una reducción del consumo de combustible de un 33% por tonelada-kilómetro y, por otro, no se produjo un aumento del riesgo de accidente debido al uso de este tipo de vehículos. Sin embargo, estas conclusiones son provisionales debido a la corta duración de los periodos de prueba y al número limitado de vehículos. Por estos motivos, la administración holandesa mantiene el uso experimental de este tipo de vehículos y ha aumentado la carga máxima de las 50 toneladas de los periodos de ensayo a 60 toneladas.

Una restricción importante que imponen las autoridades holandesas es la capacitación de los conductores para el manejo de los megatrucks. Para conducir este tipo de vehículos necesitan obtener un permiso de conducir especial y es imprescindible no haber provocado ningún accidente grave en los últimos cinco años.



Figura 10 – Ruta holandesa para la circulación de megatrucks (2550 km) (Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Holanda)

8.7. Bélgica

Yves Leterme, ministro de transportes, ha anunciado pruebas con vehículos de gran capacidad en Flandes, aunque las asociaciones de transportistas por carretera esperan que dichas pruebas se extiendan también a Valonia.

8.8. Reino Unido

La utilización de megatrucks en el Reino Unido fue rechazada en junio de 2008 porque se consideró que competían con otros medios de transporte más sostenibles como podía ser el transporte ferroviario o el transporte fluvial.

Para la ocasión, numerosos consorcios de transportes realizaron estudios que trataban de predecir cómo afectaría el uso de megatrucks al transporte de mercancías dependiendo de la configuración de los vehículos que se utilizaran. Uno de estos estudios lo llevó a cabo el "TRL desk based research" en 2008 y obtuvo las siguientes conclusiones:

1. Un tercio de los viajes realizados con vehículos articulados serían susceptibles de ser realizados con megatrucks.

2. Entre un 8 y un 18% del transporte ferroviario pasaría a la carretera.
3. Se produciría un ahorro de combustible por unidad transportada de entre un 8 y un 28%.
4. Se produciría un aumento del consumo de combustible por vehículo-kilómetro de entre un 71 y un 82%.
5. Los costes de operación se reducirían entre un 18 y un 43%.
6. Aumentaría el riesgo de accidente por vehículo. Sin embargo, se reduciría el riesgo de accidente por unidad transportada. La utilización de nuevas tecnologías favorecería el aumento de la seguridad.

8.9. Francia

Se espera que se inicie un proyecto piloto en otoño de 2009, pero aún está por decidir la configuración de los vehículos, las rutas y la duración del proyecto. El mayor problema al que se enfrenta Francia es la heterogeneidad de los puentes existentes en la red de carreteras. Existen puentes con una edad superior a los 100 años y se calcula que el 9% de los puentes se construyeron antes de 1940.

8.10. Suiza

El gobierno suizo prohibió la circulación de los megatrucks en diciembre de 2008, aunque en Ginebra se han utilizado autobuses de 25 metros de longitud durante muchos años sin ningún tipo de problema.

8.11. Austria

Tras estimar que reconstruir los puentes de la red de carreteras costaría aproximadamente 1000 millones de euros sin incluir las barreras de seguridad, el incremento de longitud de las paradas de emergencia y la adecuación de los túneles, el gobierno austriaco rechazó la utilización de megatrucks para el transporte de mercancías.

8.12. Nuevos miembros de la UE

Los países del este son bastante escépticos al uso de megatrucks, fundamentalmente por la falta de adecuación de sus infraestructuras para este tipo de transporte. La red de carreteras está obsoleta y no permitiría la circulación de megatrucks sin una enorme inversión previa.

9. ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DEL TRÁFICO DE LAS CARRETERAS ESPAÑOLAS Y ELECCIÓN DE RUTAS PARA MEGATRUCKS

A la hora de establecer un plan de implantación del transporte mediante vehículos de gran capacidad hay que combinar los objetivos del PEIT en lo que a una red intermodal se refiere junto con las limitaciones de este tipo de transporte, más concretamente con las limitaciones técnicas.

