



EFFECTO DE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO DE 25,25 Y 60 TON. EN ESPAÑA

**Balance del incremento de las dimensiones y capacidad
de carga máximas de los vehículos pesados de transporte
por carretera**

A. Ortega , J.M. Vassallo, P.J. Pérez-Martínez



Edita: Fundación Francisco Corell

Edición 1º: noviembre 2011

I.S.B.N.: (Se pondra tan pronto se reciba)

Nº ejemplares: 1.000

Deposito Legal: (Se pondra tan pronto se reciba)

Imprime: A Priori Producción y Publicidad

Tel. 91 570 85 87

e-mail: aprioria@prioriprint.com

PRÓLOGO

El presente estudio, séptimo de los efectuados por la Cátedra Amelio Ochoa, versa sobre los efectos de la implantación de vehículos con dimensiones y capacidades superiores a los actualmente en vigor en nuestro país.

La elección del tema objeto del estudio suscitó en el seno del Patronato un variado abanico de opiniones, tan variado como la propia composición del mismo.

Finalmente se eligió, por una amplia mayoría, un objeto de estudio que encaja totalmente con los objetivos y fines básicos de la Fundación Francisco Corell, como son el impulso a las mejoras medioambientales, al incremento de la eficiencia de las flotas y empresas que conforman el sector del transporte por carretera y, en resumidas cuentas, a un transporte por carretera más sostenible.

Las experiencias de otros países, en los cuales ya están implantados desde hace años este tipo de vehículos, como es el caso de Suecia, así como las pruebas que se están desarrollando en otros países de Europa (Benelux), animaron al Patronato a la elección de este objeto de estudio.

Las conclusiones han sido obtenidas después de que en el seno de la Cátedra se analizaran exhaustivamente, tanto las experiencias de otros países, como las que físicamente se han realizado ex profeso en España, por primera vez en nuestro país y como consecuencia del presente trabajo de la Fundación Francisco Corell.

No sería justo el presentar estas conclusiones sin hacer mención a la situación actual del sector del transporte por carretera tanto en Europa como muy especialmente en España.

La situación de crisis que atraviesa nuestra economía afecta de una forma muy directa al sector.

Decenas de miles de vehículos, pequeños empresarios, flotas medianas y grandes se han visto forzadas al abandono del trabajo por la caída de actividad que el mercado, y muy especialmente el español, viene sufriendo desde el inicio de 2008.

Al mismo tiempo el afán recaudatorio de las Administraciones, sobre todo europeas, penalizan cada vez más al sector con nuevas tasas y la elevación de las existentes, discriminando a la carretera con relación a otros modos, básicamente el ferrocarril, cuya eficiencia global está por demostrar y que quedan muy lejos del nivel de servicio que el transporte por carretera proporciona a la sociedad en su conjunto.

El incremento de los pesos y dimensiones en las flotas del futuro, además de los benéficos efectos en cuanto a costes unitarios y ventajas medioambientales, puede producir en el momento de su introducción aumentos de capacidad global en la oferta de transporte difícilmente absorbibles por el mercado si persisten las condiciones actuales con negativas consecuencias tanto en términos de rentabilidad como de empleo.

Además la implantación de vehículos energética y medioambientalmente más eficientes debería tener un reflejo inmediato tanto directo como indirecto en la fiscalidad del sector. Directamente en base a reducción de impuestos de las flotas

que incorporen esta novedad, e indirectamente incrementando la inversión en infraestructuras y sistemas que propicien un transporte más seguro, eficaz y medio-ambientalmente sostenible.

Por último, hay que señalar que el presente documento recoge un estudio técnico, realista y objetivo sobre un determinado perfil de vehículo de transporte, a partir del cual se puede abrir un debate con intervención de todos los agentes sociales implicados sobre la idoneidad para el conjunto de la sociedad de poner en marcha una iniciativa que tarde o temprano habrá de plantearse en nuestro país desde las experiencias de otros socios europeos.

Miguel Ángel Ochoa de Chinchetru

Presidente del Patronato.

Fundación Francisco Corell.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	17
	EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA	21
2.1	TONELADAS-KILÓMETRO TRANSPORTADAS Y ECONOMÍA	23
2.2	TONELADAS-KILÓMETRO TRANSPORTADAS Y SECTOR CONSTRUCCIÓN	25
2.3	TONELADAS-KILÓMETRO TRANSPORTADAS, CONTENIDO, DISTANCIA Y EFICIENCIA DEL TRANSPORTE	26
2.4	TONELADAS-KILÓMETRO, VEHÍCULOS-KILÓMETROS, PARQUE DE VEHÍCULOS Y DATOS DE AFOROS	30
2.5	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA Y SIGNIFICANCIA DE LOS VEHÍCULOS DE ALTAS PRESTACIONES	33
3	REVISIÓN HISTÓRICA DE LA REGULACIÓN ESPAÑOLA REFERENTE A LOS VEHÍCULOS PESADOS DE MERCANCÍAS	37
4	EL MEGATRUCK EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL	47
4.1	EXPERIENCIAS EUROPEAS DE RESTRICCIONES DE CARGA EN CAMIONES Y LÍMITES DE PESOS	49
4.1.1	SUECIA	49
4.1.2	FINLANDIA	49
4.1.3	NORUEGA	49
4.1.4	DINAMARCA	49
4.1.5	HOLANDA	50
4.1.6	ALEMANIA	50
4.1.7	BÉLGICA	50
4.1.8	FRANCIA	50
4.1.9	SUIZA	51
4.1.10	AUSTRIA	51
4.1.11	REINO UNIDO	51
4.1.12	PORTUGAL	51
4.2	COMPARATIVA DE ESTUDIOS INTERNACIONALES DE TAMAÑO DE CAMIONES Y LÍMITES DE PESOS	52
4.2.1	ESTUDIOS PRINCIPALES	52
4.2.2	OTROS ESTUDIOS	57
4.3	ESTUDIOS REALIZADOS FUERA DE LA UE	59
5	CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS, IMPACTOS EN LAS INFRAESTRUCTURAS Y COSTES ASOCIADOS	61
5.1	CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	63
5.1.1	DESARROLLO DEL CÁLCULO	64
5.2	IMPACTOS Y COSTES SOBRE LA INFRAESTRUCTURA	66
5.2.1	FIRMES	66
5.2.2	ESTRUCTURAS	67
5.2.3	GEOMETRÍA DE LAS VÍAS	69
5.2.4	TÚNELES	70
5.2.5	DRENAJE Y PLANTACIONES	71
5.2.6	SEÑALIZACIÓN E ILUMINACIÓN	72
5.2.7	BARRERAS DE SEGURIDAD	72
5.2.8	APARCAMIENTOS	72

6	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA PREVER EL IMPACTO DEL AUMENTO DEL PESO/ TAMAÑO DE LOS CAMIONES EN LOS VEHÍCULOS-KM RECORRIDOS	75
6.1	TENDENCIA A LA UTILIZACIÓN DE VEHÍCULOS DE GRAN PRODUCTIVIDAD, RATIO DE CARGA Y RESTRICCIONES EN PESO	77
6.2	CÁLCULO DE AHORRO DE CAMIONES KILÓMETRO	80
6.3	LOS BENEFICIOS ECONÓMICOS, MEDIOAMBIENTALES Y SOCIALES DEL MEGATRUCK	83
7	NICHOS DE MERCADO, REDUCCIÓN DE LOS CAMIONES-KM POR LA UTILIZACIÓN DE CAMIONES DE GRAN TONELAJE Y MAPA DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS E INFLUENCIA SOBRE EL FERROCARRIL	85
7.1	NICHOS DE MERCADO DE LOS MEGATRUCKS	87
7.2	REDUCCIÓN DE VEHÍCULOS KILÓMETRO COMO CONSECUENCIA DE LA IMPLANTACIÓN DEL MEGATRUCK.	91
7.2.1	HIPÓTESIS CONSIDERADAS EN LA ESTIMACIÓN.	92
7.3	MAPA DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA, INFLUENCIA DEL MEGATRUCK EN EL SECTOR TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR FERROCARRIL	94
8	ANÁLISIS COSTE BENEFICIO DE LA IMPLANTACIÓN DE LOS MEGATRUCKS EN ESPAÑA: EFECTOS SOCIALES, MEDIOAMBIENTALES Y ECONÓMICOS.	99
8.1	COSTES DE OPERACIÓN	101
8.1.1	COSTES INDIRECTOS	104
8.1.2	COSTES DIRECTOS	105
8.1.3	COSTES TOTALES DE OPERACIÓN	110
8.2	COSTES DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS	111
8.3	COSTES EXTERNOS	111
8.4	BALANCE DEL MEGATRUCK	113
8.5	FACTORES SENSIBLES EN LA IMPLANTACIÓN DE LOS MEGATRUCKS	118
8.5.1	LAPSO/ESCALA TEMPORAL	119
8.5.2	TRÁFICO INDUCIDO/GENERACIÓN DE TRÁFICO	119
8.5.3	TRASVASE MODAL	119
8.5.4	CAMBIOS EN LA FISCALIDAD DE LOS VEHÍCULOS COMERCIALES	120
9	EL MEGATRUCK AL DETALLE	123
9.1	PRUEBAS EN EL INTA	125
9.1.1	PRUEBA 1: ANILLO DE VELOCIDAD	125
9.1.2	PRUEBA 2: DINÁMICA LONGITUDINAL	128
9.1.3	PRUEBA 3: DINÁMICA HORIZONTAL	129
9.2	COSTES DE OPERACIÓN E INVERSIONES	130
10	DISCUSIONES Y CONCLUSIÓN	133
11	REFERENCIAS	137

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA Y PIB.	24
FIGURA 2.2. EVOLUCIÓN DEL TRANSPORTE Y PIB. TASAS DE VARIACIÓN.	24
FIGURA 2.3. EVOLUCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN Y TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA. TASAS DE VARIACIÓN.	25
FIGURA 2.4. EVOLUCIÓN DE LAS TONELADAS KILÓMETRO E INDICADORES DE DESARROLLO FUNDAMENTALES (CONTENIDO DEL TRANSPORTE, DISTANCIA DEL TRANSPORTE Y EFICIENCIA DEL TRANSPORTE). ÍNDICE (2002 =100)	28
FIGURA 2.5. EVOLUCIÓN DE LAS TONELADAS KILÓMETRO E INDICADORES DE DESARROLLO FUNDAMENTALES (CONTENIDO DEL TRANSPORTE, DISTANCIA DEL TRANSPORTE Y EFICIENCIA DEL TRANSPORTE). TASAS DE VARIACIÓN	28
FIGURA 2.6. ÍNDICES DE VALORES MEDIOS POR RECORRIDO: CONTENIDO, DISTANCIA Y EFICIENCIA DEL TRANSPORTE. A) TRANSPORTE INTRAMUNICIPAL, B) INTERMUNICIPAL, C) INTERNACIONAL	30
FIGURA 2.7 EVOLUCIÓN DE LAS TONELADAS KILÓMETRO, VEHÍCULOS KILÓMETRO Y TONELADAS TRANSPORTADAS	31
FIGURA 2.8. EVOLUCIÓN DE LAS DISTANCIAS (EPTMC Y AFOROS) Y DEL PARQUE DE CAMIONES. ÍNDICE	32
FIGURA 2.9. COMPARACIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LOS CAMIONES-KM (EPTMC Y AFOROS) PARA ESPAÑA: 2002 - 2009	33
FIGURA 4.1 CONFIGURACIONES ELEGIDAS	53
FIGURA 4.2. AFECCIÓN A LA SEGURIDAD VIAL DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES	55
FIGURA 5.1.DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGA-CAMIONES	61
FIGURA 5.2. DISTANCIA ENTRE EJES DE LA CONFIGURACIÓN A.	64
FIGURA 5.3. DISTANCIA ENTRE EJES DE LA CONFIGURACIÓN B.	64
FIGURA 5.4. DISTANCIA ENTRE EJES DE LA CONFIGURACIÓN C.	64
FIGURA 5.5. DISTANCIAS ADOPTADAS PARA EL ESTUDIO DE COSTES EN LOS TRAILER Y SEMITRAILER	65
FIGURA 5.6. CARGAS EN LOS EJES DE LA CONFIGURACIÓN A	65
FIGURA 5.7. CARGAS EN LOS EJES DE LA CONFIGURACIÓN B	65
FIGURA 5.8 CARGAS EN LOS EJES DE LA CONFIGURACIÓN C	65
FIGURA 5.9 CARGAS EN LOS EJES DE LA CONFIGURACIÓN ACTUAL	66
FIGURA 5.10. PLANTA DEL TREN DE CARGAS DE LA INSTRUCCIÓN IAP-98	68
FIGURA 5.11. ALZADO DEL TREN DE CARGAS DE LA INSTRUCCIÓN IAP-98	68
FIGURA 5.12. DISPOSICIÓN PÉSIMA DEL TREN DE CARGAS PARA EL MOMENTO FLECTOR EN UN PUENTE DE 40 METROS DE LONGITUD	69
FIGURA 5.13. DISPOSICIÓN PÉSIMA DEL TREN DE CARGAS PARA EL CORTANTE EN UN PUENTE DE 40 METROS DE LONGITUD.	69
FIGURA 5.14. ANÁLISIS GEOMÉTRICO DEL RADIO DE GIRO DE UN CAMIÓN DE DIMENSIONES CONOCIDAS.	70
FIGURA 6.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS KILÓMETRO (1997, 2008) SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO, RÍGIDOS Y ARTICULADOS, Y SEGÚN MASA MÁXIMA AUTORIZADA DE LA OPERACIÓN	78
FIGURA 6.2 DISTRIBUCIÓN DE LAS TONELADAS KILÓMETRO (1997, 2008) SEGÚN TIPO DE MERCANCÍA	78
FIGURA 6.3. DISTRIBUCIÓN DE LAS TONELADAS KILÓMETRO (2008) SEGÚN TIPO DE CARGA O ACONDICIONAMIENTO Y TIPO DE VEHÍCULO (RÍGIDO/ CÍRCULO EXTERIOR Y ARTICULADO/ CÍRCULO INTERIOR)	79

FIGURA 6.4. DISTRIBUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS KILÓMETRO CON CARGA Y SIN CARGA (1997, 2008) SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO, RÍGIDOS Y ARTICULADOS, Y SEGÚN CARGA MÁXIMA AUTORIZADA (CMA) DE LA OPERACIÓN	81
FIGURA 6.5 DISTRIBUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS CON CARGA Y SIN CARGA (1997, 2008) SEGÚN TIPO DE VEHÍCULO, RÍGIDOS Y ARTICULADOS, Y SEGÚN MASA MÁXIMA AUTORIZADA (MMA) DE LA OPERACIÓN.	81
FIGURA 6.6 COSTES EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA MEDIA DE TRANSPORTE (2006)	82
FIGURA 6.7 METODOLOGÍA ANALÍTICA UTILIZADA PARA ESTIMAR LOS BENEFICIOS DEL AUMENTO DEL PESO MÁXIMO AUTORIZADO DE LOS CAMIONES	84
FIGURA 7.1. VOLUMEN DE MERCANCÍAS TRANSPORTADAS POR CARRETERA CON ORIGEN Y DESTINO EN CADA COMUNIDAD AUTÓNOMA: SEÑALIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES CORREDORES DE POTENCIAL OPERACIÓN DE LOS MEGA-CAMIONES	88
FIGURA 7.2 POSIBLES RUTAS PILOTO DE ESTABLECIMIENTO DE MEGA-CAMIONES.	88
FIGURA 7.3. METODOLOGÍA ANALÍTICA UTILIZADA PARA ESTIMAR LOS BENEFICIOS DEL AUMENTO DEL PESO MÁXIMO AUTORIZADO DE LOS CAMIONES EN SU MODELO AMPLIADO	94
FIGURA 8.1 ESTRUCTURA DE COSTES DE LA EMPRESA	102
FIGURA 8.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS COSTES DIRECTOS PARA UN CAMIÓN ARTICULADO DE CARGA GENERAL	102
FIGURA 8.3. INTENSIDAD ENERGÉTICA DE LAS OPERACIONES DE TRANSPORTE POR CARRETERA EN ESPAÑA, COSTE MEDIO DE OPERACIÓN (€/T, (A)) Y VALOR MEDIO DE LA MERCANCÍA (€/T, (B)), 2006	103
FIGURA 8.4. TENDENCIA DE LAS TONELADAS KILÓMETRO TRANSPORTADAS EN FERROCARRIL Y REPARTO MODAL DEL MERCADO, 1993-2007	120
FIGURA 9.1 FRENADA A 65 KM/H	128
FIGURA 9.2 FRENADA A 78 KM/H	129
FIGURA 9.3 MANIOBRABILIDAD CAMIÓN 40 TONELADAS	130
FIGURA 9.4 MANIOBRABILIDAD CAMIÓN 60 TONELADAS	130
FIGURA 9.5 DISTRIBUCIÓN COSTES DIRECTOS CONFIGURACIÓN A	131
FIGURA 9.6 DISTRIBUCIÓN COSTES DIRECTOS CONFIGURACIÓN B	131
FIGURA 9.7 DISTRIBUCIÓN COSTES DIRECTOS CONFIGURACIÓN C	131

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CONTRIBUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS COMERCIALES PESADOS (> 3,5 TON.) A LAS EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN ESPAÑA (2007)	23
TABLA 2.2 RELACIÓN ENTRE EL PIB Y EL VOLUMEN DE MERCANCÍAS TRANSPORTADO (EPTMC)	25
TABLA 2.. TRANSPORTE DE MERCANCÍAS RELACIONADAS CON LA CONSTRUCCIÓN.	25
TABLA 2.4 CONTENIDO DEL TRANSPORTE, DISTANCIA DEL TRANSPORTE Y FACTORES DE CARGA (EFICIENCIA DEL TRANSPORTE) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE RECORRIDO (INTRAMUNICIPAL, INTERMUNICIPAL E INTERNACIONAL) EN LOS AÑOS 2003, 2006, 2009	29
TABLA 2.5 CONTENIDO DEL TRANSPORTE, DISTANCIA DEL TRANSPORTE Y FACTORES DE CARGA (EFICIENCIA DEL TRANSPORTE) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE MERCANCÍA (MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN, NO CONSTRUCCIÓN Y TODOS) EN LOS AÑOS 2003, 2006, 2009	29
TABLA 2.6 CRECIMIENTO DE LA ECONOMÍA, EMPLEO EN CONSTRUCCIÓN, PARQUE, TONELADAS-KILÓMETRO Y VEHÍCULOS KILÓMETRO	33
TABLA 2.7 TONELADAS TRANSPORTADAS, DISTANCIAS RECORRIDAS (KILÓMETROS DE LOS VIAJES CON CARGA) Y TONELADAS-KILÓMETRO ORIGINADAS POR EL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN LA RED ESPAÑOLA DE CARRETERAS ENTRE LOS 5 PRINCIPALES ORÍGENES Y DESTINOS PARA LA TOTALIDAD DE PRODUCTOS (2008).	35
MATRIZ REAL	39
TABLA 3.1 ANCHOS DE LAS CARRETERAS PERMITIDOS EN LA LEY DE CARRETERAS DE 1857	39
TABLA 3.2 ANCHOS DE LAS CARRETERAS PERMITIDOS EN LA LEY DE CARRETERAS DE 1859	39
TABLA 3.3 ANCHOS DE LAS CARRETERAS PERMITIDOS EN LA LEY DE CARRETERAS DE 1903	40
TABLA 3.4 ANCHOS DE LAS CARRETERAS PERMITIDOS SEGÚN LA INSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DE 1939 (METROS)	41
TABLA 3.5 PESOS MÁXIMOS PERMITIDOS EN EL DECRETO 496/1962 (TONELADAS)	42
TABLA 3.6 MÁXIMOS PERMITIDOS EN EL DECRETO 1216/67 (TONELADAS)	42
TABLA 3.7 REVISIÓN DE DIRECTIVAS REFERENTES A LOS PESOS MÁXIMOS Y DIMENSIONES AUTORIZADAS PARA LOS VEHÍCULOS PESADOS DE MERCANCÍAS POR CARRETERA	44
TABLA 4.1 EXPERIENCIAS EUROPEAS DE MEGATRUCKS	51
TABLA 4.2. AGRESIVIDAD RELATIVA DE LOS MEGATRUCKS EN COMPARACIÓN CON LA CONFIGURACIÓN HABITUAL/PERMITIDA DE VEHÍCULOS.	53
TABLA 4.3 CAMBIO PORCENTUAL DE TONELADAS - KM EN EL SISTEMA DE TRANSPORTES DE MERCANCÍAS	54
TABLA 4.4 ANÁLISIS COSTE BENEFICIO	56
TABLA 4.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LAS CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	60
TABLA 5.1 DESGASTES RESPECTO AL FIRME Y LA CONFIGURACIÓN HABITUAL DE LOS DIFERENTES MEGATRUCKS	66
TABLA 5.2 COSTES RESPECTO AL FIRME Y LA CONFIGURACIÓN HABITUAL DE LOS DIFERENTES MEGATRUCKS	67
TABLA 5.3 INCREMENTOS PORCENTUALES DE ESFUERZO Y COSTE ASOCIADO.	69
TABLA 5.4 VARIACIÓN DE LA SEGURIDAD EN LOS TÚNELES CON MEGATRUCKS	71
TABLA 5.5 VARIACIÓN DE LOS COSTES EN LAS CARRETERAS CON MEGATRUCKS	73
TABLA 6.1 NATURALEZA DE LAS RESTRICCIONES DE CARGA PARA DISTINTOS LÍMITES DE PESO DE LOS CAMIONES EN 1999 Y 2003	79

TABLA 6.2 SECTORES INDUSTRIALES QUE HACEN UN MAYOR USO DE LOS VEHÍCULOS ARTICULADOS DE MÁS DE 38,1 TONELADAS Y CAPACIDAD DE CARGA MAYOR DE 26 TONELADAS EN ESPAÑA (2008)	80
TABLA 7.1 TRÁFICO DE VEHÍCULOS EN LOS PRINCIPALES CORREDORES DE POTENCIAL OPERACIÓN DE LOS MEGATRUCKS: LOCALIZACIÓN DEL TRAMO (NODOS PRINCIPALES), TRÁFICO (IMD), TIPO DE VÍA, TRÁFICO DE PESADOS (IMD PESADOS) Y DISTANCIA.	89
TABLA 7.2 EVOLUCIÓN DEL TRÁFICO DE CAMIONES PESADOS EN ESPAÑA POR TIPO DE VEHÍCULO (1997 – 2008)	91
TABLA 7.3 ESTIMACIONES DE LAS REDUCCIONES DE LOS VEHÍCULOS KILÓMETRO EN EL CONJUNTO NACIONAL RESULTANTES DEL INCREMENTO DEL PESO MÁXIMO PERMITIDO DE LOS CAMIONES (MILLONES DE VEHÍCULOS-KM POR AÑO)	95
TABLA 7.4 ESTIMACIONES DE LAS REDUCCIONES DE LOS VEHÍCULOS KILÓMETRO RESULTANTES DEL INCREMENTO DEL PESO MÁXIMO PERMITIDO DE LOS CAMIONES (MILLONES DE VEHÍCULOS-KM POR AÑO), CASO MEGATRUCK (60 TON)	96
TABLA 8.1 PARÁMETROS DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA EN ESPAÑA, COSTES DE OPERACIÓN Y EFICIENCIA, PARA TODOS LOS ALCANCES LOGÍSTICOS, 2006	103
TABLA 8.2 COSTES INDIRECTOS DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	105
TABLA 8.3 ELEMENTOS DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES DEL MEGATRUCK	106
TABLA 8.4 COSTES DE CAPITAL DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	106
TABLA 8.5 COSTES FIJOS DE OPERACIÓN DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	107
TABLA 8.6 COSTES FIJOS EN EUROS/KM DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	107
TABLA 8.7 CONSTITUCIÓN DE LOS NEUMÁTICOS DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	108
TABLA 8.8 COSTES DE LOS NEUMÁTICOS DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	108
TABLA 8.9 COSTES VARIABLES DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	109
TABLA 8.10 COSTES DIRECTOS DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	110
TABLA 8.11 COSTES TOTALES DE LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS	110
TABLA 8.12 COSTES DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LAS CARRETERAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO PESADO QUE LAS UTILIZA	111
TABLA 8.13 COSTES MEDIOS EXTERNOS DEL TRANSPORTE DE MERCANCÍAS POR CARRETERA EN ESPAÑA (2008)	112
TABLA 8.14 PARÁMETROS DE ESTIMACIÓN DE LOS VEHÍCULOS-KILÓMETRO AHORRADOS (ECUACIONES 1-5)	114
TABLA 8.15 COSTES UNITARIOS, CONSUMOS Y EFICIENCIA MEDIOAMBIENTAL DE LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES DE VEHÍCULOS DE ALTAS PRESTACIONES: CAMIÓN CONVENCIONAL Y MEGATRUCK (2008)	115
TABLA 8.16 DISTRIBUCIÓN DE LOS VEHÍCULOS ANTES Y DESPUÉS DEL MEGATRUCK.	116
TABLA 8.17 COSTES PARA EL ACB	117

TABLA 8.18 RESULTADO DEL ACB	118
TABLA 8.19 EVOLUCIÓN DE LOS COSTES FISCALES ANUALES DE DISTINTOS TIPOS DE CAMIONES ARTICULADOS (€ POR AÑO, PRECIOS CONSTANTES 2001)	121
TABLA 9.1 PRUEBA EN EL ANILLO DE VELOCIDAD	126
TABLA 9.2 RESULTADOS DE ADELANTAMIENTO EN ANILLO DE VELOCIDAD	127
TABLA 9.3 RESULTADOS DINÁMICA LONGITUDINAL	128

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 3.1 CIRCULACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN HABITUAL DE 40 TONELADAS	45
ILUSTRACIÓN 3.2 CIRCULACIÓN DE UN MEGATRUCK DE 60 TONELADAS.	45
ILUSTRACIÓN 4.1 CIRCULACIÓN DE MEGATRUCKS EN HOLANDA.	54
ILUSTRACIÓN 5.1 CONFIGURACIÓN PROBADA EN LAS PISTAS DEL INTA	73
ILUSTRACIÓN 9.1 PARTICIPANTES EN LAS PRUEBAS EN EL INTA	125
ILUSTRACIÓN 9.2 CONFIGURACIÓN HABITUAL DE 40 TONELADAS	126
ILUSTRACIÓN 9.3 CONFIGURACIÓN B DEL MEGATRUCK	126
ILUSTRACIÓN 9.4.VEHÍCULO LIGERO ADELANTANDO A UN MEGATRUCK.	127
ILUSTRACIÓN 9.5 MEGATRUCK CIRCULANDO EN LA PRUEBA DEL ANILLO DE VELOCIDAD	127
ILUSTRACIÓN 9.6 FRENADA DEL MEGATRUCK	129
ILUSTRACIÓN 9.7 MANIOBRABILIDAD DEL MEGATRUCK.	130

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores retos a los que se ha enfrentado el sector del transporte en los últimos años ha sido el de la mejora de la eficiencia energética. El transporte de mercancías por carretera ha ido mejorando su eficiencia por medio de nuevos modelos de motores, actualmente se están estudiando modelos de motores Euro 6, e internalizando y reduciendo progresivamente sus costes.

En consonancia con la mejora medioambiental del sector, la legislación Europea del transporte ha evolucionado exigiendo una mayor eficiencia energética con motores menos contaminantes y con emisiones menos perjudiciales para la salud. Esta preocupación Europea por el medioambiente no se ha visto ni mucho menos reducida, sino más bien al contrario. De hecho, el libro blanco del transporte de 2011 refleja en su título claramente este interés por la protección del entorno natural: *“Hoja de ruta para un espacio único Europeo del transporte – Hacia un sistema de transportes competitivo y eficiente”*. En este libro blanco se hace incidencia en la necesidad de la reducción de las emisiones en un 60%.

En este sentido, el aumento de la masa máxima autorizada (MMA) de los camiones permite a los operadores de transporte fusionar cargas y, por consiguiente, reducir el tráfico de vehículos requeridos para recoger y distribuir una cantidad dada de mercancías (determinada fundamentalmente por las circunstancias económicas de un país). Bajo ciertas condiciones, esto puede conllevar beneficios económicos, sociales y medioambientales.

Este trabajo estudia los impactos del posible incremento de la MMA a fin de servir de base para la toma de decisiones futuras y la implementación de una nueva legislación que permita el uso de camiones con mayores dimensiones. El trabajo incluye previsiones de los beneficios que se obtendrían de incrementar la MMA. Los primeros capítulos del estudio analizan el transporte de mercancías por carretera actual, destacando el desarrollo reciente del sistema español de transporte de mercancías, así como la evolución de la legislación española referente a las cargas máximas autorizadas por los vehículos industriales de mercancías. En esta primera parte del estudio se analizan también las experiencias internacionales de restricciones de carga en camiones y se compara la situación española actual con otros estudios relativos al tamaño de camiones y límites de pesos.

En la segunda parte del estudio se analizan todos los posibles efectos de los vehículos de 60 toneladas en las carreteras españolas. Seguidamente se realizan unas previsiones de demanda basadas en la evolución reciente de la movilidad de mercancías, para finalmente hacer un Análisis Coste Beneficio sobre unos determinados corredores. Estos resultados han sido verificados por la realización de unas pruebas con vehículos de 60 Toneladas en las pistas de ensayo del INTA.

Con todo ello, en el último apartado se dan una serie de conclusiones y recomendaciones sobre la posible implantación de los Megatrucks. Algunas de las principales conclusiones del estudio son la evidente mejora de la eficiencia energética en el transporte de mercancías por carretera, la reducción de los costes por tonelada transportada y la necesidad de un proyecto piloto que verifique los beneficios sociales esperados.

2. EL SISTEMA DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS EN ESPAÑA

2 El sistema de transporte de mercancías en España

El transporte de mercancías por carretera es con mucho el modo de transporte dominante en España, contabilizando el 86,3% del total de las toneladas-kilómetro en 2008 (MFO, 2009). Las toneladas-kilómetro por carretera han crecido un 138% entre 1995 y 2008, principalmente como consecuencia del aumento de las toneladas netas transportadas por carretera y pese a la estabilización de la distancia media de transporte (en torno a 115 km). Entre 1990 y 2008, el reparto del ferrocarril dentro del mercado de mercancías ha disminuido desde 4,7% a 2,6% (medido en toneladas-kilómetro). Desde la liberalización del sector transporte de mercancías por ferrocarril en 2005, el ferrocarril debería gestionarse con el fin de revertir la tendencia actual de pérdida de reparto y alcanzar cuotas de mercado cercanas a las obtenidas a finales de los años 80 (en torno al 6% del mercado total). Para ello se debería aumentar en torno a un 80-100% las toneladas-km por ferrocarril en los próximos 10 años (PNI, 2009).

Dado el desequilibrio actual del transporte de mercancías, las medidas encaminadas a racionalizar y contener las operaciones de transporte por carretera pueden producir potencialmente un mayor beneficio medioambiental que los cambios marginales en el reparto modal (cambio en el paradigma actual del transporte de mercancías). Esta reflexión ha sido argumentada en el estudio reciente sobre eficiencia energética y medioambiental de los modos de transporte publicado por el Consejo Superior de Cámaras de Comercio y realizado por TRANSYT (CSC, 2010). Del mismo modo, el documento estratégico del reciente Plan Nacional de Infraestructuras (PNI), cuando hace referencia a los métodos dirigidos a reducir el impacto medioambiental del transporte de mercancías, llega a una conclusión parecida (PNI, 2009).

La mayor parte de este esfuerzo debe estar dirigido a disminuir las emisiones atmosféricas. En la tabla 2.1. se indica la proporción de las emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos atribuibles directamente al transporte de vehículos pesados (VPs) (con una masa máxima autorizada mayor de 3,5 toneladas) en España. El Gobierno de España está impulsando la reducción de las emisiones, parcialmente promoviendo la utilización de vehículos y combustibles limpios (eléctricos, gas natural y pila de hidrógeno) y la mejora de la eficiencia energética, pero también conteniendo el crecimiento del transporte por carretera y cambiando el paradigma actual del transporte. En la revisión reciente del PNI (plan a 10 años), el gobierno postula que uno de los objetivos es reducir la intensidad del transporte por carretera en la economía, lo cual se consigue únicamente desvinculando el crecimiento económico del crecimiento del transporte de mercancías por carretera (EEA, 2009). Una de las maneras principales para alcanzar este objetivo es a través de aumentar el peso máximo de los camiones en los próximos años.

Tabla 2.1 . Contribución de los vehículos comerciales pesados (> 3,5 ton.) a las emisiones atmosféricas en España (2007)

	% emisiones de las emisiones sobre el total del sector transporte	% de las emisiones sobre el total nacional
Partículas materiales (PM ₁₀)	20,9	4,5
Óxidos de nitrógeno	38,9	12,2
Dióxido de carbono	34,2	9,1

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones, Ministerio de Medio Ambiente (2008); Los transportes y los Servicios Postales, Ministerio de Fomento (2008).

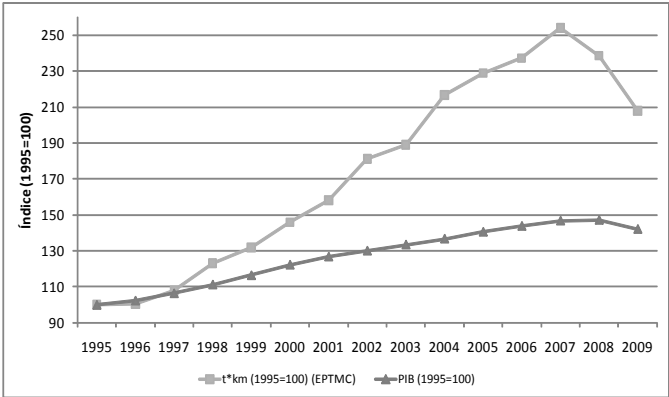
2.1 Toneladas-kilómetro transportadas y economía

El periodo 1995-2008 ha sido en España un periodo de fuerte crecimiento económico entre 1995-2004 y de agotamiento entre 2004 y 2008, con una tasa de variación acumulada del 41,9%. Análogamente, las toneladas-kilómetro transportadas, en el ámbito de estudio de la

Encuesta Permanente del Transporte interurbano de Mercancías por Carretera (EPTMC), han crecido por encima del Producto Interior Bruto (PIB), llegando a un crecimiento acumulado del 108,0% (figura 2.1).

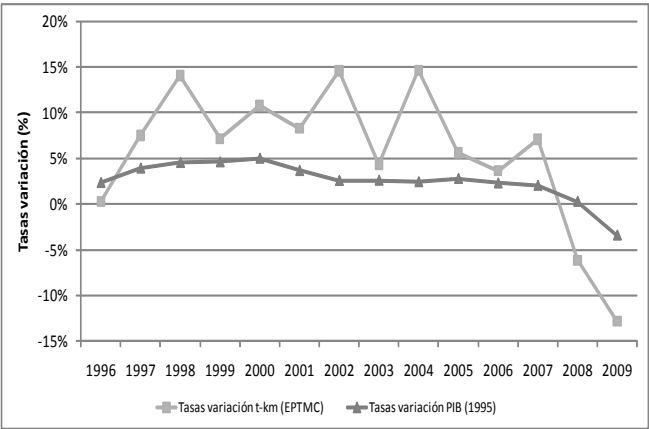
Se observa que, frente a cierta estabilidad en la evolución del PIB desde 2002 hasta 2007, la tasa de variación de las toneladas-kilómetro transportadas es significativamente mayor en los años 1998, 2002 y 2004, año a partir del cual comienza a apreciarse síntomas de agotamiento económico (figura 2.2). El PIB, presenta un comportamiento más inelástico respecto al transcurso de los años que el transporte de mercancías por carretera.

Figura 2.1. Evolución del transporte de mercancías por carretera y PIB.



Fuente: EPTMC, INE.

Figura 2.2. Evolución del transporte y PIB. Tasas de variación.



Fuente: EPTMC, INE.

En términos generales, parece justificado que en momentos de expansión económica la tasa de variación del transporte de mercancías sea superior a la del PIB, al funcionar aquel como combustible del crecimiento económico. Aunque ningún país de nuestro entorno ha experimentado durante el periodo analizado unas tasas de crecimiento acumuladas tan altas y constantes como las de España (Pérez-Martínez y Monzón de Cáceres, 2010), y aunque el modelo de crecimiento de cada país ha sido muy distinto, sí que se observa una relación similar entre PIB y mercancías transportadas en los años de mayor crecimiento económico (tabla 2.2).

Tabla 2.2. Relación entre el PIB y el volumen de mercancías transportado (EPTMC)

	Año	PIB (%)	EPTMC (%)	Ratio = EPTMC/PIB
Alemania	2006	3,3	5,6	1,7
Francia	2004	2,5	4,8	1,9
Reino Unido	2004	3,0	6,0	2,0
España ^a	1995-2008	3,0	7,1	2,4

Fuente: EUROSTAT (2009). Nota: a En España, promedio del periodo 1995-2008.

2.2 Toneladas-kilómetro transportadas y sector construcción

En primer lugar, hay que tener en cuenta que el porcentaje de las mercancías relacionadas con la construcción en el transporte en España (62,8%), es mucho mayor que el porcentaje de la construcción en el PIB (9,4%). Estos porcentajes difieren significativamente de los porcentajes de los países europeos de nuestro entorno (tabla 2.3). Francia presentó en el periodo 2002-2007 unos porcentajes del sector construcción en el transporte de mercancías por carretera y en el PIB iguales al 45,8% y 5,1% respectivamente. Según muestra la tabla 2.3, los porcentajes españoles de la construcción son del orden del doble de los de los países vecinos.

Tabla 2.3. Transporte de mercancías relacionadas con la construcción.

	Porcentaje de la construcción (Promedio 2002-2007)		
	Año	PIB (%)	EPTMC (%)
Alemania	2002-2007	4,1	45,6
Francia	2002-2007	5,1	45,8
Reino Unido	2002-2007	—	30,8
España	2002-2007	9,4	62,8

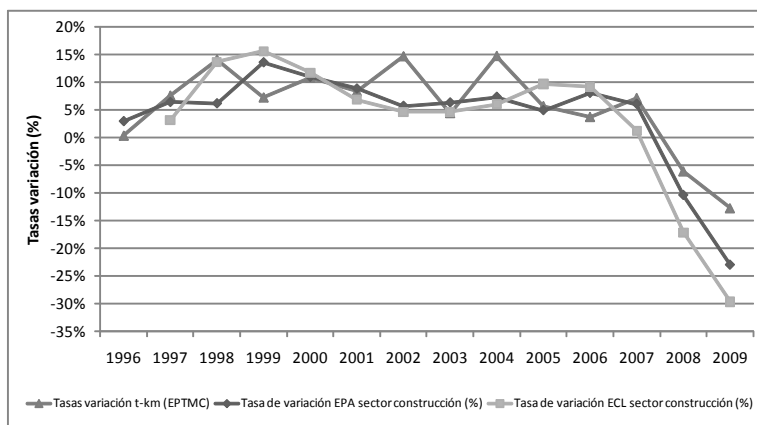
Fuente: EUROSTAT (2009)

En el periodo 2002-2007, el crecimiento medio anual del PIB español en la construcción ha sido del 4,3%, superior en casi un punto al del PIB total. Este crecimiento en las cuentas nacionales, 24% acumulado en el periodo mencionado, es reflejo de un crecimiento aún mayor de la construcción física de edificios, viviendas, etc., como lo pone de relieve el aumento del empleo, 36,8% según la Encuesta de Población Activa (EPA, INE, 2009), la evolución del parque de edificios que se construyen, aumento del 54% según la Estadística de Visados de Dirección de Obra (Ministerio de la Vivienda, 2009) y la evolución las toneladas transportadas de la propia EPTMC (aumento del 42%). Según la Encuesta de Coyuntura Laboral (ECL, Ministerio de Trabajo, 2009), que mide los efectivos laborales en las empresas, su crecimiento ha sido del 36,2%. El crecimiento del empleo del sector de la construcción en el periodo 2002-2007, según la EPA (INE, 2009), ha sido de 4,8 puntos menos que el transporte de mercancías y 13,2 puntos más que el PIB.

Por consiguiente, la construcción parece ser un sector económico que presenta cierta volatilidad y el sistema de transporte español fuertemente vinculado a la construcción muestra mayores variaciones que la economía nacional. Aunque en los periodos de bonanza económica, el sistema de transporte español crece a un ritmo superior que la economía, también decrece a un ritmo mayor en periodos de contracción/recesión económica. En la figura 2.3, se observa como las tasas de variación de las toneladas-kilómetro transportadas según la EPTMC están altamente correlacionadas con las del empleo, especialmente con los datos de la ECL. Puede concluirse pues que, en el periodo 2002-2007, la evolución de

las toneladas-kilómetro transportadas de la EPTMC ha sido completamente coherente con la evolución del empleo en el sector de la construcción. Por otra parte, en la ECL, el empleo en la rama de “Transporte terrestre y por tubería” creció sólo un 6,5%. Pero hay que tener en cuenta que este epígrafe incluye, además del transporte de mercancías por carretera, el de ferrocarril y, lo que es mucho más significativo, el transporte urbano e interurbano de pasajeros por carretera y ferrocarril. Ahora bien, en la rama de la ECL que más directamente pudiera estar relacionada con el transporte de mercancías, “Almacenamiento y actividades anexas al transporte”, el empleo creció en el periodo 2002-2007 un 49,3%.

Figura 2.3. Evolución en la construcción y transporte de mercancías por carretera. Tasas de variación.



Nota: El dato de 2005 de la EPA es un tanto anómalo ya que registra una desaceleración en el empleo de la construcción que no se observa en el empleo global, más al contrario, aquel fue el año de mayor crecimiento global en el empleo. En 2005 se aplicó en la EPA un cambio metodológico relacionado con la Clasificación Nacional de Actividades, que puede haber afectado al dato de la construcción.

2.3 Toneladas-kilómetro transportadas, contenido, distancia y eficiencia del transporte

La EPTMC proporciona datos de indicadores diseñados para medir las operaciones de transporte como las toneladas transportadas, toneladas-kilómetro y el número de operaciones realizadas. A partir de estos indicadores básicos, se pueden estimar otros indicadores fundamentales más complejos que indican el desarrollo del transporte en nuestro país. Estos indicadores son el contenido, la distancia y la eficiencia del transporte y están fuertemente relacionados con los impactos medioambientales y sociales que genera el transporte de mercancías por carretera. Estos indicadores relacionan el transporte de mercancías con la producción (contenido del transporte), el alcance logístico (distancia del transporte) y la organización específica (eficiencia del transporte). Además, los dos últimos indicadores están también vinculados con aspectos relacionados con el crecimiento del transporte (Roth y Kaberger, 2002).

El contenido de transporte es el ratio entre la distancia media de transporte y la carga media, y se mide en kilómetros por tonelada:

$$\text{contenido} = \frac{\text{distancia media transporte}}{\text{carga media}} = \frac{\text{kilómetros}}{\text{tonelada}} \quad [1]$$

El contenido de transporte es un proxy del impacto medioambiental del transporte (Böge, 1995) y representa las unidades de transporte producidas, en camiones-kilómetro o en emisiones de CO₂, por unidad de transporte (normalmente expresada en toneladas de carga

transportadas). El contenido de transporte es una estimación del análisis de ciclo de vida (ACV) del transporte (Pérez-Martínez, 2009).

La distancia de transporte es el ratio entre las toneladas-kilómetro y la carga:

$$\text{distancia de transporte} = \frac{\text{toneladas - kilómetro}}{\text{carga}} \quad [2]$$

Como indicador de la eficiencia del transporte, la carga media se puede calcular como el ratio entre las toneladas-kilómetro y los vehículos-kilómetro:

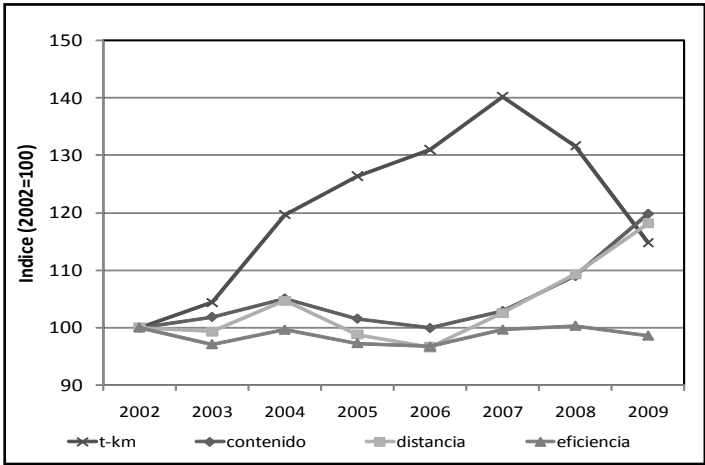
$$\text{eficiencia transporte} = \frac{\text{toneladas - kilómetro}}{\text{vehículos - kilómetro}} \quad [3]$$

De las relaciones anteriores se puede ver como la eficiencia representa el ratio entre las ecuaciones 2 y 1.

La figura 2.4 muestra el desarrollo de las toneladas-kilómetro junto con el de los tres indicadores fundamentales anteriores. En general, se puede ver como la evolución de las toneladas-kilómetro difiere de la de los indicadores fundamentales. Estos presentan evoluciones similares entre sí hasta el año 2007, coincidiendo con el comienzo de la crisis económica. En el conjunto del periodo analizado, la variación de contenidos, distancias y eficiencias es prácticamente coincidente hasta el año 2007 (figura 2.5). No así la variación de los indicadores fundamentales de desarrollo con las toneladas-kilómetro que puede coincidir o no. Las variaciones entre cada año presentan algunas diferencias, si bien existe una pauta común para todos los indicadores hasta el año 2007 (fin del periodo de crecimiento económico). Durante el periodo de recesión económica existe un ligero empeoramiento del indicador de eficiencia coincidente con la reducción de la demanda de transporte. Contrariamente, durante los años 2008 y 2009 aumenta la distancia de transporte y el contenido del transporte reflejando la clara relación entre crisis económica y el empeoramiento de la eficiencia del transporte (mayores distancias/contenidos y menores eficiencias/factor de carga). Con la crisis económica, los operadores de transporte se tienen que mover a distancias mayores para transportar las mercancías encomendadas por los clientes. En este cambio de comportamiento, resulta fundamental la importancia de la caída del transporte relacionado con la construcción, como el cemento, que es mayoritariamente un transporte de corta distancia. De igual forma, el contenido de transporte aumenta reflejando una mayor presión medioambiental del transporte traducido en mayores camiones-kilómetro recorridos y emisiones de CO₂ para transportar una misma unidad de carga. El contenido de transporte aumenta a un ritmo ligeramente superior al de la distancia de transporte, reflejándose en una ligera disminución de la eficiencia del transporte.