Actualmente, el transporte por carretera es la única posibilidad de acceso a un gran número de puntos del país. El PEIT trata de cambiar esta situación fomentando el establecimiento de nodos logísticos nacionales y regionales para facilitar la accesibilidad a partir de ellos. La unión de estos nodos se realizará a través de un sistema jerarquizado de corredores modales e intermodales de mercancías.

El PEIT prevé la creación de corredores principales que unan los principales nodos nacionales y corredores secundarios que unan los nodos regionales. Se intentará combinar el transporte por carretera y el ferrocarril, pero es previsible que los corredores principales estén básicamente unidos por carretera. Además, en la potenciación de los puertos y las autopistas del mar es vital la comunicación de los mismos entre sí y con las principales zonas económicas del país.

En lo referente al transporte con vehículos de gran capacidad, es fundamental establecer las rutas en las que es posible la puesta en marcha de un proyecto piloto con megatrucks. Existen diferentes alternativas en función de los objetivos y las posibilidades técnicas:

1. Permitir que este tipo de transporte circule por unas rutas determinadas.
2. Permitir que estos vehículos circulen por una parte de la red, según la tipología de la vía.
3. Utilizar el transporte de gran capacidad para abastecer las zonas de influencia (con un radio de acción de 50 Km. aproximadamente) de los principales puertos del país.
4. etc.

Como se ha comentado en este documento, los vehículos de gran capacidad tienen dos limitaciones técnicas en lo que se refiere a la capacidad de circulación. Por un lado la imposibilidad de giro para radios de curvatura inferiores a 15 m. en curvas e inferiores a 20 m. en rotondas y, por otro lado, la elevada carga que transportan puede suponer un problema para las estructuras sobre las que deben circular.

Como consecuencia de la primera limitación, se considera necesario que los megatrucks circulen únicamente por vías de gran capacidad (autovías y autopistas) y definir rutas específicas a la entrada de las ciudades que se adecuen técnicamente a ellos. En cuanto a la

segunda limitación, como también se ha analizado en este documento, no parece probable que los vehículos de gran capacidad puedan suponer un problema para las estructuras presentes actualmente en la red principal de carreteras española, si bien es imprescindible hacer un estudio detallado de cada una de las estructuras que se van a ver sometidas a la acción de este tipo de camiones, especialmente en el caso de que su estado de conservación no sea óptimo y sean más susceptibles de verse afectadas por el exceso de carga.

Pero los criterios para establecer las rutas de circulación de los megatrucks no deben ser únicamente técnicos. La densidad de tráfico es una variable tan importante como las anteriormente descritas. Es necesario elegir rutas en las que la intensidad media diaria de vehículos pesados sea lo suficientemente alta como para justificar económica y medioambientalmente la utilización de vehículos de gran capacidad.

Así pues, tomando los datos recogidos en el Informe Anual de Transportes y Servicios Postales de 2007 (último publicado hasta la fecha) del Ministerio de Fomento, se han seleccionado las rutas con una mayor intensidad de tráfico, para establecerlas como posibles corredores para el transporte de gran capacidad. Estas rutas coinciden en su inmensa mayoría con autovías o autopistas, ya sean libres o de peaje, salvo la excepción del tramo Oviedo-Santander.

Lo realmente significativo para nuestro análisis es la circulación de vehículos pesados por estas rutas, ya que es este tipo de circulación la que se pretende reducir al sustituirlo por el transporte con vehículos de gran capacidad. Se adjunta en la tabla 10 las rutas divididas por tramos, intensidad media diaria, tipo de vía y porcentaje de vehículos pesados que soporta ese tipo de vía (datos del Ministerio de Fomento). El tráfico de vehículos pesados supera los 1500 vehículos en todas las rutas, por lo que los corredores seleccionados se ajustan perfectamente a la circulación de megatrucks.