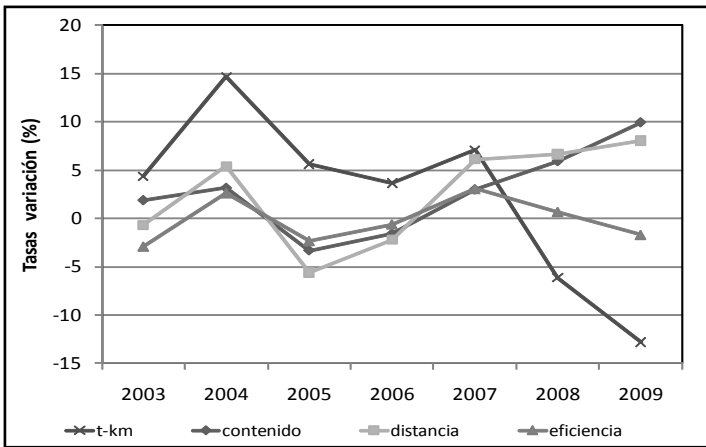
La relación entre contenido de transporte, distancia de transporte, eficiencia (carga media por recorrido) y toneladas-kilómetro está muy condicionada por el tipo de recorrido (intra-municipal, intermunicipal e internacional) y por el tipo de mercancía transportada (relacionada o no con el sector de la construcción). Cambios en la distribución del tipo de recorrido y del tipo de mercancía hacen que las tasas de variación globales de contenidos del transporte, de camiones-kilómetro, toneladas-kilómetro y toneladas transportadas sean distintas.

Figura 2.4. Evolución de las toneladas kilómetro e indicadores de desarrollo fundamentales (contenido del transporte, distancia del transporte y eficiencia del transporte). Índice (2002 =100)



Fuente: Elaboración propia a partir de la EPTMC

Figura 2.5. Evolución de las toneladas kilómetro e indicadores de desarrollo fundamentales (contenido del transporte, distancia del transporte y eficiencia del transporte). Tasas de variación



Fuente: Elaboración propia a partir de la EPTMC

Las tablas 2.4 y 2.5 muestran la evolución en el tiempo de los indicadores de desarrollo anteriores en función del tipo de alcance logístico y del tipo de mercancía transportada. El contenido de transporte ha aumentado en el caso del transporte intermunicipal y en el transporte de materiales no relacionados con la construcción. La distancia del transporte ha aumentado considerablemente en el transporte intermunicipal y en el transporte de materiales relacionados con la construcción y ha disminuido en el transporte intramunicipal e internacional. En general se puede observar como la eficiencia del transporte ha disminuido en los últimos años para cada tipo de alcance logístico y mercancía a excepción de los materiales de la construcción.

Tabla 2.4. Contenido del transporte, distancia del transporte y factores de carga (eficiencia del transporte) en función del tipo de recorrido (intramunicipal, intermunicipal e internacional) en los años 2003, 2006, 2009

Contenido (km/t)				Distancia (km)			Eficiencia (t/veh)		
Año y Alcance logístico ^a	2003	2006	2009	2003	2006	2009	2003	2006	2009
Intramunicipal	1,4	1,2	1,2	9,0	8,0	7,6	6,7	6,5	6,3
Intermunicipal	14,3	14,0	18,2	111,8	106,8	134,8	7,8	7,6	7,4
Internacional	94,2	94,8	93,9	1083,5	1105,9	1020,5	11,5	11,2	10,9

Notes: ^a se incluyen los vehículos kilómetro recorridos en vacío.

Tabla 2.5 Contenido del transporte, distancia del transporte y factores de carga (eficiencia del transporte) en función del tipo de mercancía (materiales de construcción, no construcción y todos) en los años 2003, 2006, 2009

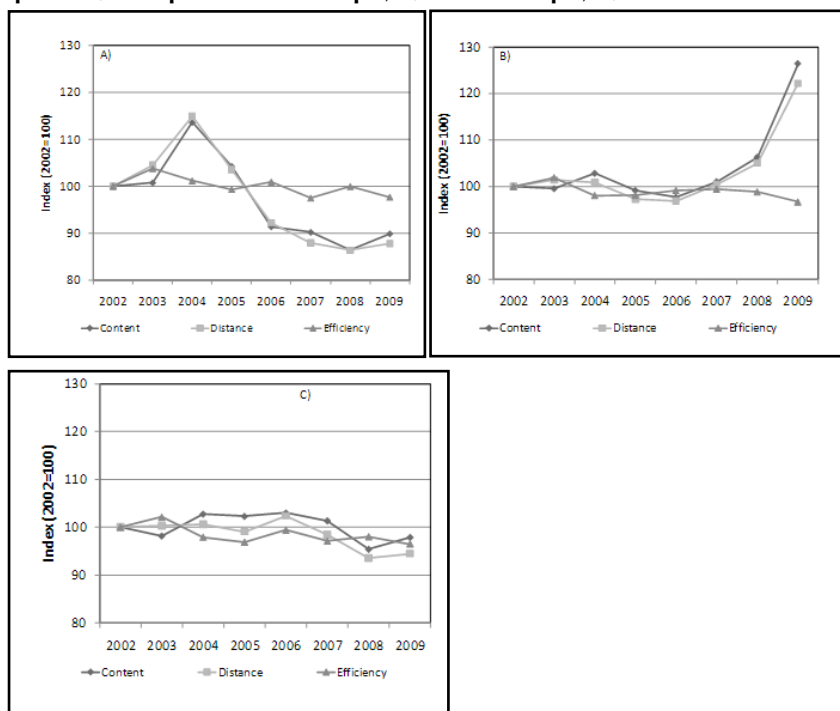
Contenido (km/t)				Distancia (km)			Eficiencia (t/veh)		
Año y Tipo de mercancía	2003	2006	2009	2003	2006	2009	2003	2006	2009
Materiales construcción	2,2	2,2	2,4	33,3	33,6	38,0	15,4	15,5	15,8
No construcción	20,1	20,2	21,0	235,7	228,7	232,5	11,7	11,3	11,1
Todos	8,8	8,6	10,8	121,8	117,4	142,7	13,8	13,7	13,2

Fuente: EPTMC

Al analizar las diferencias en las evoluciones, hay que tener en cuenta que frente a la notable estabilidad en la carga media por recorrido en todos los tipos de desplazamientos (intramunicipal, intermunicipal e internacional), y en el contenido medio y la distancia medios por recorrido en los desplazamientos internacionales, el contenido medio y la distancia media por recorrido en el transporte intramunicipal tiene una mayor variabilidad (figura 2.6). Esto parece lógico debido a que son distancias más cortas y por tanto más variables. El transporte intermunicipal presenta unos indicadores de desarrollo estables hasta el año 2007, a partir del cual se incrementan considerablemente el contenido y la distancia del transporte. Esto puede ser debido a la actual crisis económica la cual influye en los transportistas teniendo que realizar distancias de transporte mayores al ajustarse la oferta a una demanda de transporte decreciente. El contenido del transporte, proxi de la huella ecológica de las toneladas transportadas (mochila energética, CO₂, etc.), aumenta también a partir de 2008 indicando un incremento del impacto medioambiental de las operaciones de transporte.

Con respecto a la estabilidad (nivel de incertidumbre y fiabilidad de los datos) de los valores medios de los indicadores fundamentales de la figura 2.6, conviene recordar que cada dato anual es completamente autónomo del resto de datos. Es decir, los valores medios se calculan de forma individual, sin ningún tipo de memoria. También conviene recordar que durante este periodo, los datos de campo han sido obtenidos por tres empresas distintas (EPTMC, 2009). Estas dos consideraciones indican que la estabilidad de los valores medios registrada por la EPTMC, que para cada año proceden de unas 600.000 operaciones de transportes independientes, no deja de ser sorprendente y debe responder necesariamente a una estabilidad real durante el periodo.

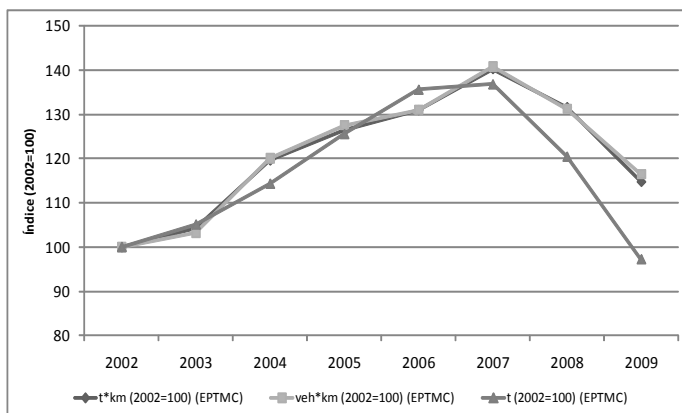
Figura 2.6. Índices de valores medios por recorrido: contenido, distancia y eficiencia del transporte. A) Transporte intramunicipal, B) intermunicipal, C) internacional



Fuente: Elaboración propia a partir de la EPTMC

2.4 Toneladas-kilómetro, vehículos-kilómetros, parque de vehículos y datos de aforos

La figura 2.7 muestra la evolución de los principales indicadores de las operaciones de transporte de mercancías por carretera en España: toneladas-kilómetro, vehículos-kilómetro y toneladas. Las diferencias de evolución (no relevantes hasta 2007) entre toneladas transportadas y kilómetros recorridos quedan pues justificadas, principalmente, por la estructura interna del sector, y en cierta medida, por la variabilidad del transporte intramunicipal. Los años de la crisis económica han representado una divergencia entre las toneladas transportadas y los vehículos-km y toneladas-km debido a que el volumen de la carga transportada ha disminuido a un mayor ritmo que el volumen de tráfico. Esto es debido, fundamentalmente, al aumento de la distancia media de transporte en el tramo logístico intermunicipal como veíamos en la tabla 2.4.

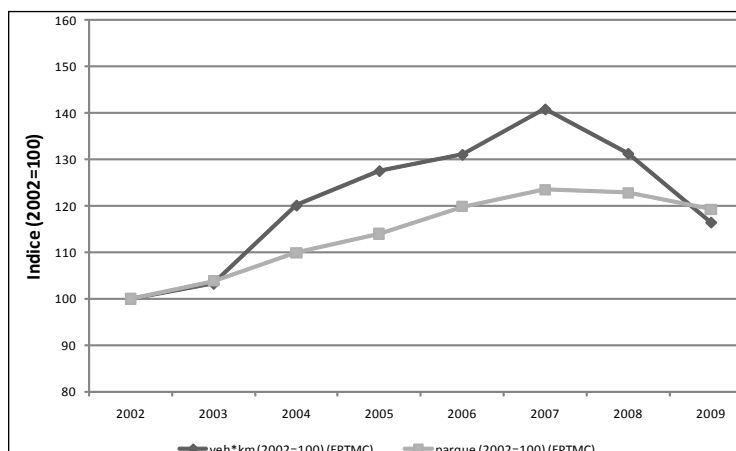
Figura 2.7 Evolución de las toneladas kilómetro, vehículos kilómetro y toneladas transportadas

Fuente: EPTMC

Durante el periodo 2002-2007 la evolución del parque de vehículos y el volumen de transporte (vehículos-kilómetro totales) han ido muy parejas (figura 2.8). Bien es cierto que el parque de vehículos ha crecido a un ritmo menor que los vehículos-km. Los primeros han crecido un 23,5%, y los segundos un 40,8%. A partir del 2008, el parque ha decrecido a un ritmo mucho menor que los vehículos-km recorridos. Del crecimiento considerable y permanente del parque de vehículos, en un momento de expansión económica hasta el año 2007, se deduce un claro crecimiento de la actividad. En este contexto, es lógico pensar que los empresarios no sólo utilizan más vehículos, sino que además utilizan más los vehículos que ya tienen. Por tanto, al crecimiento de los vehículos hay que sumar el incremento de la utilización de los vehículos, lo que explica que, en periodos de expansión económica, la distancia recorrida aumente más que el parque de vehículos. Este mismo razonamiento, a la inversa, nos sirve para analizar el comportamiento durante años de contracción económica: la distancia recorrida disminuye a un ritmo mayor que el parque de vehículos.

La mayor discrepancia se observa en el año 2004. Esta diferencia puede deberse principalmente a dos factores. En primer lugar, en 2004 se produjo el mayor incremento en el periodo 2002-2007 de vehículos tractores por cuenta ajena: un incremento del 9% con respecto al año 2003, frente al 3% del resto de vehículos. Por lo tanto, los tractores que realizan el servicio por cuenta ajena son los que recorren distancias medias más altas al ser empleados principalmente en el transporte intermunicipal. En segundo lugar, la EPTMC registra en 2004 un incremento notable del transporte internacional (un aumento del 21% en el número de recorridos frente al 8% del transporte nacional), con repercusión evidente en la distancia. Aunque no hay datos disponibles del transporte internacional por carretera, los datos de Importaciones y Exportaciones de mercancías que facilita la Agencia Tributaria muestran para el año 2004 un incremento del comercio internacional con Europa superior al de los años contiguos. Tampoco se puede descartar que se deba al efecto del error de muestreo en el transporte internacional.

Figura 2.8. Evolución de las distancias (EPTMC y aforos) y del parque de camiones. Índice

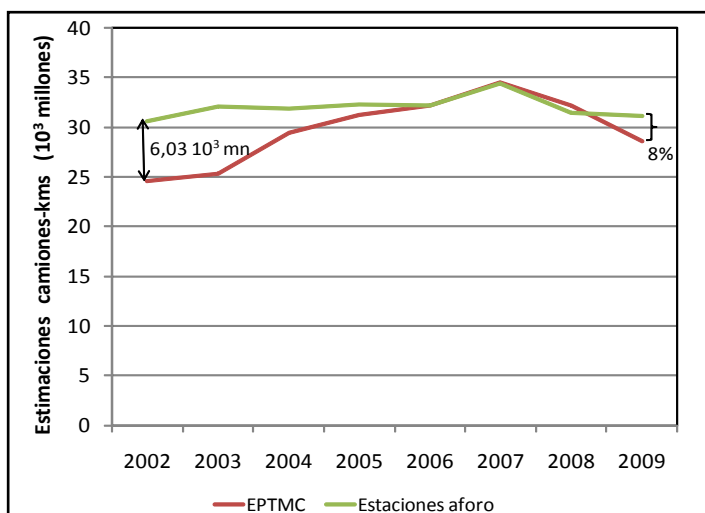


Fuente: EPTMC y mapa de tráfico

En el periodo 2002-2007 el incremento de los kilómetros estimados por la Dirección General de Carreteras (Ministerio de Fomento, 2009) a partir de la Intensidad Media Diaria (IMD) en las estaciones de aforo de la Red de Carreteras Española es del 12% (figura 2.9 y tabla 2.6), es decir, prácticamente la mitad del incremento del parque de vehículos. También es destacable que en el periodo 2002-2007, con un incremento del 12,5% en el PIB, del 31,5% en el empleo de la construcción (EPA), del 17,4% en el empleo de la construcción (ECL) y un incremento del parque de vehículos del 23,0%, los vehículos-km estimados a partir de los datos de la EPTMC tienen una evolución superior (incremento del 47%). Parece ser que para el periodo 2002-2007, los datos de distancias de las estaciones de aforo no reflejan la misma realidad que el resto de fuentes aquí analizadas (a excepción del PIB), por lo que no constituyen una base comparable con los datos de la EPTMC. Sin embargo, si analizamos un período más largo como el comprendido entre 2002 y 2009 (tabla 2.6), la divergencia entre las dos fuentes de vehículos-km no es tan grande, si bien es cierto que las distancias estimadas a partir de la IMD tienen una evolución mucho más plana (incremento del 1,9%) que las distancias de la EPTMC (16,5%).

En 2004, los aforos registraron un tráfico superior en 6,03 miles de millones de camiones-km a los tráficos registrados por la EPTMC de los operadores de transporte. Esta diferencia se ha ido estrechando hasta prácticamente coincidir en 2007. En 2009, las estaciones de aforo contabilizaron un 8% más de camiones-km que la EPTMC (figura 2.9). La divergencia entre las dos fuentes de datos pueden ser debidas a las siguientes razones: exclusión de camiones registrados en el extranjero de la EPTMC, subestimación de las distancias recorridas por los encuestados en la EPTMC y clasificación errónea de los camiones en las clases de vehículos (Aparicio et al., 2005). Según estimaciones de Eurostat (Pasi, 2008), el cabotaje en España, transporte realizado por operadores extranjeros, representó el 1,4% del transporte en 2002 (0,344 10^3 millones de camiones-km). Esta cantidad explica únicamente el 6% de la divergencia entre las dos fuentes citadas. Por consiguiente, la diferencia en camiones-km de las estimaciones debe ser debida mayormente a factores distintos a la inclusión/exclusión de los operadores de transporte extranjeros en España. Los aforos de transporte parece que tienden a sobrestimar el número de camiones-kilómetro desplazando parte de las camionetas de cerca de 3,5 toneladas de peso a la categoría de camiones. Dentro de la EPTMC, parece que los operadores tienden a registrar un menor número de los viajes realizados produciendo una subestimación de las distancias recorridas. En este sentido, McKinnon y Piecyk (2009), identificaron unas divergencias entre fuentes de hasta el 29% en el Reino Unido, por lo que una divergencia del 8% parece ser más que aceptable en nuestro caso.

Figura 2.9. Comparación de las estimaciones de los camiones-km (EPTMC y aforos) para España: 2002 - 2009



Fuente: EPTMC y mapa de tráfico

Tabla 2.6. Crecimiento de la economía, empleo en construcción, parque, toneladas-kilómetro y vehículos kilómetro

	2002-2007 (%/year)	2007-2009 (%/year)
PIB	2,5%	-1,6%
EPA (construcción)	6,3%	-16,7%
ECL (construcción)	5,8%	-23,4%
Parque de camiones	4,6%	-1,7%
Toneladas-km (EPTMC)	8,3%	-9,5%
Vehículos-km (EPTMC)	9,4%	-9,0%
Vehículos-km (estaciones)	2,4%	-4,8%

Fuente: EPTMC e INE.

2.5 Distribución espacial del transporte de mercancías en España y significancia de los vehículos de altas prestaciones

La tabla 2.7 muestra los flujos de mercancías por carretera en los principales orígenes y destinos en España y de alguna forma el potencial que existe para reducir las distancias medias de transporte a partir de una distribución/relocalización más eficiente de los pares origen y destino en la red de transporte. Para ilustrar este concepto, se han utilizado los datos de los flujos de mercancías de la EPTMC, eligiendo las provincias representativas de los 5 mayores productores de mercancías (Barcelona, Madrid, Murcia, Sevilla y Valencia), coincidentes con las 5 provincias de mayor recepción de mercancías (tabla 2.7). Las toneladas emitidas entre los pares de origen y destino y las distancias medias de los viajes con carga se obtienen directamente de los datos micro de la EPTMC (2008). La distancia media del transporte para los viajes con carga en España se sitúa en 58,5 kilómetros en 2008, y las mercancías incluidas en estos 25 pares de origen/destino representan el 22,9% y el 11,7% de las toneladas y toneladas-km estimadas en la encuesta para España.

La presencia del llamado comercio cruzado, especialmente en los casos en los que los orígenes están vinculados a destinos distantes geográficamente (i.e. Madrid-Barcelona, Barcelona-Sevilla), provee de oportunidades importantes para reducir las toneladas-kilómetro totales. Si redistribuimos los flujos de mercancías de estos 5 pares de orígenes/destinos principales de manera que se eliminen los flujos de mayor distancia, las toneladas-km resultantes en la red decrecerían 11.881 millones (4,89% de las toneladas-km totales), resultando en una distancia media de transporte de 34,1 kilómetros (-41,8% respecto al caso base) (tabla 2.8). Utilizando la intensidad energética para el transporte general de mercancías por carretera en España de 1,96 MJ/tonelada-km, estimada para las intensidades modales por Pérez-Martínez (2010), este cambio podría reducir la energía total consumida en la red de estos 5 pares de orígenes/destinos principales de 55,8 Terajulios (TJ) = 10^{15} J) a 32,5 TJ, una reducción de 23,3 TJ (4,52% del consumo total de energía del sector).

La redistribución espacial de mercancías por carretera implica considerar dos asuntos importantes, el tipo de mercancías transportadas y la distribución según tamaño y prestaciones de los vehículos. Primeramente, los productores en cada origen deben de satisfacer las necesidades de los consumidores en cada destino, para cada tipo de mercancía. Basados en un suministro flexible de mercancías, los procesos actuales de producción de manufacturas hacen viable este tipo de práctica logística; por ejemplo, en el sector de la construcción está aumentando el suministro de materiales procedentes de fuentes y productos reciclados. De igual forma, el aumento de la producción flexible está ocurriendo en otros sectores productivos. Segundo, el efecto de disminuir la longitud media del transporte debería monitorizarse detalladamente, puesto que los camiones de altas prestaciones solo serían utilizados en los recorridos más largos y principales corredores. El mejor escenario de ahorro energético se daría cuando los modos de alta capacidad y prestaciones abarcasen los largos recorridos, porque tienen mejores comportamientos energéticos que los de baja.

Los ahorros recogidos para los 5 principales pares de origen/destino son significativos y representativos de todo el sector transporte de mercancías. Estos ahorros energéticos, del orden del 41,8% en los corredores analizados para todo tipo de mercancías, representan un ahorro de energía considerable en el total del sector de 4,5%. En la estimación no se ha considerado la posibilidad de un aumento de la producción de mercancías en los orígenes cercanos a los destinos de consumo mayores, lo que disminuiría aún más los requerimientos del transporte (i.e. Madrid podría ser autosuficiente si aumentara su producción y no dependiera de Valencia). Por el contrario, el transporte de productos de densidad alta del valor de la mercancía (productos electrónicos, maquinaria, moda), tiende hacia distancias de transporte mayores y cadenas logísticas complejas, lo que favorece un aumento de las toneladas-km transportadas. La utilización de vehículos de altas prestaciones minimizaría el efecto negativo del aumento de estas distancias de transporte. En este caso y en el conjunto del sistema de transporte, sería necesaria una redistribución de los otros grupos de mercancías para contrarrestar el efecto de las mercancías de densidad de valor alta. Por consiguiente, con medidas adecuadas de redistribución de mercancías y cambios modales, se podría disminuir los requerimientos de transporte y consumo de energía pudiéndose alcanzar objetivos de emisiones (Convención de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático).