Tabla 100 - IMD de las rutas de circulación de vehículos de gran capacidad por tramos (Fuente: Informe Anual de Transportes y Servicios Postales de 2007, Ministerio de Fomento)

Tramo		IMD	Tipo de vía	% de Pesados	IMD Pesados
Madrid	Burgos	10000-20000	Autovía libre	16,1	1610-3220
Burgos	Vitoria	+20000	Autopista de peaje	14,4	+2880
Vitoria	Bilbao	+20000	Autopista de peaje	14,4	+2880
Oviedo	Santander	10000-20000	23 km de carretera convencional	10,6	1060-2120
Santander	Bilbao	+20000	Autovía libre	16,1	+3200
Bilbao	San Sebastián	+20000	Autopista de peaje	14,4	+2880
Madrid	Guadalajara	+20000	Autovía libre	16,1	+3200
Guadalajara	Zaragoza	+20000	Autovía libre	16,1	+3200
Zaragoza	Lérida	10000-20000	Autopista de peaje	14,4	1440-2880
Lérida	Barcelona	+20000	Autopista de peaje	14,4	+2880
Madrid	Valencia	+20000	Autovía libre	16,1	1610-3220
Madrid	Bailén	10000-20000	Autovía libre	16,1	1610-3220
Bailén	Córdoba	10000-20000	Autovía libre	16,1	1610-3220
Córdoba	Sevilla	+20000	Autovía libre	16,1	+3200
Sevilla	Huelva	+20000	Autovía libre	16,1	+3200
Sevilla	Cádiz	+20000	Autopista de peaje	14,4	+2880
Gerona	Murcia	+20000	Autopista de peaje	14,4	+2880

En total se establecen unos 3000 km. de autovías y autopistas. Únicamente existe un tramo de 23 km., entre Oviedo y Santander, de carretera convencional que deberá ser convertido en vía de gran capacidad antes de que este tipo de transporte pueda circular por él, lo cual está previsto en el Plan Estratégico en un espacio corto de tiempo.

Tabla 111 - Rutas de circulación de vehículos con gran capacidad de carga (Elaboración propia)

CORREDORES							DISTANCIA (km)
Madrid	Burgos	Vitoria	Bilbao				414
Oviedo	Santander	Bilbao	San Sebastian				382
Madrid	Guadalajara	Zaragoza	Lérida	Barcelona			619
Madrid	Valencia						358
Madrid	Bailén	Córdoba	Sevilla	Huelva			755

				Cádiz (ó Algeciras)			
Gerona	Barcelona	Tarragona	Castellón	Valencia	Alicante	Murcia	711
Total (km)							3239

La implantación del transporte con vehículos de gran capacidad tiene como principal objetivo reducir el número de desplazamientos de vehículos pesados, lo cual se conseguirá de manera global. Sin embargo, es posible que se produzca un efecto negativo sobre los firmes de carretera (aunque como se ha visto con anterioridad, no es necesariamente cierto). Ante este problema, existen soluciones técnicas que permiten solucionar este inconveniente: actualmente se están investigando firmes bituminosos de elevada durabilidad y, por supuesto, se pueden disponer firmes de hormigón que gracias a su rigidez son capaces de soportar eficazmente las cargas de los megatrucks manteniendo este comportamiento durante 40 años con un mantenimiento mínimo. Además, hay que mencionar que uno de los objetivos del Plan Estratégico es reducir las inversiones en nuevas infraestructuras de carreteras (es prioritario fomentar otros medios de transporte energéticamente más eficientes) y aumentar la inversión en mantenimiento y reposición hasta un 2% del valor patrimonial de la red, por lo que el mantenimiento de las carreteras españolas está, en principio, garantizado.



Figura 11 - Red de vías de gran capacidad, actuaciones futuras previstas en el PEIT y posibles rutas para la circulación de Megatrucks

Inciendo de nuevo en la intermodalidad del transporte, ante la crítica de que este los vehículos de gran capacidad perjudicarían al objetivo final de establecer una red intermodal

eficiente que englobe el transporte por carretera, ferrocarril, marítimo, aéreo y por tubería (PEIT, Ministerio de Fomento, 2005-2020), es cierto que potenciar en exceso el transporte por carretera, de por sí el más utilizado, no parece la mejor opción para compatibilizarlo con el resto de tipologías. Sin embargo, es necesario resaltar que la utilización de vehículos de gran capacidad no trata de potenciar el transporte por carretera, sino que trata de hacerlo más eficiente y además reducir el número de desplazamientos. El hecho de que se fomente el tráfico intermodal no evitará que la carretera siga siendo el principal medio de transporte, por lo que cualquier medida para incrementar su eficiencia será siempre bienvenida.

10. ADAPTACIÓN DE LOS MEGATRUCKS AL PEIT

El Plan Estratégico del Ministerio de Fomento marca unos objetivos globales, para a continuación definir unas medidas más concretas que nos lleven a la consecución de los primeros. Entre los objetivos generales, el PEIT nombra como principales: la sostenibilidad, eficiencia del sistema a nivel económico y eficiencia energética del sistema de transporte.

En este apartado se expone cómo la utilización de vehículos de gran capacidad para el transporte de mercancías contribuye en algunos aspectos a lograr los fines del PEIT y en cómo en otros aspectos se adecua a dicho plan.

10.1. Contribución a la sostenibilidad

Los objetivos del PEIT en este punto se centran en dos aspectos: efectos de carácter global de acuerdo a las directrices del Plan Nacional de Derechos de Emisión, lo que supone la estabilización de las emisiones en el periodo 2005-2007 y la reducción de las emisiones en 2012 hasta los niveles de 1998 para combatir el cambio climático. La calidad ambiental tanto en el entorno natural como urbano es el segundo de los aspectos en los cuales se centra el Plan. Ambos están muy condicionados por las emisiones debidas al transporte, que suponen casi un 25% de las emisiones totales, y, en especial, a las emisiones del transporte por carretera.

Para no condicionar el desarrollo del sector y su contribución a la economía española (otro de los objetivos del PEIT), es necesario buscar soluciones compatibles que permitan la reducción de las emisiones.

La utilización de vehículos de gran capacidad ha demostrado ser una solución válida para el cumplimiento de este objetivo. En otras experiencias europeas, las emisiones nocivas para el medio ambiente se redujeron significativamente entre un 10 y un 25% con respecto al transporte tradicional. Esta vía conjuntamente con la potenciación de otros medios alternativos es una de las pocas soluciones factibles en la actualidad.

10.2. Objetivos macroeconómicos

El Plan Estratégico persigue una eficiencia del sistema de transporte que permita incrementos netos del stock de capital del orden del 3.7% e incrementos del PIB del 1.3%.

El beneficio económico de los vehículos de gran capacidad reside en el ahorro del número de kilómetros recorridos dado el incremento de la carga transportada. La capacidad de carga de este tipo de vehículos con respecto a los vehículos tradicionales varía en función de la variable que se considere. La longitud del vehículo puede alcanzar los 25.25 m., hasta un 57% superior a los semi-trailers tradicionales de 16.5 m de longitud o un 37% superior a los trailers de 18.75 m. En este mismo sentido, la carga puede aumentar hasta en un 38% y el volumen de carga hasta en un 61%.

En un porcentaje proporcional se puede reducir el número de desplazamientos, por lo que al reducirse la congestión de las vías, aumentaría la velocidad de circulación y, en consecuencia, la productividad del transporte.

Los beneficios económicos de este tipo de transporte no están garantizados hasta que no se realice un estudio lo suficientemente duradero en el tiempo como para evaluar los resultados.

10.3. Eficiencia energética

El PEIT marca la reducción de al menos un 20% en el consumo energético específico por tonelada-km en 2012 con respecto a 1990 y alcanzar una reducción adicional en 2020 hasta llegar al 40% de los valores de 1990.

Con esta solución, el ahorro de combustible es considerable, habiéndose verificado ahorros de combustible de hasta un 33% por tonelada-kilómetro, lo que ayudaría enormemente a cumplir los objetivos marcados por el Plan.