Tabla 2.7. Toneladas transportadas, distancias recorridas (kilómetros de los viajes con carga) y toneladas-kilómetro originadas por el transporte de mercancías en la red española de carreteras entre los 5 principales orígenes y destinos para la totalidad de productos (2008). Matriz real

Toneladas transportadas (10⁶)						
Origen/Destino	Barcelona	Madrid	Murcia	Sevilla	Valencia	Demanda
Barcelona	136,7	2,8	1,0	0,8	2,4	143,7
Madrid	2,4	95,2	0,7	1,6	2,2	102,0
Murcia	1,3	0,9	65,7	0,2	2,5	70,6
Sevilla	0,4	1,1	0,3	61,3	0,5	63,5
Valencia	3,4	3,7	2,7	0,7	95,7	106,2
Oferta	144,1	103,6	70,3	64,6	103,3	
Distancias (km)						
Origen/Destino	Barcelona	Madrid	Murcia	Sevilla	Valencia	
Barcelona	32	627	624	1.026	382	
Madrid	624	29	423	539	366	
Murcia	612	422	32	517	239	
Sevilla	1.025	535	509	28	685	
Valencia	383	368	239	677	30	
Toneladas-kilómetro (10⁶)						
Origen/Destino	Barcelona	Madrid	Murcia	Sevilla	Valencia	Demanda
Barcelona	4.370	1.776	629	810	928	8.512
Madrid	1.476	2.753	280	860	802	6.171
Murcia	786	398	2.093	105	594	3.977
Sevilla	399	563	138	1.714	316	3.130
Valencia	1.298	1.345	645	500	2.879	6.665
Oferta	8.329	6.835	3.784	3.988	5.519	

Fuente. EPTMC

3. REVISIÓN HISTÓRICA DE LA REGULACIÓN ESPAÑOLA REFERENTE A LOS VEHÍCULOS PESADOS DE MERCANCÍAS

3 Revisión histórica de la regulación española referente a los vehículos pesados de mercancías

Tras haber revisado en los fondos de la biblioteca de la ETSICCP de la Universidad Politécnica de Madrid, en 63 títulos diferentes, comprendidos entre los años 1857 (el más antiguo) hasta la actualidad, y recopilando información desde el siglo XVIII en las diversas consultas realizadas, son numerosos los avances que se han llevado a cabo en la legislación.

En el año 1857, en la Ley de Carreteras se citan las medidas que deben tener las mismas, dividiéndolas en carreteras de primer, segundo o tercer orden respectivamente. Estos órdenes de carreteras, se dividen en tres dependiendo de la importancia que tengan para el país. De esta forma, las carreteras de primer orden son las más importantes, mientras que las de tercer orden son las menos relevantes; realizando un paralelismo con las carreteras que hay hoy en España, se puede decir que representan a las carreteras principales, secundarias, y las comarcales. Estas medidas son las siguientes que figuran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Anchos de las carreteras permitidos en la ley de carreteras de 1857

Orden de la carretera	Ancho		Latitud total (metros)
	Del Firme	De los paseos	
1º	5,5	2,5	8,0
2º	4,5	2,0	6,5
3º	4,0	1,5	5,5

Fuente: Ley de carreteras de 1857

Citar, como curiosidad, que los ingenieros podían proponer una mayor latitud en la explanación o en el afirmado, teniendo en cuenta que ésta era la normativa aplicable y debía estar dicha decisión de cambio plenamente justificada. En el Formulario para la redacción de Proyectos de Carreteras, del 1º de Marzo de 1859, se redujo el ancho de las carreteras de tercer orden a un total de 5,00 metros, quedando la tabla anterior de la siguiente forma (tabla 3.2):

Tabla 3.2 Anchos de las carreteras permitidos en la ley de carreteras de 1859

Orden de la carretera	Ancho		Latitud total (metros)
	Del Firme	De los paseos	
1º	5,5	2,5	8,0
2º	4,5	2,0	6,5
3º	3,5	1,5	5,0

Fuente: Ley de carreteras de 1859

44 años después, las tablas anteriores quedaron de la siguiente forma (tabla 3.3), en los Formularios para la redacción de Proyectos de Carreteras del año 1903:

Tabla 3.3 Anchos de las carreteras permitidos en la ley de carreteras de 1903

Orden de la carretera	Ancho		Latitud total (metros)
	Del Firme	De los paseos	
1º	5,5	2,5	8,0
2º	5,0	2,0	7,0
3º	4,5	1,5	6,0

Fuente: Ley de carreteras de 1903

Hasta estos años, en ninguna de las fuentes consultadas se hacía referencia explícita a la longitud o anchura de los vehículos, y únicamente se realizaban indicaciones del peso que debían tener como mucho (los carros para poder pasar por los puentes de las carreteras). Este peso era variable de 6 a 8 toneladas. Del mismo modo, existían medidas mínimas que debían tener las llantas de los carros, para evitar dañar en exceso las carreteras.

En el año 1910, las medidas de las carreteras son las mismas que en 1903, pero se observa la primera normativa existente relativa al uso de vehículos. Es en el artículo 25 del Reglamento de Policía y Conservación de Carreteras, en el que se indica textualmente que *“Los vehículos cuyo peso no exceda de 6.000kg/eje y que no ocupen más de la mitad del ancho de la carretera o sus apartaderos, podrán circular por ella sin previa autorización”*. Es en el Reglamento para la circulación de vehículos con motor mecánico por las vías públicas de España (referido a 1926) donde se encuentra normativa expresa de las medidas y pesos permitidos en los vehículos que deben circular en España. En el artículo 2º, en su apartado g se cita textualmente que *“La anchura de los automóviles de cualquier categoría, medida entre sus partes más salientes, incluso su carga, no podrá exceder de 2,50 metros”*. En el apartado a del artículo 20 se indica el siguiente párrafo: *“No podrán circular, sin permiso especial, los vehículos cuyo peso total (incluido el del vehículo), exceda de 8000kg, ni aquellos cuya carga por centímetro de ancho de llanta exceda de 150 kilogramos cuando las llantas sean de caucho y 140 cuando sean metálicas”*.

Si se desea poner en circulación un vehículo que no satisfaga esas condiciones, se pondrá en conocimiento de la Jefatura de Obras Públicas, indicando el recorrido proyectado, y ésta dará la autorización en el caso que lo consientan el estado de los puentes y demás partes de las vías por las cuales se intenta pasar”

En el artículo 24 se indica que la altura máxima de los vehículos desde el suelo hasta el punto más elevado de la baca es de 3,10 metros.

En el artículo 35 se indica que la anchura máxima de los vehículos, tanto remolcadores como remolcados, cumplirá con la condición de que su anchura no excederá de 2,50 metros. En cuanto a los convoyes formados por vehículos automóviles no podrán exceder, incluidos los remolques de 50 metros, debiendo fraccionarse la composición de los mismos si así sucede hasta cumplimentar dicho límite.

En el Código de la circulación, aprobado por decreto en el día 25 de Septiembre de 1934, se prohíbe la circulación, a no ser que se realice con autorización especial, a los vehículos cuyo peso total exceda de 10 toneladas, y la longitud y gálibo máximos, se limitan a 10 y 5 metros, respectivamente, quedando el ancho total permitido limitado a 2,50 metros. Se autorizó del mismo modo, la circulación de vehículos de hasta 18 toneladas de peso con autorizaciones permanentes por itinerarios determinados.

En la instrucción de carreteras de 1939, se tienen en cuenta los anchos permitidos de los vehículos, ya que el afirmado es en el caso más estrecho (para carreteras locales) de 5 metros. Todas los anchos permitidos pueden verse en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Anchos de las carreteras permitidos según la instrucción de carreteras de 1939 (metros)

Clase de carretera		En el campo y condiciones normales	En Terrenos Montañosos	Contiguo a las Poblaciones	En zonas Urbanizables
Nacionales	Andén	0,0	0,0	0,0	3,0
	Paseo	0,5	0,5	1,0	1,0
	Afirmado	8,0	7,0	10,0	10,0
	Paseo	0,5	0,5	1,0	1,0
	Andén	0,0	0,0	0,0	3,0
	TOTAL	9,0	8,0	12,0	18,0
Comarcales	Andén	0,0	0,0	0,0	3,0
	Paseo	0,5	0,25	0,5	0,5
	Afirmado	6,5	6,5	9,0	9,0
	Paseo	0,5	0,25	0,5	0,5
	Andén	0,0	0,0	0,0	3,0
	TOTAL	7,5	7,0	10,0	16,0
Locales	Andén	0,0	0,0	0,0	1,5
	Paseo	0,5	0,5	0,5	1,0
	Afirmado	5,0	5,0	5,0	6,0
	Paseo	0,5	0,5	0,5	1,0
	Andén	0,0	0,0	0,0	1,5
	TOTAL	6,0	6,0	6,0	11,0

Fuente: Instrucción de carreteras de 1939

Con el Decreto de 23 de Abril de 1948, se vuelven a modificar los artículos del código de circulación sobre pesos y dimensiones máximas de los vehículos. Tras este Decreto, se aumentó el peso máximo de los vehículos sin necesidad de circular con autorización especial a 15 toneladas, mientras que la circulación de vehículos con autorizaciones permanentes a determinados itinerarios se modificó de diversas formas. Se autorizaron 19 toneladas de peso a los vehículos de dos ejes, 25 toneladas a los de tres ejes y 27 toneladas para el conjunto de tractor y remolque. Además se introducen una serie de cargas máximas permitidas por eje de 12 toneladas en el caso de los vehículos de dos ejes, y de 10 toneladas en los de tres ejes.

Por Decreto de 8 de marzo de 1962, de acuerdo con las recomendaciones de la convención de La Haya de 1960, se redujeron las cargas máximas por eje de 12 toneladas a 10 toneladas en el caso de eje simple, y 16 toneladas para eje tandem. La tabla 3.5 refleja estos parámetros.

Tabla 3.5 Pesos máximos permitidos en el Decreto 496/1962 (toneladas)

Clase de eje/vehículo	Toneladas Máximas Permitidas
Eje Simple	10
Eje Tándem	16
Vehículos de dos ejes	16
Vehículos de tres ejes	24
Vehículos en más de tres ejes y trenes de carreteras	32

Fuente: Decreto 496/1962

El ancho máximo se fija en 2,50 metros, la altura máxima en 4 metros y la longitud máxima en 16,5 metros para vehículos articulados y trenes de carretera.

Con el Decreto 1216/67, se modifican definitivamente los pesos máximos, quedando de la siguiente forma (tabla 3.6):

Tabla 3.6 Máximos permitidos en el Decreto 1216/67 (toneladas)

Clase de eje/vehículo	Toneladas Máximas Permitidas
Eje Simple	13
Eje Tándem	14,7
Vehículos de dos ejes	20
Vehículos de tres ejes	26
Vehículos en más de tres ejes y trenes de carreteras	38

Fuente: Decreto 1216/67

El ancho y la altura no sufrieron variación alguna, mientras que la longitud máxima permitida se fijó en 18 metros para los trenes de carretera.

Es en el Decreto 385/1973 del 1 de Marzo, en el que se justifican la imposición de una serie de sanciones fuertes (de hasta 15.000 pesetas si se rebasaba el límite de peso total, y hasta 10.000 si era superado el peso por eje permitido, y a ello habría que sumarle si se superaban ciertos Kg de peso, mayor cuantía económica) debido a las infracciones que se cometían en los vehículos de mercancías por carretera que excedían los pesos máximos permitidos, y con ello acarrearaban un gran deterioro en la Red Nacional de Carreteras.

En la Orden del 7 de Marzo de 1975 se elimina la necesidad de una autorización especial administrativa para aquellos vehículos cuyo peso por eje no exceda de 10 toneladas, incluso cuando el peso total exceda de 16 toneladas.

En 1986, los pesos y las medidas máximas vuelven a verse modificadas (Real Decreto 2029/1986). Este Real Decreto se aprueba debido a la Directiva 85/3/CEE, en la que a partir del 1 de Julio de 1986, los Estados miembros no podían rechazar ni impedir la circulación de vehículos con los pesos y medidas límite señalados en la misma.

Se fija el peso máximo por eje en 13 toneladas para los vehículos de eje simple, en 14,7 toneladas para los vehículos de eje doble y hasta un máximo de 24 toneladas en la suma de los pesos por eje de un tridem (se consideran vehículos con una separación máxima de 1,4 metros en ejes contiguos).

La anchura máxima es de 2,50 metros, y la altura de 4,00 metros.

La longitud máxima para los trenes de carretera es de 18 metros, y el peso máximo total autorizado corresponde a un vehículo a motor con 3 ejes con semirremolques de 2 ó 3 ejes transportando, en transporte combinado, un contenedor ISO de 40 pies y es de 44 toneladas.

El Real Decreto anterior, queda derogado por el Real Decreto 1317/1991, en el que se incluyen las modificaciones de la Directiva 85/3/CEE (86/360, 88/218, 89/338, 89/461 y 91/60 CEE). La longitud máxima autorizada para trenes de carretera es de 18,35 metros. La altura máxima continúa siendo de 4 metros, mientras que la anchura máxima es de 2,50 metros salvo en el caso de vehículos frigoríficos de pared gruesa, que será de 2,60 metros. En cuanto a los pesos máximos autorizados, continúa siendo de 44 Toneladas para el mismo tipo de vehículos que en el Real Decreto 2029/1986. Sin embargo, sí que varían los pesos máximos permitidos por eje, siendo en el caso de eje simple de 11,5 toneladas (si es eje motor), para el caso de eje doble de 18 toneladas (si la distancia oscila entre 1,30 y 1,80 metros entre ejes) y 24 toneladas en el caso de eje triple (si la distancia de separación es de 1,4 metros).

Con el Real Decreto 1467/1995, se realiza una pequeña modificación por medio de la cual se permiten que en los casos de ejes tándem de vehículos motor si el eje motor va equipado con neumáticos dobles y suspensión neumática o reconocida como equivalente a escala comunitaria o cuando cada eje motor del tándem esté equipado de neumáticos dobles y el peso máximo de cada eje no exceda de 9,5 toneladas, 19 toneladas.

Cabe destacar dos momentos muy importantes en esta evolución de la normativa. Ambos son debidos a sendas directivas europeas, en las que se introducen ciertas modificaciones en los pesos y medidas máximos autorizados para determinados vehículos de carretera que circulan en la Comunidad. Se modifican por tanto, las dimensiones máximas autorizadas en el tráfico nacional e internacional y los pesos máximos autorizados en el tráfico internacional, y con ello se exige la modificación de las normas internas que regulan dicha materia.

La primera de las directivas, la 96/53/CE, es adaptada a través del Real Decreto 490/1997, de 14 de abril, por el que se modifica el Código de la Circulación y se determinan los pesos y dimensiones máximos de los vehículos. Las mayores novedades introducidas por este Real Decreto son ampliar el ancho máximo de los vehículos que pueden circular por las carreteras españolas a 2,55 metros (frente a los 2,50 que estaban vigentes desde el año 1934); la otra modificación más destacable es ampliar la longitud permitida a los trenes de carretera a 18,75 metros (el anterior Real Decreto que estaba vigente hasta ese momento, 1317/1991, fijaba la longitud máxima de los trenes de carretera en 18,35 metros). Para el caso de trenes de carretera especializados en transporte de vehículos cuando circulen con carga, se les permite una longitud de 20,55 metros. Los pesos máximos autorizados por eje no sufren ninguna modificación importante, y el peso máximo total tampoco sufre variación alguna. Por ejemplo, las toneladas máximas autorizadas por eje tándem de los remolques o semirremolques eran de 18 toneladas si la distancia entre ejes oscilaba entre los 1,30 metros y los 1,80 metros, no contemplándose más opciones. Pues es en este Real Decreto de 1997, en el que se contempla la opción de que la distancia entre ejes sea superior a 1,80 metros, en cuyo caso se permiten 20 toneladas/eje.

En el Real Decreto 2822/1998, por el que se aprueba el reglamento general de vehículos, se introduce una nueva modificación. Se trata de que aunque la altura máxima permitida con carácter general se mantiene en los 4 metros (incluida la carga), la altura máxima para los autobuses urbanos de clase I pasa a ser de 4,20 metros, y la altura máxima de los siguientes vehículos, incluida la carga, se autorizó en 4,50 metros:

1. Portavehículos: Camiones (rígidos) y conjuntos de vehículos (trenes de carretera y vehículos articulados), cuando estén especializados en el transporte de vehículos.
2. Vehículos grúa: los destinados a la retirada de vehículos accidentados o averiados.
3. Vehículos que transportan contenedores cerrados homologados para el transporte combinado o intermodal.

La segunda de las directivas, la 2002/7/CE, modifica a la anterior, y se adapta a la normativa española a través de la Orden PRE/3298/2004, de 13 de octubre, por la que se modifica el Anexo IX “*Masas y Dimensiones*”, del Reglamento General de Vehículos, aprobado por Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre. Las modificaciones más importantes que introduce son acerca de la longitud máxima y maniobrabilidad de los autobuses. En cuanto a las medidas y pesos máximos autorizados para trenes de carretera, si bien en la propia nota introductoria de la Orden se indica “*Por otra parte, con el fin de fomentar el transporte combinado de mercancías se ha estimado necesario permitir la circulación de determinados vehículos con 44 ó 42 toneladas de peso máximo autorizado en lugar de las 40 generalmente admitidas siempre que reúnan determinadas condiciones*”, analizando los datos lo único que varía es la redacción del texto, pues los vehículos afectados por la modificación a 44 toneladas de peso máximo, ya estaban permitidos. La variación se da por tanto en los vehículos que se permiten con 42 toneladas. El texto definitivo, sobre el peso máximo autorizado es el siguiente:

1. “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.
2. 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”.

En cuanto a las medidas permitidas, se permite que los autobuses articulados aumenten su longitud hasta los 18,75 metros (frente a los 18 anteriores). Además el ancho máximo autorizado, en el caso de superestructuras de vehículos acondicionados y autobuses especialmente acondicionados para el traslado de presos, se fija en 2,60 metros, remarcando la normativa que con carácter general es de 2,55 metros.

Si realizamos una revisión de cómo ha ido evolucionado la legislación española referente a los pesos y dimensiones máximos autorizados de los vehículos comerciales de transporte de mercancías, vemos como éstas han ido aumentado considerablemente a lo largo de los últimos 50 años (tabla 3.7).

Tabla 3.7 Revisión de directivas referentes a los pesos máximos y dimensiones autorizadas para los vehículos pesados de mercancías por carretera

AÑO	LEGISLACIÓN	NÚMERO DE EJES	LÍMITE DE PESO (Toneladas)	DIMENSIONES (metros)		
				LONG.	ANCHO	GÁLBO
1962	Decreto 496/1962	Mayor de 3	32	16,50	2,50	4,00
1967	Decreto 1216/67	Mayor de 3	38	18,00	2,50	4,00
1986	Real Decreto 2029/1986	6	44	18,00	2,50	4,00
1991	Real Decreto 1317/1991	6	44	18,35	2,50	4,00
1995	Real Decreto 1467/1995	6	44	18,35	2,50	4,00
1997	Real Decreto 490/1997	6	44	18,75	2,55	4,00
1998	Real Decreto 2822/1998	6	44	18,75	2,55	4,00
2004	Orden PRE/3298/2004	6	44	18,75	2,55	4,00

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 3.1, puede observarse el vehículo tipo de mercancía general que circula por las carreteras españolas. Tiene un peso máximo autorizado con carga de 40 toneladas, y se compone de una cabeza tractora y un semitrailier de 13,60 m.

Ilustración 3.1 Circulación de la configuración habitual de 40 toneladas

Aunque si bien está permitido que circulen por las vías españolas camiones de hasta 44 toneladas de peso, la configuración más habitual, tal y como se ha comentado y con la que se realizarán los cálculos básicos, corresponde a un vehículo de hasta 40 toneladas cargado con un semitrailer de 13,60 metros. Las diferencias entre las configuraciones de un Megatruck de 60 toneladas y la de un camión articulado de carga general, pueden apreciarse claramente en las imágenes 3.1 y 3.2.

Ilustración 3.2 Circulación de un Megatruck de 60 toneladas.

4. EL MEGATRUCK EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

4 El Megatruck en el contexto internacional

4.1 Experiencias europeas de restricciones de carga en camiones y límites de pesos

Se indican a continuación los casos más destacados de experiencias europeas en relación a los pesos y medidas máximos permitidos:

4.1.1. Suecia

Se permite la circulación de vehículos de hasta 25,2 metros desde 1995, y con un carácter excepcional se permite un transporte especial con vehículos de mayores dimensiones. El peso permitido es de 60 toneladas.

En Diciembre de 2008, se puso en marcha el proyecto piloto *"En Trave Till"*, consistente en permitir la circulación de vehículos de una longitud de 30 metros y una carga máxima de 90 toneladas. Las mercancías que se transportan son madera desde Norrbotten hasta Överkalix y Munksund a través de la carretera E4. En este mismo proyecto se ensayarán combinaciones de vehículos de 74 toneladas.

Al comenzar el uso de Megatrucks, el Gobierno introdujo un nuevo impuesto para todos los camiones a fin de recaudar fondos para reforzar las estructuras de las vías. Este impuesto no hace distinción alguna entre diferentes tipos de camiones debido a su peso. En el periodo 1996- 2005 se recaudaron un total de 400 millones de euros que se invirtieron en reemplazar 1100 puentes.

Las autoridades suecas han realizado diversos estudios sobre la seguridad y el consumo de combustible de estos vehículos, todos ellos basados en la experiencia que adquirieron previamente.

En cuanto a la seguridad, en los accidentes por alcance son más peligrosos, debido fundamentalmente a su mayor carga e inercia. Por otra parte, en los accidentes por adelantamiento de estos vehículos, el aumento de riesgo en comparación con adelantar a un vehículo de 18 metros de longitud no es estadísticamente representativo.

En lo referente al consumo de combustible, éste disminuyó una media de un 14,3% en el transporte de mercancías con el consiguiente ahorro de emisiones de CO₂. Este valor medio varía dependiendo de la ruta adoptada entre un 12,9% y un 15,3%. Por lo tanto, según el informe 2002:6E del Transport Research Institute: Improved Performance of European Long Haulage Transport, sin este tipo de vehículos las emisiones de óxido de nitrógeno de este país aumentarían en 14.000 toneladas al año, un 25% del total.

4.1.2 Finlandia

Con una regulación similar a la sueca, se permiten 25,25 metros de longitud y 60 toneladas de peso. Estudios conjuntos realizados con Suecia, muestran que una mayor longitud en los vehículos mejora la eficiencia energética en aproximadamente un 20%, con el correspondiente ahorro de CO₂.

4.1.3 Noruega

Desde el año 1 de Junio del 2009, se inició un proyecto piloto que tendrá una duración total de tres años. En este proyecto se permiten el cruce de carreteras para unir terminales con Suecia y Finlandia principalmente. La circulación en este proyecto no puede hacerse por todas las vías, sino solamente por unas determinadas que tienen las características técnicas adecuadas.

4.1.4 Dinamarca

Al igual que en el caso noruego, está en marcha un proyecto piloto que durará un total de tres años. Comenzó en el año 2008, y se permite la circulación por determinadas vías de

vehículos similares a los anteriores países escandinavos. Por lo tanto se permiten 25,25 metros y 60 toneladas de peso.

El ministerio de transportes invirtió para la adecuación de rotondas y cruces 11,4 millones de euros antes del comienzo del proyecto, aunque esta cifra aumentó posteriormente. Cualquier compañía de transportes se puede adherir a esta iniciativa que será subvencionada con 20 millones de euros por parte del Gobierno, y en la que se esperan al menos 1000 Megatrucks.

4.1.5 Holanda

Se han realizado dos ensayos con 100 vehículos en dos periodos diferentes (1999- 2003 y 2004-2006). Las conclusiones de estos ensayos fueron positivas –reducción del consumo de combustible y no se vieron aumentos significativos de riesgo de accidente–, sin embargo, debido a la corta duración del periodo de prueba y fundamentalmente al número limitado de vehículos, la normativa holandesa mantiene el uso de Megatrucks de un modo muy limitado (hay diversas y severas restricciones administrativas para poder conducir un vehículo de este tipo). Se permite la circulación de vehículos de 25,25 metros de longitud y hasta 50 toneladas de peso. En la actualidad se está estudiando aumentar el peso máximo permitido hasta las 60 toneladas. Es junto con Suecia, Finlandia y Dinamarca el único país en el que se excede la relación de pesos medidas propuestos en las directivas europeas.