Dos son las principales incógnitas que recaen sobre la utilización de vehículos de gran capacidad. En primer lugar, los estudios realizados en otros países no son extrapolables al nuestro. En segundo lugar, no existe legislación europea al respecto.

11. CONCLUSIONES

Existe un debate abierto sobre los resultados que tendría la circulación de megatrucks. En este sentido existen estimaciones futuras de aumento de la productividad, reducción de emisiones y ahorro de combustible, cuyos resultados varían enormemente en función de quien realice los estudios. Adicionalmente a estas estimaciones encontramos los resultados de los proyectos pilotos realizados en diferentes países europeos que, en general, otorgan grandes beneficios a la utilización de vehículos de gran capacidad, aunque es cierto que estos programas experimentales no consideran los efectos a largo plazo tales como el trasvase de mercancías del ferrocarril a la carretera.

Una de las principales críticas a las que se tienen que enfrentar las pruebas realizadas en países europeos, a parte de su duración, es la generalización de los resultados, ya que no todos los resultados parecen extrapolables a cualquier país. Ahora bien, de los proyectos piloto se pueden extraer datos ciertos independientemente del país de aplicación. Así pues, el hecho de que el transporte con vehículos de gran capacidad es energéticamente más eficiente es incuestionable, si bien, el grado de eficiencia variará de un país a otro en función de la red de carreteras, del tipo de pavimento, rígido o flexible, de las rutas elegidas, etc.

Sin embargo, hechos como el efecto concentración debido a la creación de corredores, o la influencia o no influencia sobre el resto de modos de transporte son datos que deben ser cotejados mediante un estudio realizado en cada país. Los datos de otros países pueden ser orientativos, pero en ningún caso definitivos. A modo de ejemplo, sirva decir que la densidad de población sueca es de 20 hab/km², la española es de 90 hab/km² y la belga es de 342 hab/km². Es claramente una variable que influirá en el comportamiento del transporte con vehículos de gran capacidad.

Dos son los problemas que encaran los megatrucks en la actualidad. Por un lado, los megatrucks se encuentran actualmente en desventaja con respecto a otros tipos de transporte por carecer de una normativa comunitaria clara que permita la implantación definitiva del transporte con vehículos de gran capacidad no sólo a nivel nacional, sino también a nivel europeo. El segundo problema deriva de este primero, ya que las reticencias a permitir su libre circulación impiden obtener un modelo fiable a largo plazo que sea capaz de cuantificar los beneficios y las desventajas de este tipo de transporte y valorar objetivamente su implantación.

Un cambio en la legislación favorecería enormemente la implantación de este tipo de transporte en España, ya que el PEIT pretende disponer nodos logísticos no únicamente como nodos nacionales, sino internacionales. El permiso comunitario a este tipo de transporte significaría un impulso sin duda definitivo. Además, la red de corredores establecida en este documento se adapta a la perfección a la versión internacional, ya que quedarían incluidos en la red los pasos fronterizos de San Sebastian-Hendaya y Figueras-Perpignan con Francia y se comunicaría con Portugal a través de Huelva.

12. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Configuraciones de megatrucks con diferente número de ejes utilizados en un proyecto piloto en Bélgica (Fuente: Belgian Road Research Centre (BRRC))	13
Figura 2 - Análisis geométrico del radio de giro de un camión de dimensiones conocidas (Fuente: Ingeniería de Carreteras, Carlos Kraemer et. al.).....	16
<i>Figura 3 – Carriles de cambio de velocidad (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).</i>	20
<i>Figura 4 – Planta del tren de cargas de la Instrucción IAP-98</i>	21
<i>Figura 5 – Alzado del tren de cargas de la Instrucción IAP-98</i>	21
Figura 6 – Disposición pésima del tren de cargas para el cálculo del momento flector	22
Figura 7 - Disposición pésima del tren de cargas para el cálculo del cortante	22
Figura 8 – Tren de cargas para un puente cargado con megatrucks en toda su longitud	23
Figura 9 – Rutas danesas para megatrucks entre los principales puertos del país y las áreas industriales más importantes (Fuente: No Mega Trucks Campaign, Martin Roggermann)	33
Figura 10 – Ruta holandesa para la circulación de megatrucks (2550 km) (Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Holanda).....	35
Figura 11 - Red de vías de gran capacidad, actuaciones futuras previstas en el PEIT y posibles rutas para la circulación de Megatrucks	40

13. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Puntos del Anexo I de la Directiva 96/53/CE	8
<i>Tabla 2 - Masas por eje máximas permitidas (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).</i>	9
<i>Tabla 3 - Masas máximas autorizadas de los vehículos (en toneladas) (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carretera).</i>	10
<i>Tabla 4 - Dimensiones máximas autorizadas (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).</i>	11
Tabla 5 - Comparativa entre las dimensiones máximas permitidas por la normativa actual y las dimensiones máximas absolutas de los megatrucks (Elaboración propia).....	14
<i>Tabla 6 – Radio de curvatura y peraltes para una velocidad específica (Fuente: Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras)</i>	17
<i>Tabla 7 – Relación para determinar los radios de dos curvas enlazadas (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras)</i>	18
<i>Tabla 8 - En autopistas, autovías, vías rápidas y carretera (Norma 3.1-IC. Trazado, de la Instrucción de Carreteras).</i>	18
Tabla 9 - Agresividad relativa de un megatruck en comparación con un camión tradicional (Fuente: Belgian Road Research Centre (BRRC)).....	24
Tabla 10 - IMD de las rutas de circulación de vehículos de gran capacidad por tramos (Fuente: Informe Anual de Transportes y Servicios Postales de 2007, Ministerio de Fomento)	39
Tabla 11 - Rutas de circulación de vehículos con gran capacidad de carga (Elaboración propia)	39

14. REFERENCIAS

1. Ministerio de Fomento: *Anuario Estadístico 2007*.
2. Ministerio de Fomento: *Los transportes y los servicios postales. Informe anual 2007*.
3. Carlos Kraemer, José María Pardillo, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Víctor Sánchez Blanco y Miguel Ángel del Val. *Ingeniería de carreteras (McGraw Hill, 2004)*.
4. W. Debauche y D. Decock, Belgian Road Research Centre. *Working Group on Longer and Heavier goods Vehicles: a multidisciplinary approach to the issue (2007)*.
5. Griet De Ceuster y Tim Breemersch. *Final report – Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within Directive 96/53/EC*.
6. Kenneth Ramberg, Transporte & Infraestructuras. *Fewer Trucks Improve the Environment*. (Octubre 2004).
7. Gunnar Lindberg, Informe de VTI 605A. *The effect of long and heavy trucks on the transport system*.(2008).
8. John Aurell & Thomas Wadman, Volvo. *Vehicle combinations based on the modular concept*.
9. Professor Alan McKinnon, Logistics Research Centre, Heriot-Watt University *ISL 2008 Conference: Should the Maximum Length and Weight of Trucks be Increased? A Review of European Evidence*.
10. James D. Grove, *Portland Cement Concrete Pavement Construction*.
11. *Long-Life Concrete Pavements in Europe and Canada, International technology Scanning program: In Cooperation With American Association of State Highway and Transportation Officials National Cooperative Highway Research Program*.
12. <http://www.nomegatrucks.eu/>
13. <http://www.trb.org/>
14. Norma 3.1-IC: *Trazado, de la Instrucción de Carreteras*.
15. Norma 6.3-IC: «*Rehabilitación de firmes*», de la Instrucción de carreteras.
16. Norma 6.1-IC: «*Secciones de firme*», de la Instrucción de Carreteras.
17. AASHTO: *A Policy On Geometric Design Of Highways And Streets 2001*.

18. *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-98).*
19. *Directiva 96/53/CE: dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e Internacional y los pesos máximos autorizados en el tráfico internacional*