4.1.6 Alemania

En Octubre del año 2007, debido a la gran división existente acerca de la posibilidad del aumento de pesos y medidas en los vehículos de mercancías por carreteras, se suspendió el proyecto piloto que estaba desarrollándose. A comienzos del año 2008, también con gran división al respecto, se inició otro proyecto piloto, permitiendo vehículos de longitud de 25,25 metros y manteniendo el peso en las 40 toneladas máximas.

Se estimaron necesarios, según el Instituto Federal de Investigación de Carreteras, unos 4.000 y 8.000 millones de euros de inversión para el refuerzo de las infraestructuras (puentes, seguridad en túneles, rotondas y cruces, capacidad de los aparcamientos, etc).

En lo referente al pago por uso de las infraestructuras viarias, es uno de los países europeos en el que está implantada la euroviñeta. Dicha tasa está en vigor desde el año 2003, y depende del número de ejes del vehículo y de la clase contaminante del mismo.

4.1.7 Bélgica

Proyecto piloto permitiendo 25,25 metros y 60 toneladas. Los resultados se comentarán en la comparativa de estudios internacionales. Se permiten hasta 44 toneladas (similar al caso español), y 18,75 metros de longitud.

4.1.8 Francia

No está permitido el uso de Megatrucks ya que hay un gran problema con la heterogeneidad de sus puentes en la red de carreteras. Tal es así, que los hay con edades superiores a los 100 años y aproximadamente el 9% de los puentes se construyeron antes de 1940. Sin embargo, desde Enero del 2011 se permite la circulación de camiones de 44 toneladas para productos agrícolas – anteriormente solo se permitían 40 toneladas – por motivos de eficiencia energética.

Recientemente la gestión de la euroviñeta ha sido adjudicada a un consorcio liderado por una compañía italiana, Autostrade, que supone el 70% del consorcio. El 30% restante pertenece a las compañías francesas Thales, SNFC, SFR y Steria. Con la implantación de la euroviñeta se espera reducir en 800 millones de camiones-km el kilometraje que hacen cada año los camiones en Francia. Esta cifra supone alrededor del 7% de los camiones-km anuales en todo el país. En el nuevo sistema de tasas las carreteras locales quedarán sin cobertura o peaje alguno, y estará basado en una escala de tarifas según las emisiones de la clase Euro, siendo superiores las tasas de vehículos más contaminantes.

4.1.9 Suiza

Se prohibió la circulación de los Megatrucks en Diciembre de 2008. En cuanto a la euroviñeta, es uno de los países donde se aplica.

4.1.10 Austria

Se rechazó el uso de Megatrucks. A pesar de que en la reconstrucción de los puentes no eran necesarias modificaciones en las barreras de seguridad, longitud de las paradas de emergencia o la adecuación de los túneles, el Gobierno decidió desestimar esta actuación. Es uno de los países donde se aplica la euroviñeta.

4.1.11 Reino Unido

Prohibido el uso de Megatrucks, pero se realizó de forma experimental un estudio que se comentará en la comparativa de estudios internacionales. Se permiten hasta 44 toneladas en ciertos vehículos, pero no de forma general (similar al caso español).

4.1.12 Portugal

Las medidas permitidas para la longitud de los vehículos son de 18,75 metros. Se trata de uno de los países de la UE, en los que se acaba de implantar una tasa a todos los vehículos por la circulación por las autovías que antes eran gratuitas (el día 1 de agosto de 2010). Se trata de la conocida euroviñeta. Dependiendo de la longitud recorrida, tipo de vehículo y tramo por el que se transite, varía entre 0,25 € y 1,20 € para los turismos y 0,55 y 3 € para vehículos pesados. Sin embargo no ha sido implantada en todas las autovías, aunque sí en una gran mayoría.

En la tabla 4.1 está resumida toda la información de experiencias europeas indicadas anteriormente.

Tabla 4.1. Experiencias Europeas de Megatrucks

PAÍS	LONGITUD (metros)	PESO (Toneladas)	USO MEGATRUCK	PERIODO PREVIO PRUEBAS	EUROVIÑETA
Suecia	25,25	60	Sí	Nuevo proyecto piloto	Sí
Finlandia	25,25	60	Sí		
Noruega	Proyecto Piloto con medidas similares a Suecia				
Dinamarca	25,25	60	Sí, pero en proyecto piloto para ciertas vías principales.		
Holanda	25,25	50	Sí, pero en proyecto piloto de 60 Ton.		
Alemania	25,25	40	En proyecto piloto		Sí
Bélgica	18,75	44	En proyecto piloto		
Francia	No permitidos				Concurso Recientemente Adjudicado
Suiza	No permitidos				Sí
Austria	No permitidos				Sí
Reino Unido	No permitidos tras proyecto piloto				
Portugal	No permitidos				Sí, en determinadas rutas

Fuente: Elaboración Propia

Tal y como se ha indicado en el presente apartado, la circulación del Megatruck está permitida en algunos países nórdicos, mientras que en los centroeuropeos se están realizando proyectos pilotos para comprobar los efectos de este tipo de vehículos. Sin embargo, las configuraciones del Megatruck en todos estos países son distintas a las que se implantarían para un proyecto piloto en España. Estas diferencias pueden apreciarse al observar la imagen 4.1, en la que se ven las configuraciones usadas en Holanda.

Ilustración 4.1 Circulación de Megatrucks en Holanda.



4.2 Comparativa de estudios internacionales de tamaño de camiones y límites de pesos

En este apartado se describen los estudios más importantes sobre la viabilidad de los Megatrucks.

4.2.1 Estudios principales

El primero de los estudios, es realizado por “TRL desk based research” en 2008 en Reino Unido. Se estudiaron diferentes escenarios, de longitud del vehículo (16,5m, 18,75m, 25,25m y 34m), peso (desde 44 hasta 82 toneladas) y número de ejes (6,8 y 11). Las conclusiones de este trabajo son:

1. Aproximadamente un tercio de los viajes realizados con vehículos articulados son susceptibles de ser realizados con Megatrucks. Alrededor de un 5-10% de las toneladas-kilómetro transportadas por vehículos articulados, podrían desplazarse en vehículos de 60 toneladas o más.
2. No se espera trasvase modal de mercancías desde el transporte marítimo al transporte por carretera, mientras que hasta un 8- 18% del transporte ferroviario de mercancías se trasvasaría a la carretera.
3. Se produciría un aumento del consumo de combustible (hasta un 71% en los vehículos de 82 toneladas) por vehículo – kilómetro. Sin embargo, se produciría un ahorro de entre un 8- 28% de combustible (dependiendo del escenario) por unidad transportada.
4. Los costes de operación se reducirían entre un 18- 43%.
5. Riesgos de un efecto negativo sobre el medio ambiente debido al trasvase modal del ferrocarril a la carretera.

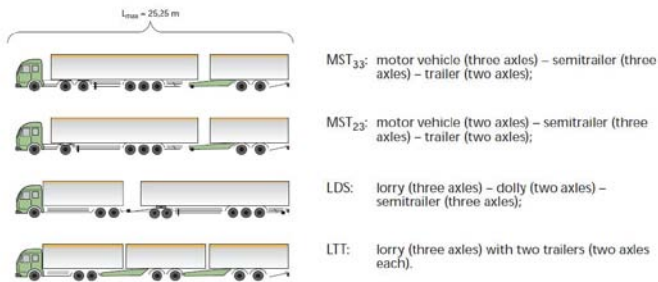
6. Aumentaría el riesgo de accidente por vehículo. Sin embargo, se reduciría el riesgo de accidente por unidad transportada. La utilización de nuevas tecnologías favorecería el aumento de la seguridad.
7. Es necesaria inversión para poder gestionar correctamente este flujo de tráfico, y estudios ad-hoc sobre las infraestructuras.

El Estudio realizado por el “*Belgian Road Research Center*”, publicado en el año 2007, considera diversas configuraciones de camiones que no excedan las 44 toneladas de peso ni los 25,25 metros de longitud. Las conclusiones de este estudio son:

1. Movilidad y aspectos medioambientales. Ganancia de capacidad de carga y ahorro de combustible de hasta un 33% por tonelada- Kilómetro. No se observaron cambios en los ruidos producidos por los diferentes tipos de vehículos respecto a los que circulaban por las carreteras belgas.
2. Aspectos económicos. El mayor ahorro se deriva del número de kilómetros totales, aunque el coste por Km es más elevado por un mayor consumo de combustible. El 53% de los encuestados en este estudio afirmaron que las cargas que transportaban eran susceptibles ser llevadas por Megatrucks.
3. Impactos en la infraestructura. Se midieron los impactos en el pavimento, en la geometría de la vía (si los vehículos podían maniobrar correctamente) y en las estructuras (puentes). Los resultados varían notablemente dependiendo de la configuración del vehículo.

Los cuatro tipos de vehículos que estudiaron se muestran en la figura 4.1.

Figura 4.1 Configuraciones elegidas



Fuente: Belgian Road Research Center, 2007.

Para los impactos en el pavimento, se calculó la agresividad relativa con respecto a un semitrailer de tres ejes con una cabeza tractora (longitud total de 18,75 metros y 44 toneladas de peso). Un valor unitario en este índice significa que la agresividad es la misma que la de la configuración habitual, mientras que valores superiores indican una agresividad superior. En la mayoría de los casos las configuraciones estudiadas resultan menos agresivas que las actuales. En la tabla adjunta (4.2) se muestran las diferentes agresividades, que varían dependiendo del tipo de pavimento.

Tabla 4.2. Agresividad relativa de los Megatrucks en comparación con la configuración habitual/permitida de vehículos.

Tipo de Pavimento	LDS	MST ₂₃	MST ₃₃	LTT
Flexible	0,96	1,24	0,79	1,26
Semirrígido	0,09	1,00	0,0003	0,09
Rígido	0,49	1,02	0,06	0,59

Fuente: Belgian Road Research Center, 2007.

4. Seguridad vial. Aunque se indica que por haberse realizado el estudio en un breve periodo de tiempo, los resultados no pueden considerarse concluyentes, sí que es cierto que hay un impacto total ligeramente positivo, ya que se reducen el número de vehículos en la carretera. Sin embargo, la seguridad percibida por conductores no profesionales es calificada de forma muy negativa.
5. Aspectos Fiscales y Sociales. Son partidarios de estudiar un impuesto para vehículos de entre 44 y 60 toneladas, basados en la armonización con la UE. En cuanto a los aspectos sociales, se indica que sería deseable una nueva licencia a nivel europeo para este tipo de vehículos.

El estudio publicado en el año 2009 por Jacob y Bereni, analiza las posibles consecuencias de la adaptación de los pesos y dimensiones de los vehículos industriales en Europa. El estudio evalúa cuatro posibles escenarios, que son el escenario 1 no hacer nada, el escenario 2 que se permitan en toda la UE los vehículos de 25,25 metros de longitud y 60 toneladas de peso, el escenario 3 en el que se permiten los vehículos anteriores pero solamente en ciertos corredores de la UE y el escenario 4 en el que se permite un estado intermedio de 20,75 metros de longitud y 44 toneladas de peso.

Los posibles efectos se dividen en cuatro apartados diferentes que se comentan a continuación:

1. Efectos sobre la demanda de transportes y la movilidad.

En el escenario 2, uso de los Megatrucks similares a otros países, para el caso español aumentarían las toneladas-Km o bienes transportados en un 1% y se reducirían en un 16% los vehículos-Km o número de vehículos en la carretera. En cualquiera de los escenarios, evidentemente a excepción del 1, aumentaría la productividad del transporte por carretera en la UE. En cuanto al trasvase modal, medido en ton-km, hay una media, un máximo y un mínimo, que sería en cada uno de los escenarios el que se da en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Cambio porcentual de toneladas - km en el sistema de transportes de mercancías

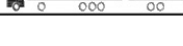
ESCENARIO	CARRETERA			FERROCARRIL			MARÍTIMO		
	Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.	Máx.	Media	Mín.
2	+12,7	+8,5	+5,1	-14,1	-9,6	-6,0	-10,8	-8,1	-5,8
3	+3,2	+2,1	+1,3	-3,6	-2,5	-1,5	-8,6	-6,5	-4,7
4	+4,0	+2,7	+1,7	-5,1	-3,4	-2,1	-4,0	-2,9	-2,1

Fuente: Jacob y Bereni, 2009

2. Efectos sobre la seguridad vial

Se estudian los comportamientos de las diferentes configuraciones de los vehículos en la estabilidad al girar en círculo completo, al realizar un circuito con curvas continuas, la maniobra del cambio de carril (se analiza el espacio requerido y la inclinación de la rueda), y la maniobrabilidad. Dependen en todos los escenarios de la configuración que se adopte de vehículo, siendo por norma general aquellos escenarios en los que se usan semirremolques los más favorables. Con ello, se obtiene la figura siguiente:

Figura 4.2. Afección a la seguridad vial de las diferentes configuraciones

Maniobra Vehículo		Peso del Vehículo	Roto ndas	Trazad o de curvas	Maniobra de cambio de carril		Manio brabilidad	Escena rio		
					Espacio Necesario	Inclinación Rueda				
1		60t	↗	↗	↗	↗	↗	2 & 3	↗	Comportamiento igual o mejor que el vehículo habitual
2		60t	↗	⚡	↓	⚡	↗	2 & 3	↘	Comportamiento ligeramente más desfavorable que el vehículo habitual
3		60t	↗	↗	↗	↗	↗	2 & 3	↘	Peor comportamiento que el vehículo habitual
4		48t	↗	↗	↗	↓	↗	2 & 3	↘	Comportamiento ligeramente más desfavorable que el vehículo habitual
5		40t	↗	↗	↗	↗	↗	4	↓	Comportamiento claramente más desfavorable que el vehículo habitual
6		40t	Es necesaria más investigación para evaluar esta opción					2 & 3	↘	Inaceptable

Fuente: Jacob y Bereni, 2009

3. Efectos sobre las infraestructuras de la carretera

Al igual que en el caso anterior se analizan los efectos sobre el pavimento y las estructuras de la vía (en los puentes) –a fatiga y carga máxima– con las diferentes configuraciones. En líneas generales el impacto para los vehículos de mayor tonelaje es negativo.

4. Efectos sobre la eficiencia energética, y emisiones de CO₂ y gases nocivos

Se analizan los efectos de los diferentes escenarios sobre el consumo de combustible y las emisiones, obteniendo como resultado una mejora de la eficiencia energética en los escenarios 2, 3 y 4.

Por último, con todo lo estudiado anteriormente se realiza para los diferentes escenarios un análisis coste beneficio. El horizonte de este ACB se fija en el año 2020, y se hace para el conjunto de la UE27. A excepción del mantenimiento de las infraestructuras, los puentes y las emisiones de CO₂ en el escenario 4, el resultado del ACB es positivo. En la tabla adjunta pueden verse los beneficios y los costes.

Tabla 4.4. Análisis Coste Beneficio

Cifras en Millones de €		Escenario 2 vs 1	Escenario 3 vs 1	Escenario 4 vs 1
Beneficio en los costes de operación	Costes carretera	23.991	5.117	6.560
	Costes ferrocarril	2.676	1.075	1.201
	Costes marítimo	51	41	22
Seguridad Vial	Bajo coste/Riesgo normal	415	43	559
	Bajo coste/Riesgo reducido	1.492	192	1.668
	Alto coste/Riesgo normal	1.491	207	814
	Bajo coste/Riesgo reducido	2.180	307	1.777
Mantenimiento de la infraestructura	Baja calidad	-785	-163	-733
	Alta calidad	-785	-163	-1.729
Puentes	Baja calidad	-572	-119	-534
	Alta calidad	-2.288	-475	-5.041
Emisiones CO ₂	Bajo coste	104	21	-10
	Coste medio	469	95	-44
	Coste elevado	1.041	211	-98
Emisiones NO _x	Bajo coste	169	57	11
	Coste medio	460	155	30
Emisiones PM	Bajo coste	64	22	13
	Coste medio	186	63	39
ACB Total	Valor más bajo	24.397	5.737	1.587
	Valor más alto	29.228	6.687	8.265

Fuente: Jacob y Bereni, 2009.

El cuarto de los estudios es el llevado a cabo por ISI Fraunhofer (ISI, 2008). El objetivo es realizar una evaluación de los efectos de la introducción de los Megatrucks a largo plazo, enfatizando los efectos sobre la intermodalidad entre el transporte ferroviario y el de carretera de mercancías. Los resultados de este estudio para la UE-25, por medio de la Aplicación informática GIS, son:

1. Los Megatrucks representarían en el horizonte del 2020 el 25% del total del mercado de transporte de mercancías por carretera (en toneladas-Km). Para una distancia superior a los 1000 Km, representarían el 100% del mercado de vehículos de gran tamaño, concentrándose en los grandes corredores Europeos.
2. El límite para la competencia entre los vehículos ya permitidos y los Megatrucks, se sitúa en los 300 Km.
3. El tráfico de contenedores por tren, podría reducirse hasta en un 15% en caso de que se permitiese en toda la UE los vehículos de 60 toneladas.

Por medio de la aplicación de Dinámica de Sistemas, con horizonte en el año 2025, los resultados son los siguientes:

1. De 3 a 6 años desde la implantación de los Megatrucks, se disminuyen las emisiones de CO₂ debido a una mayor eficacia del transporte por carretera (reducción de 0,5 millones de toneladas por año).
2. Desde los 5 hasta los 20 años, se produce un contrapeso en las reducciones de CO₂ de 2 millones de toneladas por año.
3. Desde los 15 hasta los 30 años, el sector podría llegar a volver a tener las emisiones anteriores.

Además el estudio concluyó que la alternativa de la reducción del peso máximo desde las 60 toneladas hasta las 50, no resulta una alternativa eficiente.

El resumen global de los dos métodos utilizados en el estudio se divide en tres apartados:

Transporte por Carretera: Reducción de los costes entre un 20 y un 30%; Se podrían transportar (dependiendo del país) entre un 20- 30% del total de la mercancía de gran volumen.

Trasvase modal: El tráfico de contenedores puede verse reducido hasta en un 50% en el transporte ferroviario; El mayor impacto sobre el tráfico de mercancías por ferrocarril sería el causado por los vehículos de 60 Toneladas en los siguientes aspectos:

- ✓ Reducción entre el 3% y el 5% del volumen de la industria pesada y productos químicos.
- ✓ Reducción entre el 10% y el 15% del mercado de transporte de productos alimenticios y derivados.
- ✓ Reducción de entre el 20% y el 30% del tráfico de contenedores.
- ✓ Reducción del 10% al 20% del tráfico de contenedores proveniente del transporte marítimo.

Medioambiente: A medio plazo el impacto sobre las emisiones es negativo, ya que aunque inicialmente es positivo, al hacerse mayor el número de años este efecto se ve contrarrestado.

4.2.2 Otros estudios

Según la Comisión Europea, existen otros estudios menos exhaustivos que los anteriores, y que también analizan el impacto de los Megatrucks desde una perspectiva global, son los que se indican a continuación. Están divididos en estudios favorables a permitir el uso de los Megatrucks, neutros o desfavorables respecto al uso de los Megatrucks:

Aurell (2007). Se trata de un análisis técnico de las ventajas de los contenedores en el transporte, y sus conclusiones son:

Medioambientales: Reducción del consumo de combustible y emisiones nocivas en al menos un 18%.

Seguridad vial: Ciertas combinaciones de módulos diferentes pueden mejorar la actual de los trenes de carretera.

Conservación de infraestructuras: Por norma general las combinaciones de estos vehículos causan menos daño en el pavimento.

Arcadis (2006). Otro estudio sobre el proyecto piloto alemán ya comentado. Sus principales conclusiones son:

Demanda del Transporte por carretera: Entre 6.000 y 12.000 Megatrucks, sustituirían a 8.000–16.000 trenes de carretera. Se incrementaría el transporte de este modo entre un 0,05% y un 0,1%, y se reduciría el volumen de tráfico (veh- km); por último, el coste por Km de un Megatruck sería un 6,5% superior al de los trenes de carretera, pero se vería recompensado por la reducción del número de vehículos.

Intercambio Modal: Reducción del transporte de mercancías por ferrocarril, medidas en toneladas-Km, en un 1,4%- 2,7%.

Medioambientales: Reducción del consumo de combustible y emisiones de CO₂ y reducción de la congestión entre un 0,7% y un 1,4%.

Seguridad vial: Se mejoraría por el menor número de vehículos.

Asociación Alemana de la Industria de Automóviles. Se trata de un análisis basado en la experiencia alemana, cuyas conclusiones son:

Demanda del Transporte por carretera: Si un 23% de los camiones que circulan se convirtiesen en Megatrucks, se reducirían 2,2 miles de millones de vehículos-Km. Además calcula la reducción de los costes de operación en un 16%.

Medioambientales: Un Eurocombi o Megatruck completamente cargado, consume un 15% menos de combustible por tonelada-Km que un camión de 40 toneladas.

Seguridad Vial: No se detectaron aumentos de riesgo en la seguridad vial.

Conservación de infraestructuras: Menor daño en el pavimento.

T&E (2008). Se trata de un "position paper" de la Federación Europea para el transporte y el MedioAmbiente. Las conclusiones son:

Demanda del Transporte por carretera: Reducción de los costes entre un 20 y un 25% que fomentará una mayor demanda.

Intercambio Modal: Aumentaría el transporte por ferrocarril debido a un efecto rebote en el transporte de contenedores.

Medioambientales: Impactos positivos solamente para Megatrucks con peso inferior a 50 Toneladas.

Seguridad vial: Mejora de la misma si se permiten camiones de mayor tamaño pero sin cargar por completo.

Conservación de Infraestructuras: Es necesario adaptarlas.

BAST (2006). Se trata de un estudio ya citado con anterioridad del Instituto de investigación de Alemania de Autopistas. Se limita al caso de los Megatrucks de 60 Toneladas. Sus conclusiones son:

Intercambio Modal: Gran trasvase modal.

Seguridad vial: Importantes consecuencias en los incendios en túneles debido a unos vehículos de mayor tamaño. A pesar de aumentar la gravedad de las colisiones, este efecto podría verse paliado por unas mejores tecnologías de seguimiento de vehículos en las carreteras.

Conservación de Infraestructuras: A partir de 8 ejes en el vehículo no hay daño esperado en el pavimento. La inversión necesaria para reforzar los puentes sería de entre 4 y 8 Mil Millones de Euros. Además existirían problemas con las rotondas, cruces de carreteras e intersecciones y los aparcamientos.

K+P Consultoría de Transporte. Se trata de un estudio que focaliza los resultados sobre el transporte intermodal. Sus conclusiones son:

Intercambio Modal: 7 Billones de toneladas- Km se trasvasarían del transporte ferroviario al transporte por carretera.

Medioambientales: Reducción de las emisiones de CO₂ entre un 1,1% y un 7%.

TIM Consultores (2006). Estudio que nuevamente focaliza los resultados sobre el transporte intermodal. Sus conclusiones son:

Demanda del Transporte por Carretera: Reducción de costes de este modo de transporte en un 20-25%.

Intercambio Modal: Descenso del tráfico intermodal hasta un 55%. Se incrementaría el transporte de mercancías por carretera un 24%.

UBA (2007): Estudio de la Agencia Federal Alemana del Medioambiente. Las principales conclusiones son:

Demanda del Transporte por Carretera: Coste por tonelada transportada se reduce entre un 20% y un 25%.

Intercambio Modal: Importante cambio de demanda desde el ferrocarril a la carretera (hasta un 5% de descenso del transporte de mercancías por ferrocarril)

Medioambientales: Ganancia en eficiencia energética hasta un 77% por transportar mayor carga los vehículos. Sin embargo, las emisiones contaminantes solo se ven reducidas cuando el vehículo va completamente cargado y las emisiones nocivas se incrementarían debido a una mayor potencia de los motores y al incremento del número de ejes.

Seguridad Vial: Consecuencias más graves de los accidentes debido a un mayor peso de los vehículos.

Conservación de Infraestructuras: Impacto negativo en los puentes, y la capacidad actual de los parking se vería reducida en un 20%.

4.3 Estudios realizados fuera de la UE

A continuación se detallan otra serie de estudios realizados fuera del marco de la UE y que se centran en aspectos más concretos de la implantación de los Megatrucks.

Julie Hewitt et al (1999) estudia el impacto que tendría en las infraestructuras y en la economía del Estado de Montana ciertos cambios en la regulación permitida para la circulación de vehículos pesados de mayor tamaño y tonelaje. Se estudian cuatro escenarios diferentes, y son sin variar en ninguno de ellos la longitud máxima permitida (de 29 metros), ni las cargas permitidas por eje (9.010 kg en el caso de eje simple, 15.400 kg en el de eje doble y 19.300 en el de eje triple). En el primero de ellos se realiza una suposición de una carga máxima de 36.300 Kg, en el segundo esa carga es de 39.300 Kg, en el tercero es de 47.900Kg. En estos tres escenarios, la carga máxima permitida se reduce respecto a la actual, y solamente en el escenario 4 se aumenta a 58.100 Kg. Las conclusiones son:

1. Costes en Infraestructuras. A excepción del segundo escenario, donde existe un ahorro en los costes, en el resto de escenarios hay un coste mayor, siendo el más grande de todos el del escenario 4. En los escenarios con menor tonelaje permitido, el mayor coste es debido a un peor estado del pavimento por el mayor número de vehículos.
2. Impactos sobre la economía. Alrededor del 3% de los costes de las industrias seleccionadas en el estudio, desde la agricultura hasta la construcción, se verían reducidos por un mayor tonelaje permitido en los vehículos.
3. La conclusión final de este estudio es que permitir a los vehículos de transporte de mercancías por carretera un mayor tonelaje, compensa con creces la inversión en infraestructuras.

Es McCullough (2003) quien hace una síntesis de recomendaciones del Congreso Nacional Americano de Transportes (Transportation Research Board) para el aumento en la legislación vigente de las medidas permitidas de los vehículos de transporte por carretera. En primer lugar, destaca que un aumento en la legislación vigente de los pesos y medidas permitidos en los camiones mejoraría notablemente la eficiencia del transporte por carretera. Sin embargo, hay una serie de desafíos como pueden ser la seguridad vial y que por el hecho de no ser suficientemente comprendidos se pierda la oportunidad de mejora en la eficiencia del transporte por carretera. Por ello obtiene una serie de conclusiones y recomendaciones para la realización de un cambio de normativa, que se dan en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Conclusiones y recomendaciones para las configuraciones de los Megatrucks.

Conclusiones	Recomendaciones
Existe una clara oportunidad de mejorar la eficiencia del sistema de autopistas a través de un cambio en la regulación que permita mayores pesos y medidas en los vehículos de transporte de mercancías. Los objetivos de esa regulación deben ser mejorar la seguridad y eficiencia del transporte de mercancías y del comercio Interestatal. Establecer con ello nuevos parámetros de diseño de las infraestructuras viarias y mejorar la gestión del uso de las infraestructuras públicas. Si estos cambios se realizan coordinados con otros complementarios como cambios en la gestión del sistema de autopistas, el resultado global será aún más positivo. Métodos usados en estudios anteriores no han producido resultados positivos en la afección a los puentes. Es muy difícil predecir el verdadero impacto del cambio regulatorio. Es imprescindible examinar detalladamente las consecuencias sobre la seguridad vial. Es por ello necesario realizar una mayor investigación sobre aplicaciones informáticas, de monitores y en la regulación en cuanto a la seguridad. Aunque no respetar la normativa sería un gran problema, tiene fácil solución por la aplicación del monitoreo a las autopistas.	Crear un Instituto de efectos sobre el tráfico comercial. Evaluar las consecuencias del cambio en la regulación a través de estudios piloto. Permitir cambios de forma inmediata en su regulación a los diferentes Estados. Permitir algunas combinaciones de Megatrucks. No permitir en carreteras de menor importancia (tales como las secundarias) la circulación de estos vehículos. Llevar a cabo investigaciones sobre la ejecución del cambio, medioambientales, efectos sobre la seguridad vial, costes necesarios para adecuar los puentes, el mercado de las mercancías, el estrés de los conductores y infraestructuras exclusivas.

Fuente: McCullough, 2003.

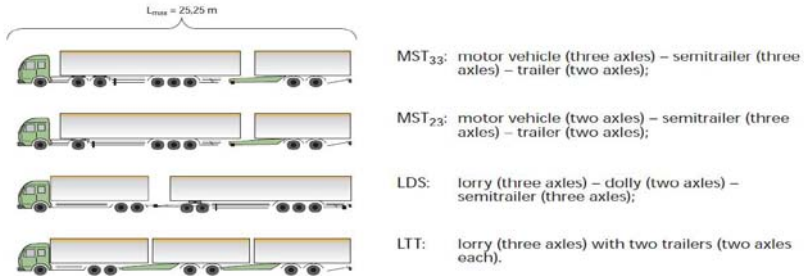
5. CONFIGURACIONES DE LOS MEGATRUCKS, IMPACTOS EN LAS INFRAESTRUCTURAS Y COSTES ASOCIADOS

5 Configuraciones de los Megatrucks, impactos en las infraestructuras y costes asociados

5.1 Configuraciones de los Megatrucks

Las configuraciones elegidas para el estudio sobre la posible implantación de los Megatrucks, son los modelos MST33, MST23 y LDS reflejados en la figura 5.1.

Figura 5.1. Diferentes configuraciones de los Megatrucks



Fuente: Belgian Road Research Center, 2007

Los costes que pueden acarrear este tipo de vehículos en la infraestructura son los derivados de los impactos en:

- Firmes. Dependerá del tipo de pavimento. Lamentablemente es de gran dificultad conocer con exactitud los tipos de pavimentos existentes en las carreteras españolas. Por ello se realiza un análisis de tres tipos de firmes diferentes; flexibles, semiflexibles y rígidos.
- Estructuras. Para calcular el coste en las estructuras es necesario acudir a la instrucción correspondiente, la IAP-98, sobre acciones a considerar en los puentes de carreteras. Se comprobará si las estructuras españolas son capaces de soportar este tipo de vehículos y si es posible, el coste de su mantenimiento.
- Geometría de las vías. Se comprobará si el trazado de las carreteras españolas es el adecuado para la circulación de este tipo de vehículos. En cualquier caso se determinarán ciertos trazados que podrán seguir o no estos vehículos, y con ello se podrán disponer de una serie de rutas.
- Túneles. Se tratará de comprobar si la seguridad en los túneles se ve afectada o no por este tipo de vehículos. En cualquier caso, en los cuatro puntos anteriores sería necesario un estudio específico para cada corredor y así conocer el estado de conservación de los distintos elementos.
- Drenaje y plantaciones. Posibles afecciones con la normativa española.
- Iluminación y señalización.
- Barreras de seguridad. En este sentido habrá que determinar si las barreras de seguridad son suficientes para poder resistir el impacto de estos vehículos. En caso negativo, habrá que indicar el coste de reposición de estas barreras en las rutas de circulación.
- Aparcamientos. Será necesario determinar los costes en los aparcamientos, o si hay espacio suficiente en los aparcamientos para este tipo de vehículos. Evidentemente al tener una serie de restricciones de tráfico, se considera que solamente podrían usar una serie de aparcamientos predeterminados y no cualquier área de servicio.

El resto de costes o impactos, tales como seguridad vial, en el sistema de transportes, productividad, relocalización de los sistemas productivos, medioambientales, bajada del coste de operación en las empresas de transporte, las perspectivas de estas empresas, costes externos generados etc., se estudian posteriormente.

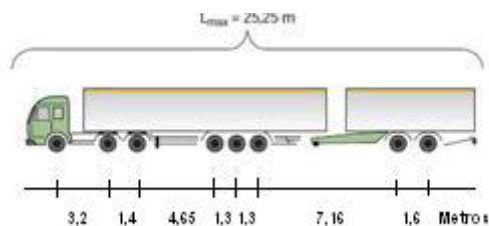
5.1.1 Desarrollo del cálculo

Para poder determinar los impactos en la infraestructura y superestructura de las carreteras españolas, una vez conocidas las tres configuraciones de vehículos, se precisa disponer de sus cargas equivalentes. En cada una de las configuraciones de los vehículos anteriores se hacen una serie de hipótesis de carga, para poder obtener el desgaste que acarrearían el tráfico de vehículos sobre el firme y las estructuras de las carreteras.

En primer lugar es necesario conocer las medidas de los vehículos tipo para los que se van a desarrollar los cálculos. El siguiente paso es conocer los pesos muertos, y así poder determinar el desgaste mínimo que conllevaría la circulación de este tipo de vehículos en caso de circular vacíos. Posteriormente se aumenta de una en una tonelada, desde las del peso muerto hasta el máximo permisible, teniendo en cuenta el máximo que puede tener cada eje. Con todo ello se obtienen unas curvas de pesos y de desgastes asociados, medidos en número máximo de ciclos que puede pasar cada configuración en cada tipo de pavimento.

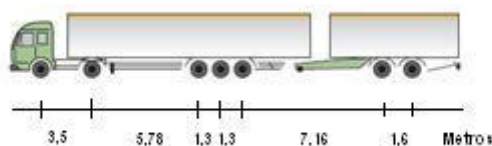
Las distancias entre ejes son las representadas en las figuras 5.2, 5.3 y 5.4, para cada una de las tres configuraciones.

Figura 5.2. Distancia entre ejes de la configuración A.



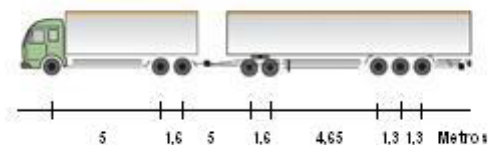
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.3. Distancia entre ejes de la configuración B.



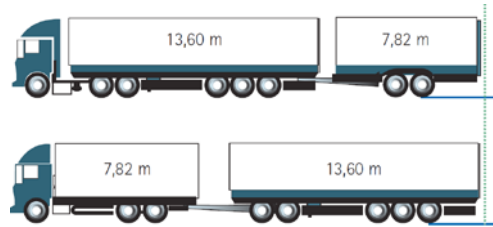
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5.4. Distancia entre ejes de la configuración C.



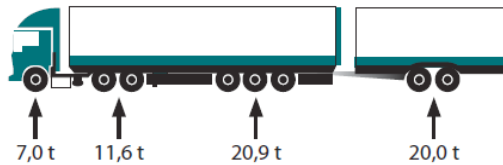
Fuente: Elaboración Propia

Para obtener las distancias anteriores, se han seguido las medidas dadas por la UIC (Communications department, 2007) (figura 5.5).

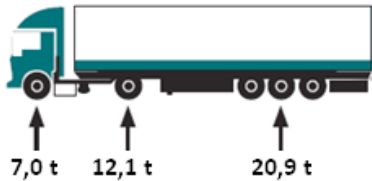
Figura 5.5. Distancias adoptadas para el estudio de costes en los trailer y semitrailer

Fuente: UIC Communications department, 2007

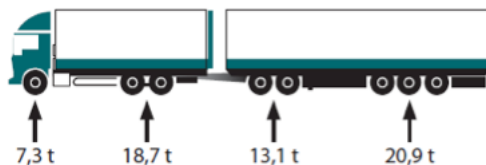
Las cargas máximas se han obtenido del estudio belga (2007). Según las diferentes tipologías, representadas en las figuras 5.6, 5.7 y 5.8, tienen distintas cargas máximas en los ejes.

Figura 5.6. Cargas en los ejes de la configuración A

Fuente: Belgian Road Research Center, 2007

Figura 5.7. Cargas en los ejes de la configuración B

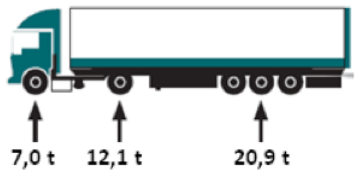
Fuente: Belgian Road Research Center, 2007

Figura 5.8 Cargas en los ejes de la configuración C

Fuente: Belgian Road Research Center, 2007

Para obtener las cargas mínimas se realiza la suposición de que el eje de la cabeza tractora en las tres configuraciones siempre estará igual de cargado, y serán el resto de ejes los que se repartan proporcionalmente el peso muerto de los trailer y semitrailer. Es necesario un escenario base sobre el que poder realizar la comparación. En este escenario se considera una cabeza tractora con un semitrailer y cargado con 40 toneladas de peso máximo. La distribución de cargas en esta configuración (escenario base 0), es la de la figura 5.9.

Figura 5.9 Cargas en los ejes de la configuración actual



Fuente: Elaboración Propia y Belgian Road Research Center, 2007

Todos los costes en mantenimiento de infraestructuras han sido calculados con respecto al coste dado por el informe de tráfico en las autopistas de peaje del año 2008 (Fomento, 2008). Igualmente, la velocidad teórica a la que circularían los Megatrucks sería inferior a los 90 Km/h permitidos actualmente, para así evitar interferencias en la circulación.

5.2 Impactos y costes sobre la Infraestructura

5.2.1 Firmes

Para el desgaste de los firmes se han estudiado tres escenarios diferentes con cada una de las configuraciones. Los escenarios se corresponden con firmes flexibles, semirrígidos y rígidos. La ley aplicada para el cálculo ha sido la ley de Miner, considerando los ejes como simples (en el caso de un doble serían dos ejes simples, y de un triple, tres ejes simples) y con un α que tiene un valor de 4, 8 y 12 para cada uno de los tipos de firmes señalados anteriormente. Se ha considerado un firme que se agota con 1.000.000 de ejes de 13 Toneladas en todos los casos. El agotamiento del firme se da cuando existe un 100% de desgaste respecto al firme de diseño.

El proceso llevado a cabo es el señalado en el libro Ingeniería de Carreteras (Kraemer et al., 2004). El número de vehículos que pasan en cada uno de los casos es de 1.000.000, pero distribuidos uniformemente desde su peso muerto hasta la carga máxima que pueden llevar. Los resultados de este análisis son los que se detallan en la tabla 5.1. Un desgaste menor del 100% respecto al firme de diseño considera que aún no se ha agotado la vida útil. Igualmente, un desgaste positivo respecto a la configuración habitual, indica que es necesaria una mayor inversión en mantenimiento.

Tabla 5.1 Desgastes respecto al firme y la configuración habitual de los diferentes Megatrucks.

Tipo de firme Configuración del vehículo	Flexible ($\alpha=4$)		Semirrígido ($\alpha=8$)		Rígido ($\alpha=12$)	
	Desgaste respecto al firme de diseño	Desgaste respecto a la configuración Actual	Desgaste respecto al firme de diseño	Desgaste respecto a la configuración Actual	Desgaste respecto al firme de diseño	Desgaste respecto a la configuración Actual
A	35,33%	-0,61%	4,77%	-52,49%	1,01%	-79,92%
B	46,19%	+29,93%	7,72%	-23,11%	1,93%	-61,63%
C	34,94%	-1,72%	3,69%	-63,25%	0,55%	-89,07%
Actual	35,55%	-	10,04%	-	5,03%	-

Fuente: Elaboración Propia.

Para calcular el mantenimiento adicional del firme con la circulación de los Megatrucks, los desgastes respecto de la configuración habitual son conocidos, y se considera que el

mantenimiento del firme depende exclusivamente de la circulación de Megatrucks o configuraciones de 40 toneladas. El coste de mantenimiento de los firmes se puede conocer por el libro del tráfico en las autopistas de peaje de Fomento (Fomento, 2010). Como se observa en la tabla 5.2, en las configuraciones que existe un mayor desgaste del firme el coste en mantenimiento es superior que en la habitual, mientras que en las que existe un menor desgaste el coste se ve reducido.

Tabla 5.2. Costes respecto al firme y la configuración habitual de los diferentes Megatrucks.

Tipo de firme Configuración del vehículo	Flexible		Rígido	
	Coste en Euros/ Km	Coste adicional en Euros/Km	Coste en Euros/ Km	Coste adicional en Euros/Km
A	16.011,729	-98,271	82,328	-327,672
B	20.931,723	4.821,723	157,317	-252,683
C	15.832,908	-277,092	44,813	-365,187
Actual	16.110	0	410	0

Fuente: Elaboración Propia

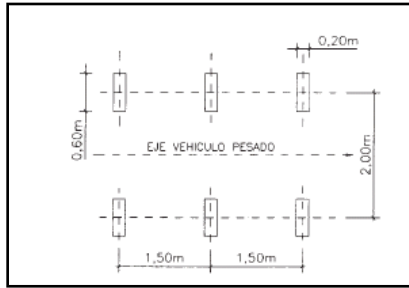
5.2.2 Estructuras

El estado de las estructuras en las carreteras españolas es uno de los aspectos que requieren de un estudio con mayor profundidad, ya que un fallo en una estructura (por ejemplo el derrumbe de un puente) conllevaría un grave problema de seguridad.

En las estructuras es necesario distinguir los dos aspectos más relevantes. Son la fatiga y las cargas máximas (o capacidad portante) que puede soportar una estructura. La fatiga es muy difícil de conocer a priori en un estudio como el presente, pues sería necesario conocer la longitud exacta del puente en concreto, el tipo de estructura (hormigón, metálica o mixta), la configuración de la misma (tipo de armadura, de acero, espesores de hormigón, etc); por ello se realizará una aproximación por medio de la carga máxima. En cuanto a la carga máxima, lo más importante es conocer los cortantes máximos en los extremos y los momentos máximos en el centro de vano, y ver que no excedan los marcados por la normativa correspondiente.

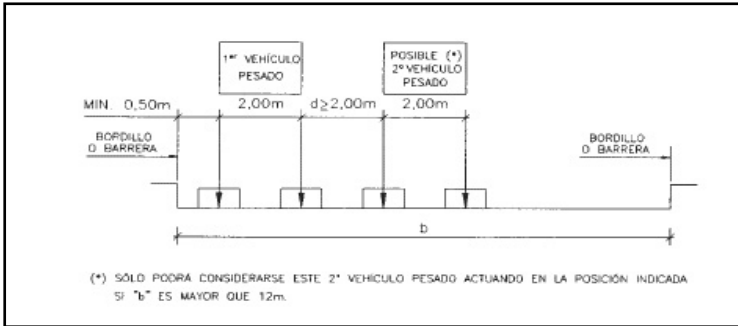
Para el cálculo de puentes de carretera la normativa actualmente en vigor es la IAP-98, *"Instrucción sobre las acciones a considerar en los puentes de carretera"*. En esta instrucción se indica que dependiendo de si el ancho del tablero del puente es mayor o menor de 12 metros, se deben considerar diferentes cargas máximas. En el caso de un tablero menor de 12 metros, se considerará un tren de cargas de 60 Toneladas, mientras que si el tablero es mayor de 12 metros, se considerarían dos trenes de cargas de 60 toneladas. En las figuras 5.10 y 5.11 se puede apreciar la disposición de estos trenes para el cálculo de proyectos de puentes.

Figura 5.10. Planta del tren de cargas de la Instrucción IAP-98



Fuente. IAP-98

Figura 5.11. Alzado del tren de cargas de la Instrucción IAP-98



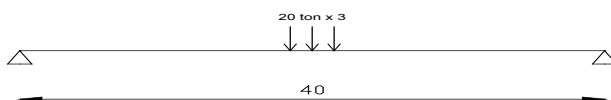
Fuente. IAP-98

El tren de cargas consiste en uno o dos vehículos de seiscientos kilo-newtons ($600 \text{ kN} = 60$ toneladas) cada uno, cuyo eje longitudinal se considerará paralelo al de la calzada, y formado cada uno por seis cargas de cien kilonewtons ($100 \text{ kN} = 10 \text{ Ton}$). La separación entre las cargas en sentido longitudinal será de un metro y cincuenta centímetros y en sentido transversal de dos metros. La superficie de apoyo sobre la que actuará cada carga será de veinte centímetros, paralelamente al eje del vehículo, por sesenta centímetros de ancho (figura 5.10). Debe ser considerado en su posición más desfavorable para el cálculo. Esto implica que para el momento máximo, el tren debe situarse en el centro de vano de la estructura (figura 5.12), y para los cortantes máximos en los extremos (figura 5.13).

Para los puentes de tablero mayor de 12 metros de ancho, no existe problema de colapso de la estructura. Sin embargo, en un puente de tablero menor de 12 metros, aunque el número no alcanza en ninguno de los escenarios el máximo previsto, si que está muy cerca del mismo. Por ello parece recomendable un estudio más detallado y monográfico dedicado a este aspecto.

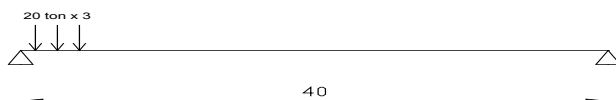
En el cálculo se considera que el coste en puentes y viaductos en obras de fábrica se verá incrementado en lo que se incremente porcentualmente el esfuerzo en dichas estructuras. En la tabla 5.3, puede verse el incremento porcentual de esfuerzo coste. Al depender los esfuerzos de la longitud de vano, estos porcentajes adicionales de esfuerzo que se traducen posteriormente en costes, se han calculado como un promedio de escenarios entre longitudes de 40 y 300 metros de vano.

Figura 5.12. Disposición pésima del tren de cargas para el momento flector en un puente de 40 metros de longitud



Fuente: Oficemen 2009.

Figura 5.13. Disposición pésima del tren de cargas para el cortante en un puente de 40 metros de longitud.



Fuente: Oficemen 2009.

Tabla 5.3. Incrementos porcentuales de esfuerzo y coste asociado.

Configuración de Megatruck	Esfuerzo adicional (%)	Coste Total (Euros / Km)	Coste adicional (Euros/Km)
A	42,478	6.012,234	1.792,234
B	42,370	6.008,014	1.788,014
C	42,075	5.995,354	1.775,354
Actual	0,000	4.220,000	0,000

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Geometría de las vías

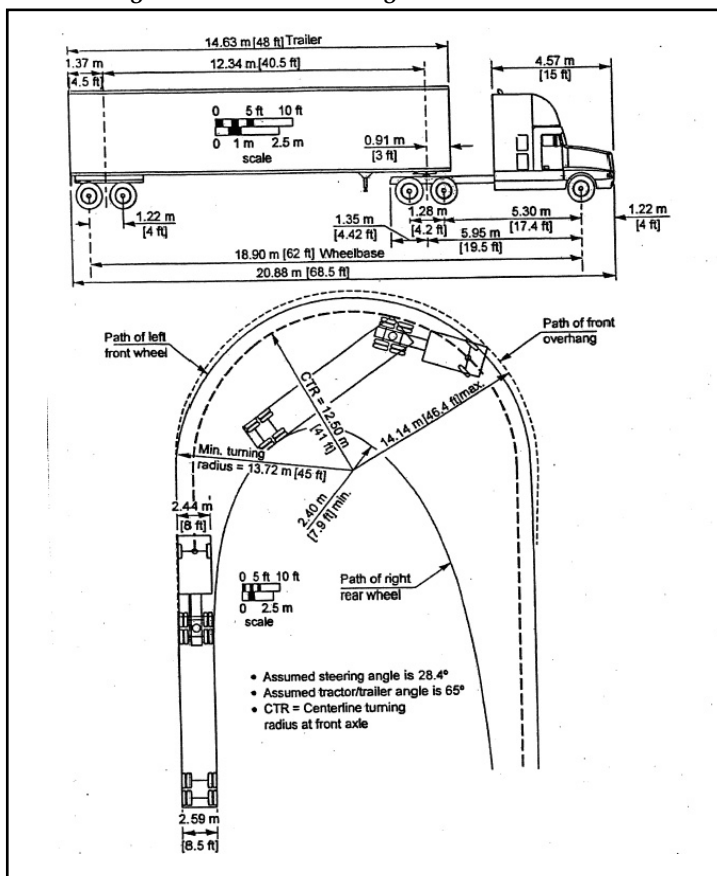
Para poder determinar si la geometría de las vías es adecuada para la circulación de los mega-camiones, es necesario acudir a la actual instrucción de carreteras sobre los radios de giro y las maniobras que pueden realizar los vehículos de mayor tamaño sin problemas de vuelco u obstaculizar a otros vehículos (figura 5.14). Con los actuales radios de giro de las vías de gran capacidad, no hay problema con las operaciones de los vehículos de gran tonelaje y dimensiones. El problema puede presentarse en las salidas y entradas de las vías, en rotondas, accesos a aparcamientos, pasos elevados y algunas carreteras secundarias. El último de los problemas queda completamente descartado porque los itinerarios previstos de estos vehículos se limitan a la unión de los grandes corredores españoles por medio de vías de gran capacidad. En el resto de aspectos indicados es necesario realizar un estudio específico de los recorridos en los que vaya a circular el vehículo, y determinar las posibles entradas y salidas, y los itinerarios con el detalle necesario. Este estudio se debe realizar para cada una de las configuraciones elegidas.

De una forma teórica, el radio de giro (o radios de curvatura) que necesita un mega-camión para no tener ningún problema en rotondas es como norma general de aproximadamente 18 metros. Para evitar posibles problemas en el giro en las rotondas, es preferible que el radio de curvatura se fije en 20 metros. Estos 20 metros se consideran en el caso de que el camión no cambie de dirección en la rotonda; si por el contrario realiza un giro de tres cuartos de circunferencia de la rotonda, el valor mínimo preferible es de 22 metros.

Recalcar, una vez más, que se trata de valores teóricos y orientativos que necesitan de un estudio en mayor profundidad (Oficemen, 2009).

Por todo lo comentado con anterioridad, en la geometría de las vías no será necesario añadir ningún tipo de coste adicional.

Figura 5.14. Análisis geométrico del radio de giro de un camión de dimensiones conocidas.



Fuente: Ingeniería de Carreteras, Carlos Kraemer et. al., 2004.

5.2.4 Túneles

En la normativa de túneles la parte más afectada es la referente a la mayor cantidad de accidentes que pueden existir derivados de la presencia de estos vehículos. El Real Decreto 635/06 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado, indica los condicionantes mínimos que debe cumplir un túnel para que no se ponga en peligro la seguridad vial. Concretamente en el anexo I, están las medidas de seguridad necesarias en los túneles. Estas medidas de seguridad se dividen en 4 apartados diferentes, que son:

- 1- Bases para decidir las medidas de seguridad.
- 2- Medidas en infraestructura.
- 3- Medidas relacionadas con la explotación.
- 4- Campañas de información.

Si se realiza un análisis somero de estos cuatro apartados, puede verse que el único punto afectado es el primero de todos. En la tabla 5.4 están los parámetros que pueden variar con respecto a los actuales; unos variarán de forma positiva y otros lo harán en sentido negativo.

Tabla 5.4. Variación de la seguridad en los túneles con Megatrucks

Parámetro	Variación con Megatruck
Volumen de tráfico por tubo (incluida su distribución temporal)	Positiva
Riesgo de congestión (diaria o de temporada)	Positiva
Presencia y porcentaje de vehículos pesados	Hay un menor porcentaje, pero la presencia de este vehículo para el conductor resulta más peligrosa
Presencia, porcentaje y tipo de tráfico de mercancías peligrosas	Dependiendo de si los megatruck se utilizarían para mercancías peligrosas o no, sucede lo mismo que con el apartado anterior
Velocidad máxima autorizada	Tiene una velocidad máxima autorizada menor que el camión convencional
Medio geográfico y climatología	En climas muy hostiles (heladas,...) podrían existir dificultades

Fuente: Elaboración propia

Para el volumen de tráfico se indica en el apartado 1.3 del Anexo que “Cuando el número de vehículos pesados supere el 15 % de la IMD, o cuando existan valores de IMD estacionales que sean significativamente superiores se evaluará el riesgo adicional y se tendrá en cuenta incrementando proporcionadamente la cifra de volumen de tráfico en el túnel para la aplicación de los puntos siguientes”. Esto implica que se deberían tomar medidas adicionales tanto en la infraestructura como en la explotación, o intensificar las campañas de información. Sin embargo en este aspecto es mejor el escenario con Megatrucks que el actual, pues en cualquier caso reducirá el porcentaje de vehículo pesados en las carreteras españolas.

Un buen ejemplo de restricciones en la normativa puede ser la existente en los túneles del Guadarrama en la A-6, que además es uno de los ejes principales de mercancías del país. En estos túneles la separación mínima entre vehículos debe ser de 75 metros, y un galíbo máximo de 4,35m.

A pesar de que en los túneles con una buena legislación (por ejemplo obligar a los megacamiones a no circular cuando haya operaciones salida o retorno) no existirían sobrecostes, se incrementa un 10% el coste de mantenimiento de los mismos, principalmente por las campañas de información. Esto se hace para todos los tipos de mega-camiones porque tienen la misma longitud, y para la realización de un adelantamiento en un túnel de un vehículo a un Megatrucks el “miedo escénico” que pueden tener algunos conductores al adelantar este tipo de vehículos será igual. Se pasa de un coste por kilómetro de 830 Euros a 913 Euros.

5.2.5 Drenaje y plantaciones

En la normativa de drenaje y plantaciones no hay ningún punto referente al tráfico de la vía para calcular estos drenajes en cuanto a los Megatrucks. No se ven afectados por este tipo de vehículos.

5.2.6 Señalización e iluminación

Tanto la señalización como la iluminación no dependen del porcentaje de pesados o del tipo de mercancía que llevan estos. No se ven afectados.

5.2.7 Barreras de seguridad

Las recomendaciones sobre criterios de aplicación de barreras de seguridad metálicas, aprobadas por la O.C. 28/2009, indican las clases de contención y las características que deben cumplir las barreras de seguridad en los ensayos de impacto. La clase de contención más alta es la de muy alta contención, y se considera en las situaciones de riesgo de accidente muy grave. Estas situaciones son las siguientes según las recomendaciones:

“a) Riesgo de accidente muy grave:

a.1) Paso sobre:

Una vía férrea de alta velocidad.

Una vía férrea por la que circulen, de media anual, más de 6 trenes por hora.

Una vía férrea por la que circulen, de media anual, más de 6 trenes por semana, que contengan al menos un vagón cargado con gases inflamables o tóxicos, o líquidos inflamables.

a.2) Existencia de una vía férrea paralela próxima a la carretera y situada a más de 1 m por debajo del nivel de esta.

a.3) Existencia a nivel inferior de instalaciones contiguas a una obra de paso, permanentemente habitadas o utilizadas para almacenamiento de sustancias peligrosas, o que presten servicio público de interés general, previamente autorizadas a tal fin y situadas dentro de la zona de afección de la carretera.

a.4) Existencia a nivel inferior de una vía férrea, autopista, autovía o carretera convencional, y que en el emplazamiento de la carretera concurren curvas horizontales o acuerdos verticales de dimensiones inferiores a las admisibles por la norma de trazado.”

Además, siempre y cuando la IMD supere los 10.000 vehículos por calzada (algo que sucede en los itinerarios principales del país) debe considerarse como mínimo un riesgo de accidente grave, lo que implica una clase de contención alta. Las clases de contención dependen también de la velocidad del vehículo, y al circular los megatrucks exclusivamente por vías de gran capacidad la velocidad será la máxima permitida. Por todo ello se considera solamente el escenario de clase de contención calificada como “muy alta”.

En dicho escenario el ensayo para la barrera de seguridad se realiza con una masa de 38 Toneladas a 65 Km/h. Se puede suponer que el coste de las barreras de seguridad aumentaría en aproximadamente un 50%, que es el aumento en peso desde las 40 Toneladas que suelen llevar los vehículos actuales de mercancías a las 60 máximas de un mega-camión.

Aunque para este apartado sería necesario un estudio más específico sobre la seguridad vial, al tener todos las configuraciones de megatrucks un peso máximo de 60 toneladas, se incrementa el coste de estas barreras de seguridad de 3.390 Euros/ Km a 5.085 Euros/ Km.

5.2.8 Aparcamientos

Depende del aparcamiento concreto y los problemas se pueden solucionar con una adecuada gestión. Por ello si las empresas de transporte de mercancías por carretera consideran necesarios nuevos aparcamientos deberían asumir el coste de las instalaciones, plataformas logísticas, etc.

El coste total en mantenimiento de la infraestructura con el escenario de sustituir todos los camiones por Megatrucks quedaría según la tabla 5.5. El coste que se da en la tabla para la

configuración actual se ha obtenido del volumen de las series monográficas sobre el tráfico en las autopistas de peaje correspondiente al año 2008 (Fomento, 2010). El resto de los costes han sido elaborados conforme se ha descrito anteriormente. La IMD de vehículos pesados es de 3.839 y se ha considerado la misma en todos los escenarios. Igualmente, solamente circularían un tipo de vehículos pesados; por ejemplo en el caso de la configuración A, el coste es el correspondiente a un kilómetro de autopista con una circulación diaria de 3.839 Megatrucks de tipo A.

Tabla 5.5 Variación de los costes en las carreteras con Megatrucks.

Configuración Elegida	Coste Total (Euros/Km)	Coste adicional (Euros/Km)	Variación %
A	73.063	3.213	4,46%
B	78.054	8.114	11,6%
C	72.830	2.890	4,13%
Actual	69.940	0	0

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 5.1 puede verse la configuración que posteriormente se probaría en las pistas del INTA. Como puede apreciarse al comparar esta ilustración con la 4.1, en la que están las configuraciones elegidas para el caso holandés, las diferencias entre la configuración de las pruebas españolas y las de Holanda son notables.

Ilustración 5.1 Configuración probada en las pistas del INTA



6. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA PREVER EL IMPACTO DEL AUMENTO DEL PESO/TAMAÑO DE LOS CAMIONES EN LOS VEHÍCULOS-KM RECORRIDOS

6 Metodología propuesta para prever el impacto del aumento del peso/tamaño de los camiones en los vehículos-km recorridos

6.1 Tendencia a la utilización de vehículos de gran productividad, ratio de carga y restricciones en peso

El primer paso de la metodología es calcular una estimación de las reducciones del número de camiones y vehículos-kilómetro que han resultado en los últimos años como consecuencia del aumento del porcentaje de vehículos-kilómetro en vehículos de gran tamaño. Este aumento se ha dado en detrimento de vehículos de menor tamaño. La figura 6.1 muestra la distribución de los camiones-kilómetro por tipo de vehículo (rígido y articulado) y por tamaño (según masa máxima autorizada, MMA) para los años 1997 y 2008. Se puede comprobar cómo ha habido una evolución hacia los camiones articulados de MMA 38,1-44 t desde los camiones rígidos de más de 26 t y desde los camiones articulados de MMA 32,1-38 t. Los camiones articulados de gran tonelaje han pasado de transportar un 5,6% de los camiones-kilómetro en 1997 a 11,3% en 2008, a costa de los camiones de inmediata inferior capacidad (i.e. los camiones rígidos grandes han disminuido su peso en el transporte desde 11,8% a 2,0%). Como se verá posteriormente, entre el año 1997 y 2008, un 80% de los camiones rígidos de más de 26 toneladas migraron a los articulados de 38,1-44 toneladas, mientras que este porcentaje fue de un 20% para los camiones articulados de 32,1-38 toneladas que migraron a los articulados de 38,1-44 toneladas.

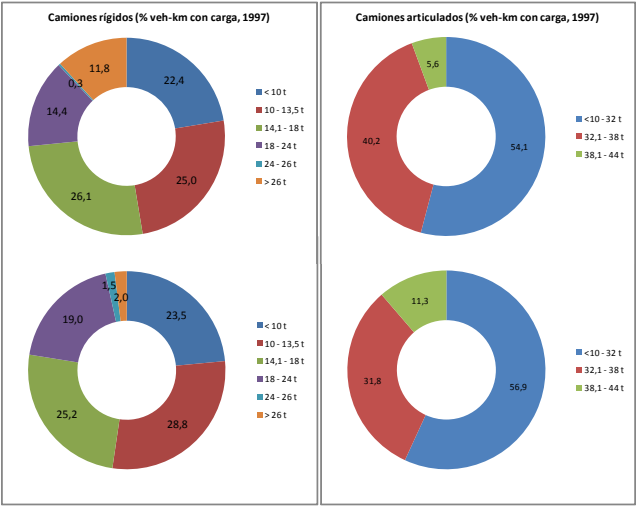
Para calcular los vehículos-kilómetro que han sido transferidos a los vehículos grandes desde los más pequeños hay que hacer una primera consideración, y calcular el ratio entre la capacidad máxima de carga de los vehículos de 38,1-44 t respecto a la capacidad de los vehículos de tonelaje inmediatamente inferior (<38 t). Este “ratio de carga en peso” se multiplicará por la distancia media recorrida anualmente por los vehículos de MMA menor de 38 toneladas. El cálculo produce una estimación grosera del ahorro potencial, en términos de vehículos-kilómetro, que se produciría de trasvasar todas las mercancías a los camiones de mayor carga desde los camiones inmediatamente inferiores. El cálculo asume, sin embargo, que todas las mercancías transportadas en los vehículos menores de 38 t están limitadas en peso y que, de ser trasladadas a vehículos de más de 38 t, continuarían estando limitadas en peso y por consiguiente se beneficiarían del incremento de la capacidad de carga. En la realidad, sin embargo, muchas mercancías transportadas en vehículos de menos de 38 t están limitadas por otras restricciones físicas como volumen o bien por las entregas just in time. Por esta razón, hay que aplicar un coeficiente de escala sobre la cantidad inicial estimada de vehículos-kilómetros ahorrados, de manera que se tenga en cuenta estas otras restricciones de la carga.

Si analizamos la figura 6.2, se puede comprobar cómo los productos manufacturados pesan un 28% sobre el total de las toneladas-kilómetro transportadas (porcentaje estable en el tiempo). Se podría utilizar el complementario de esta figura, 72%, como aproximación del porcentaje de mercancías restringidas en peso y emplearlo como coeficiente de escala anterior. Este porcentaje es similar al aplicado por la Asociación Inglesa de Transportistas de Mercancías (Freight Transport Association-FTA, 1996-2004) el cual calcula la reducción de las estimaciones de ahorro de los camiones-kilómetro en un 28,6% (36,8% de los camiones kilómetro con carga recorridos por los camiones británicos de menos de 38 toneladas no estuvieron restringidos por limitaciones de peso y volumen, de los cuales un 8,2% no estuvieron sujetos a limitaciones en volumen y un 28,6% no estuvieron limitados por el peso máximo). Este coeficiente de escala parece ser algo arbitrario y podría explicar discrepancias entre las distintas estimaciones de los camiones-kilómetros ahorrados. Sin embargo, no se dispone de datos de la proporción de cargas sujetas a restricciones en peso o en volumen. No ha sido posible, además, determinar qué porcentaje de mercancías limitadas en peso están a su vez limitadas por el espacio disponible en el vehículo.

En la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 1997-2008) existe información sobre la naturaleza de las mercancías transportadas, así como información sobre la naturaleza de las restricciones de las cargas transportadas en concordancia con la directiva estadística de la UE sobre clasificación de la naturaleza de las mercancías. La figura 6.3 muestra la distribución de las toneladas kilómetro en función del

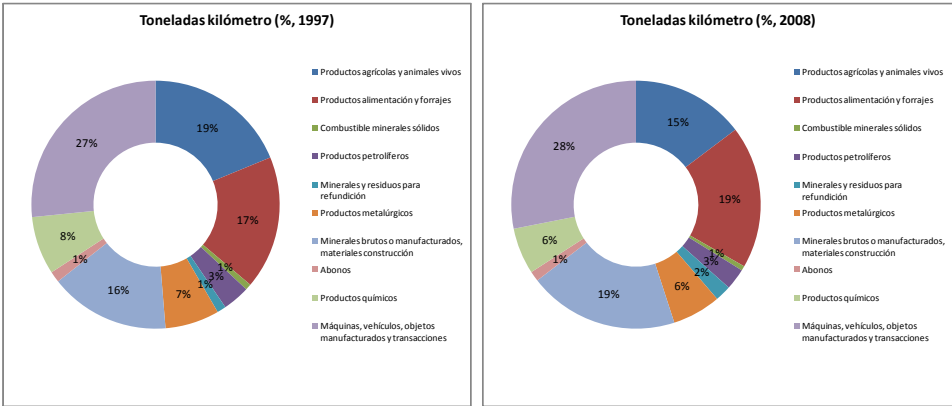
tipo de carga y acondicionamiento. La consideración de que los productos manufacturados son los que mayormente no se encuentran restringidos por consideraciones de peso está en consonancia con la clasificación de la naturaleza de las mercancías. Si consideramos las cargas tipo 0 (sin unidad para productos líquidos), 1 (sin unidad para productos sólidos) y 4 (mercancías en paletas) como las cargas restringidas por motivo de peso, el porcentaje total de mercancías no limitadas por razones de peso ascendería a 31% (caso de vehículos articulados) y 23% (vehículos rígidos). Este porcentaje es similar al propuesto inicialmente de 28% del total de las toneladas-kilómetro y se aproximaría al del Reino Unido.

Figura 6.1. Distribución de los vehículos kilómetro (1997, 2008) según tipo de vehículo, rígidos y articulados, y según masa máxima autorizada de la operación



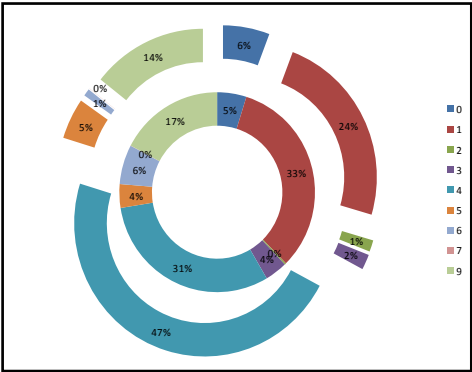
Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 1997-2008)

Figura 6.2 Distribución de las toneladas kilómetro (1997, 2008) según tipo de mercancía



Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 1997-2008)

Figura 6.3. Distribución de las toneladas-kilómetro (2008) según tipo de carga o acondicionamiento y tipo de vehículo (rígido/ círculo exterior y articulado/ círculo interior)



Códigos: 0-Sin unidad para productos líquidos, 1-Sin unidad para productos sólidos, 2-Gran contenedor, 3-Otros contenedores, 4-Mercancías en paletas, 5-Mercancías preeslingadas, 6- Vehículos con motor y animales vivos, 7-Otras unidades móviles, 9-Otros tipos de fletes. Hipótesis: Tipos de carga 0, 1 y 4, mercancías restringidas por motivo de peso. Complementariamente, tipos de carga 2,3,5,6 7 y 9, mercancías no restringidas por motivo de peso. Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 1997-2008)

Probablemente las oportunidades de consolidación y grupaje de las cargas disminuirán a medida que aumentan los pesos de los camiones, como consecuencia de la distribución estadística de las densidades de la cargas. A medida que aumentan los límites en peso de los camiones, cada vez un mayor número de mercancías estarán restringidas en volumen (i.e. estarán limitadas antes en volumen que en peso). En este sentido, la tabla 6.1 compara la proporción de camiones-kilómetro con carga sujetos a distintos tipos de restricciones de la carga en años donde se aplicaron límites de pesos máximos (1999 y 2003). La comparación refleja que un aumento paulatino de los límites de los pesos máximos admitidos en los camiones reduce la proporción de vehículos-kilómetros con carga sujetos a restricciones en peso mientras que se equilibra el porcentaje de kilómetros con carga sujetos a restricciones en peso y en volumen. Se puede llegar a un punto en donde exista una mayor proporción de kilómetros restringidos en volumen que en peso. A partir de este punto se obtendría un mayor beneficio económico y ambiental al aumentar las dimensiones máximas de los camiones que al aumentar aún más los límites de peso. Es necesario tener en cuenta que la densidad media de las cargas ha disminuido con el paso de los años.

Tabla 6.1 Naturaleza de las restricciones de carga para distintos límites de peso de los camiones en 1999 y 2003

Año	Límite peso camión	% de kms-carga restricciones	Naturaleza restricción carga (% de kms-carga restricciones)		
			Peso	Volumen	Peso y volumen
1999 ^a	40 t (5 ejes)	70	69	21	10
1999 ^a	41 t (6 ejes)	77	47	42	12
2003	44 t (6 ejes)	59	37	49	14

Fuente: Departamento de Transporte del Reino Unido, datos publicados en McKinnon (2005). a Valores referidos al tercer cuarto.

Resulta difícil prever el porcentaje de cargas que en el futuro seguirán estando restringidas por motivo de peso y con ello la estimación del potencial de consolidación de cargas en camiones grandes. Sin embargo, parece que existe todavía un potencial significativo espe-

cialmente en aquellos sectores industriales que producen y distribuyen productos de alta densidad, como combustibles, minerales sólidos y abonos (tabla 6.2). Estos sectores han utilizado vehículos de grandes prestaciones, en porcentajes cercanos al 50% del total de las toneladas-kilómetro transportadas, y podrían aumentar su uso en el futuro.

Tabla 6.2 Sectores industriales que hacen un mayor uso de los vehículos articulados de más de 38,1 toneladas y capacidad de carga mayor de 26 toneladas en España (2008)

Descripción	% de la toneladas kilómetro transportadas en camiones de 38-44 toneladas
Cereales	50,3
Combustibles minerales sólidos	50,6
Productos petrolíferos	35,8
Minerales y residuos no ferrosos	32,3
Minerales en bruto o manufacturados	43,7
Abonos naturales o manufacturados	39,2

Fuente: Ministerio de Fomento, EPTMC (2008), datos no publicados estimados por los autores a partir de los datos micro de la encuesta.

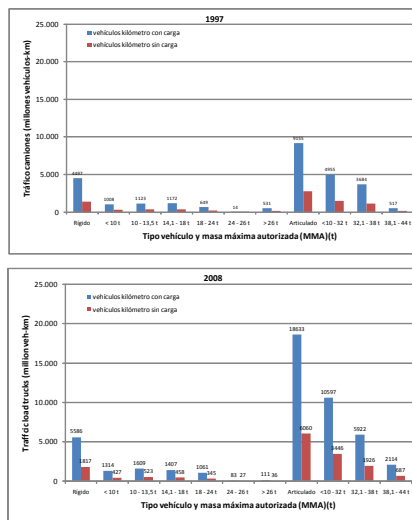
6.2 Cálculo de ahorro de camiones-kilómetro

En la estimación del ahorro de vehículos-kilómetro se han incorporado datos recogidos desde 1997 de la proporción de cargas sujetas a restricciones de peso y/o volumen. Se considera que las cargas que están restringidas por motivos de peso, y no por volumen, en camiones de menos de 38 t podrían haberse beneficiado de ser transportadas en camiones de hasta 44t. Esta restricción se debe a que con los datos de la EPTMC la estimación de las cargas restringidas en volumen es difícilmente cuantificable. De todas estas cargas potenciales de ser trasvasadas a camiones mayores, únicamente un porcentaje de las mismas ha migrado realmente. Para saber este porcentaje real hace falta conocer y analizar la distribución estadística de los vehículos-kilómetro con carga por tipo de vehículo (rígido y articulado) y por capacidad máxima de carga (figura 6.4). Así en 2008, el 8,8% de los vehículos-kilómetro fueron realizados por camiones articulados con capacidad de carga de más de 26 t, con un incremento del 5% respecto a los niveles de 1997. Este incremento es debido a la migración de vehículos-kilómetro desde vehículos de menor operatividad (principalmente rígidos con capacidad de carga de más de 20 t y articulados de 24,1-26 t). Análogamente a la figura 6.4, la figura 6.5 muestra la distribución de los camiones-kilómetro con carga y sin carga, por tipo de vehículo, y según la MMA de la operación de transporte. La migración de vehículos-kilómetro a los camiones articulados de MMA de 38,1-44 t se produce desde los camiones rígidos de más de 26 t y articulados de 32,1-38 t. En ausencia de información sobre el volumen, en metros cúbicos de las mercancías transportadas por carretera, no es posible analizar la distribución de densidades de carga.

En el análisis se contempla la posibilidad de que la reducción de los costes por tonelada kilómetro, consecuencia directa del trasvase de mercancías hacia vehículos de mayor operatividad, haya implicado un aumento de la demanda total de transporte de mercancías por carretera (efecto del tráfico inducido). Esto sería consecuencia de alterar el equilibrio entre los costes en operaciones de transporte y otros costes logísticos. Por consiguiente, el incremento del peso máximo permitido podría promover una mayor centralización de la actividad económica y una mayor dispersión de los productos, las cuales generarían un mayor movimiento de mercancías por carretera. Este argumento ha sido defendido en el pasado por movimientos ecologistas como una razón de peso para no permitir el aumento de los límites de peso. El tema del tráfico inducido ha sido estudiado por otros autores en EEUU (Schipper, 1997; Pickrell y Lee, 1998). No es posible, con base en los datos de los que disponemos en España, modelizar el efecto de generación de tráfico. Sin embargo, según un estudio de la Comisión Europea basado en los productos de industrias del acero, petróleo, químicas, eléctricas, alimentación, papeleras y piensos, y en sus demandas de transporte asociadas, no existe una evidencia clara entre el aumento del tamaño de los camiones

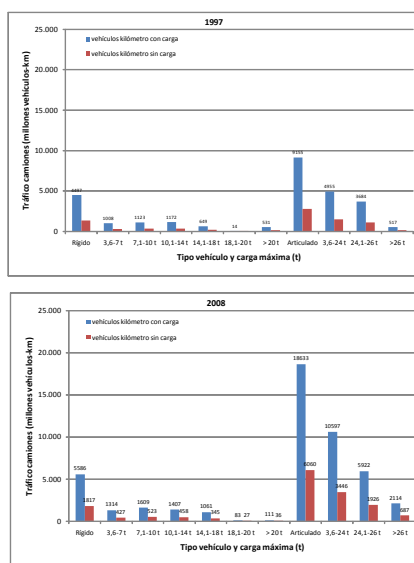
y una fuerte demanda de transporte inducida (Comisión de Transporte Integrado, 2000). Parece que el aumento en la utilización de vehículos de alta productividad tuviera un efecto generativo marginal en el transporte.

Figura 6.4 Distribución de los vehículos kilómetro con carga y sin carga (1997, 2008) según tipo de vehículo, rígidos y articulados, y según carga máxima autorizada (CMA) de la operación.



Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 1997-2008)

Figura 6.5 Distribución de los vehículos con carga y sin carga (1997, 2008) según tipo de vehículo, rígidos y articulados, y según masa máxima autorizada (MMA) de la operación.

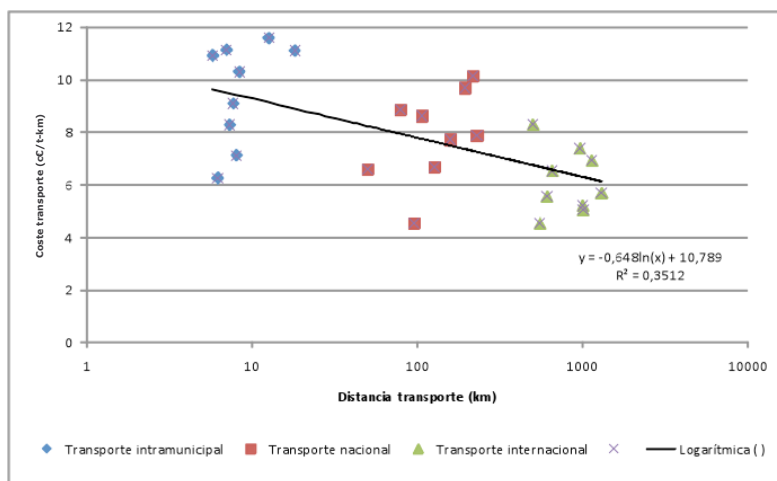


Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 1997-2008)

Analizando los resultados de la Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC) y el Observatorio de Costes del Transporte de Mercancías por Carretera de 2006, se puede llegar a estimar una relación matemática entre los costes de transporte (expresados en céntimos de euro por tonelada kilómetro) y la distancia media de transporte (figura 6.6). Esta relación se corresponde con las encontradas por otros autores en distintos ámbitos de trabajo (Janic 2004, McKinnon, 2005). En los estudios revisados se adoptó una elasticidad de 0,1, indicando que para una reducción de 1% en el coste del transporte la distancia media de transporte y la cantidad de mercancías transportadas (medidas en toneladas-kilómetro) se podría incrementar en 0,1% (Departamento Británico de Transporte y Medio Ambiente en las Regiones, 1998b). Esta elasticidad es exactamente la misma que la que obtenemos de estudiar los datos de la EPTMC (2006) y podría utilizarse para predecir la cantidad de mercancías nuevas que con probabilidad podrían ser generadas/inducidas como consecuencia del aumento de los límites de peso de los camiones. Al aumentar el peso máximo permitido de los camiones, podríamos reducir el coste del transporte, efecto escala, haciendo posible transportar las mercancías a distancias mayores, efecto distancia.

La figura 6.6 muestra un gráfico de dispersión de los costes de transporte, de 9 grupos de tipos de cargas de acuerdo con la clasificación internacional estándar de mercancías transportadas por carretera NSTR, en función de la distancia media de transporte en tres ámbitos de alcance logístico diferentes (intramunicipal, nacional, e internacional). De la relación de tipos de carga se ha excluido el transporte de máquinas, vehículos, objetos manufacturados y transacciones especiales, puesto que su coste a penas se ve influenciado por la distancia media. Para reflejar mejor la relación existente se ha representado el eje-x en escala logarítmica. De media, los costes disminuyen con la distancia media de transporte, aunque con una variación importante teniendo en cuenta el tipo de mercancía transportada (el análisis de regresión de los costes como función de la distancia da una R^2 de 0,351 para los puntos de la figura 6.6).

Figura 6.6 Costes en función de la distancia media de transporte (2006)



Nota: La variación en cada ámbito de estudio (intramunicipal, nacional e internacional) es debida a los distintos tipos de mercancías transportadas (productos agrícolas y animales vivos, productos alimenticios y forrajes, combustibles minerales sólidos, productos petrolíferos y minerales y residuos para la refundición, productos metalúrgicos, minerales brutos o manufacturados y materiales de construcción, abonos, y productos químicos). La elasticidad de los costes respecto a la distancia media de transporte se calcula mediante la expresión $\epsilon_{x,y} = \partial Y / \partial X \cdot X/Y = -0,648/Y$. La elasticidad de los costes para un coste de transporte de 8 céntimos por tonelada kilómetro, es igual a -0,1. Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 2006) y elaboración propia (2010).

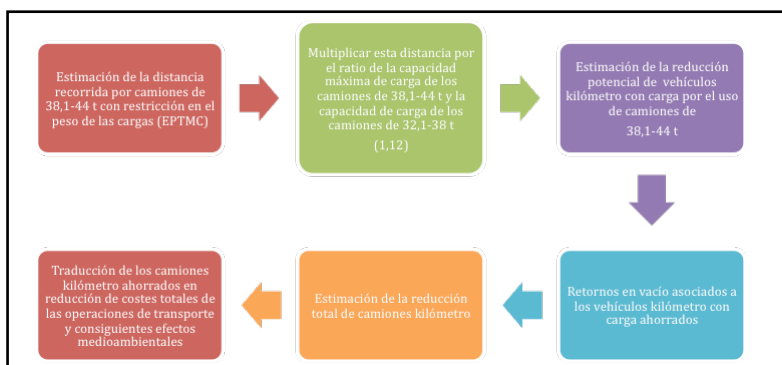
6.3 Los beneficios económicos, medioambientales y sociales del Megatruck

La metodología propuesta para estimar los beneficios económicos, sociales y medioambientales de incrementar el peso máximo de los camiones en España sigue los siguientes 5 pasos:

1. A partir de los datos de la EPTMC se estiman los camiones-kilómetros recorridos por los camiones articulados de 38,1-44 t beneficiados del trasvase desde camiones articulados de 32,1-38 t y camiones rígidos de más de 26 t con cargas restringidas en peso y sus consiguientes toneladas kilómetro. Se considera que el 72% de las cargas están restringidas en peso. Las restricciones en volumen no han sido consideradas por dos motivos. El primero es que con los datos disponibles de la EPTMC, esta restricción es difícilmente cuantificable sin realizar demasiadas hipótesis. El segundo es que si bien un Megatruck podrá transportar un 50% más de volumen total, no podrá transportar bienes o mercancías de mayor volumen de lo que transportaba con el camión articulado de 40 toneladas. Esto último se debe a que en las configuraciones de Megatruck, el mayor volumen que podrá transportar sin necesidad de dividir la mercancía será el mismo, el que corresponda al semitrailer de 13,50 metros de longitud.
2. Se calculan los ratios de las capacidades máximas en peso de los vehículos (CMP). Estos se expresan como la relación entre la CMP de los vehículos articulados de 38,1-44 t (6 ejes, 29 toneladas) y la capacidad máxima de los camiones articulados de 32,1-38 t (5 ejes, 26 toneladas) y los camiones rígidos de más de 26 t (4 ejes, 20 toneladas). El ratio entre los camiones articulados es de aproximadamente 1,12.
3. Se multiplican los vehículos-kilómetro, recorridos con cargas restringidas en peso, por el ratio de la CMP anterior para estimar el ahorro potencial en vehículos kilómetro con carga.
4. Del ahorro potencial de vehículos kilómetro con carga anterior se descuenta la posibilidad de haber retornos en vacío. Se asume que el porcentaje de vehículos-kilómetro en vacío de los vehículos desde los que se hace el trasvase de mercancías se repite en los camiones de 38,1-44 t.
5. Se transforman los vehículos kilómetro netos ahorrados en términos económicos para dar una estimación de los costes de operación ahorrados y la consiguiente reducción en costes externos. Esto se hace considerando un coste medio del vehículo-kilómetro de operación de transporte de 1,1€, obtenido del observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera del Ministerio de Fomento (Alcotran, 2009). El ahorro en costes medioambientales fue estimado utilizando valores monetarios de la contaminación atmosférica, cambio climático, molestias provocadas por el ruido y accidentes de tráfico, facilitados por el manual de costes externos de la Comisión Europea (Delft, 2008). La Comisión Europea ha decidido que únicamente los vehículos de estándares europeos Euro II y superiores pueden transportar 44 toneladas (este estándar para vehículos comerciales fue introducido en 1996 por la Comisión Europea y establece un nivel de emisiones para monóxido de carbono CO, hidrocarburos NMHOC, óxido de nitrógeno NO_x y partículas materiales PM de, respectivamente, 18, 78, 650 y 185 g/km). El límite máximo de 44 toneladas podría acelerar la adopción masiva de tecnologías limpias en el transporte. Las estimaciones medioambientales se realizaron en base a que todos los vehículos de 38,1-44 toneladas alcanzaron, al menos, la tecnología de emisiones Euro II. Como alternativa al transporte de mercancías por carretera, las estimaciones del ferrocarril se realizaron en base a utilizar locomotoras de Clase 66 de comportamiento medioambiental bueno. Finalmente, la externalidades medioambientales se valoraron en 1,958 céntimos de Euro por tonelada kilómetro para camiones y 0,830 c€/t-km para el ferrocarril (Vassallo et al., 2010).

La siguiente figura (6.7) resume los 5 pasos anteriores.

Figura 6.7 Metodología analítica utilizada para estimar los beneficios del aumento del peso máximo autorizado de los camiones



Fuente: McKinnon (2005) y elaboración propia

En el estudio se han construido una serie de hojas Excel para realizar el análisis del impacto de los mega-camiones. A su vez, se identifican los factores que resultan críticos en la precisión de las estimaciones, en particular:

1. Estimaciones de la probabilidad de migración de la carga desde vehículos de tonelaje inmediatamente inferior a camiones de 38,1-44 t.
2. Presunciones acerca del factor de carga futuro y del nivel de los vehículos-kilómetro en vacío de estos vehículos.
3. Estimaciones de los trasvases modales y de la elasticidad de los precios y la demanda de transporte para el transporte de mercancías por carretera procedente de otros estudios previos.
4. Estadísticas de la EPTMC referentes a las restricciones de las cargas de los vehículos.

Dados los datos de los que se dispone, y de los análisis realizados, se debe proceder a consultar a los expertos en España en la materia (organizaciones con un interés amplio en el asunto de los límites de peso de los vehículos pesados). Análogamente, la Comisión Europea ha realizado una consulta de organizaciones interesadas mayormente en el tema estudiado (Commission of Integrated Transport, 2000). La incertidumbre de los factores identificados anteriormente se podría estudiar con un detallado análisis de sensibilidad.

7. NICHOS DE MERCADO, REDUCCIÓN DE LOS CAMIONES-KM POR LA UTILIZACIÓN DE CAMIONES DE GRAN TONELAJE Y MAPA DE TRANSPORTE DE MERCANCÍAS E INFLUENCIA SOBRE EL FERROCARRIL

7 Nichos de mercado, reducción de los camiones-km por la utilización de camiones de gran tonelaje y mapa del transporte de mercancías e influencia sobre el ferrocarril

7.1 Nichos de mercado de los Megatrucks

A la hora de establecer los nichos potenciales de mercado de los Megatrucks en España, hay que buscar una serie de corredores que cumplan las limitaciones técnicas de la vía para este tipo de vehículos y los objetivos de los planes intermodales de infraestructuras de transporte como el PEIT (2004). Conviene recalcar que uno de los objetivos de estos planes intermodales es utilizar el transporte de gran capacidad para abastecer las zonas de influencia de los principales puertos del país. Aquí es donde los mega-camiones tendrían un papel fundamental de conexión entre diferentes zonas logísticas. Para que los corredores seleccionados sean completamente idóneos para la circulación de los megatrucks, es necesario tener en cuenta un criterio adicional a los otros dos; se trata del tráfico de pesados. Un posible criterio para establecer en función de la IMD de pesados un corredor, puede ser fijar la frontera en aproximadamente 1.500–2.000 vehículos pesados. Por debajo de esos valores se descartaría el uso de este tipo de vehículos en esos corredores, por encima sería necesario un estudio específico para cada corredor, pero a priori, serían corredores adecuados para los Megatrucks.

En la actualidad, el transporte de mercancías por carretera es la solución logística más usada, desde los distintos orígenes, para acceder a la mayoría de destinos del país. El PEIT y las distintas políticas europeas de transporte y sostenibilidad tratan de cambiar el paradigma del transporte de mercancías fomentando el transporte intermodal mediante el establecimiento de nodos logísticos nacionales y regionales (REPLICA, 2010). La conexión entre estos nodos logísticos se realizaría a través de un sistema jerarquizado de corredores modales e intermodales de mercancías. Uno de los posibles elementos de esta jerarquización de la red de transporte de mercancías, podría ser el uso de Megatrucks.

Las operaciones de los Megatrucks se establecerían en una serie de corredores principales que unen los nodos nacionales más importantes de mercancías, atendiendo a los criterios estratégicos, técnicos y de tráfico. La figura 7.1 muestra los nodos de mercancías por carretera en nuestro país, representados por el volumen de mercancías transportadas. Algunos de los corredores principales del país y que cumplen todas las características anteriormente señaladas son los que se describen a continuación. El corredor Norte-Sur que conecta los puertos de Huelva y Algeciras con la frontera francesa en Irún, pasando por los nodos logísticos de Sevilla y Madrid. El corredor Centro-Noreste, que conecta los nodos principales de Madrid y Barcelona (y su puerto) hasta la frontera francesa en la Junquera. Un corredor, Centro-Este, que conecta Madrid con Valencia quedando unido el centro de la península con el puerto de mayor abastecimiento de mercancía general. El corredor del Mediterráneo, que conecta la Región de Murcia con la frontera francesa a través del nodo logístico de Barcelona. Un corredor, dentro del propio sur que conecta Málaga con Sevilla y Almería. El corredor Cantábrico que abarca desde la Y griega vasca hasta la Y griega Asturiana. Y por último, el corredor Centro- Noroeste, que conecta el centro de la península con Galicia. Estos corredores principales, y sus nodos logísticos asociados, se corresponden bastante bien a los de la tabla 2.7, en donde se representaban las toneladas transportadas, distancias recorridas (con carga) y toneladas-kilómetro originadas por el transporte de mercancías en la Red Española de Carreteras entre los cinco fundamentales orígenes y destinos (EPTMC, 2008). La diferencia entre la tabla 2.7 y los corredores señalados en este apartado, es que se han añadido algunos criterios estratégicos de conexión de centros de producción y consumo del país.

En estos corredores se debe intentar combinar el transporte por carretera, ferrocarril y barco, aunque es bastante evidente que en la actualidad los corredores principales están básicamente unidos por carretera. Sin embargo, en la potenciación de los puertos secos, los puertos marítimos y las autopistas del mar es vital la comunicación de los mismos entre sí y con las principales zonas económicas del país mediante un sistema intermodal de transporte.

Para que el transporte de mercancías por carretera mediante el uso de vehículos de gran tonelaje y capacidad sea una realidad, resulta vital establecer unas rutas piloto. Tal y como se ha visto en la bibliografía, la puesta en marcha de un modelo de transporte fundamentado en los Megatrucks solamente puede hacerse si previamente se han estudiado en cada una de las rutas predeterminadas los efectos de estos vehículos (tanto en la infraestructura, como en la seguridad vial o en el sistema de transportes). Estas rutas piloto se deben establecer siguiendo unos criterios mínimos de viabilidad como la circulación en unas vías determinadas (solamente pueden circular por vías de gran capacidad), el abastecimiento de las zonas de influencia del país (i.e. suministro de transporte a principales centros logísticos y puertos del país con un radio de acción de 50 Km), o rutas en las que la demanda justifique la implantación de estos vehículos (Elevada IMD de pesados). Todos estos criterios se cumplen en los corredores anteriormente citados. En la figura 7.2 puede verse un ejemplo de rutas piloto a lo largo del país con los principios descritos.

En los corredores principales mencionados, a falta de un estudio más específico para cada uno de ellos, se cumplen los requisitos técnicos argumentados en el apartado 4: limitaciones de firmes, estructuras, geometría de las vías, túneles, barreras de seguridad, drenajes, señalización y aparcamientos. Como se ha comentado, los vehículos de gran capacidad y tonelaje tienen dos limitaciones técnicas fundamentales en lo que se refiere a la capacidad de circulación. Por un lado, la imposibilidad de giro para radios de curvatura inferiores a 20 m en rotondas, y por otro lado, la elevada carga que transportan puede suponer un problema para el firme y 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). 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 actualmente presentes en la red principal de carreteras española. Sin embargo resulta 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, así como del estado de los diferentes firmes y el desgaste específico que puede conllevar este tipo de vehículos.

La implantación del transporte con vehículos de gran capacidad y tonelaje tiene como principal objetivo reducir el número vehículos-kilómetro realizados con vehículos pesados, lo cual se conseguirá de manera global como comentamos en el apartado 6.2. Asimismo, hay que mencionar que uno de los objetivos del Plan Estratégico de Transportes (PEIT) es reducir las inversiones en nuevas infraestructuras de carreteras. Este objetivo queda acentuado por la situación y coyuntura económica actual de nuestro país, en donde es prioritario fomentar otros modos de transporte energéticamente más eficientes. El PEIT refleja una recomendación de aumento de la inversión en mantenimiento y reposición hasta un 2% del valor patrimonial de la red de carreteras, por lo que el mantenimiento de las carreteras españolas está, en principio, garantizado (Oficemen, 2009).

Un análisis más detallado del tráfico en los diferentes corredores que podrían circular los Megatrucks se puede observar en la tabla 7.1. En esta tabla se muestra, mediante parámetros de tráfico, la idoneidad de las vías de gran capacidad para la circulación de los Megatrucks.

En la evaluación de los impactos de los Megatrucks en el transporte de mercancías, únicamente tendría sentido analizar los impactos de la circulación de este tipo de vehículos en las vías de gran capacidad. Sería en estas vías donde se pretende sustituir parte del tráfico pesado por el transporte de vehículos de gran tonelaje y capacidad, reduciendo el volumen de tráfico de pesados.

La tabla 7.1 muestra los parámetros de tráfico en los principales corredores de transporte de mercancías en España. Estos corredores representan las principales rutas donde se podrían establecer los proyectos piloto de implantación de los Megatrucks. Estas rutas piloto están divididas por tramos caracterizados por intensidad media diaria (IMD), tipo de vía y porcentaje de vehículos pesados que soporta ese tipo de vía (Ministerio de Fomento, 2008). El tráfico de vehículos pesados supera o está próximo a superar los 3.000 vehículos en la mayoría de las rutas, por lo que los corredores seleccionados se ajustan perfectamente a la circulación de los mega-camiones. En total se establecen unos 5.131 km. de autovías y autopistas, donde podrían realizarse pruebas piloto con este tipo de vehículos (aproximadamente un 20% de la red española de gran capacidad).

Tabla 7.1. Tráfico de vehículos en los principales corredores de potencial operación de los Megatrucks: localización del tramo (nodos principales), tráfico (IMD), tipo de vía, tráfico de pesados (IMD Pesados) y distancia.

Corredor	Tramo		IMD (veh/día)	Tipo de vía	IMD pesados (veh/día)	Distancia entre P.K. (Kilómetros)
	Nodo origen	Nodo destino				
NORTE	Madrid	Burgos	25.918	Autovía libre	4.743	218
	Burgos	Miranda de Ebro	23.054	Autopista de peaje	4.712	74
	Miranda de Ebro	Vitoria	11.350	Autovía libre	2.155	35
	Vitoria	San Sebastián	30.326	Autopista de peaje	3.369 ¹	103
	Miranda de Ebro	Bilbao	24.981	Autopista de peaje	3.963	80
	Bilbao	Eibar	29.784	Autopista de peaje	3.791	45

Y ASTURIANA	Oviedo	Gijón Avilés	47.596	Autovía libre	4.082	47
CANTÁBRICO	Gijón	Santander*	19.595	Autovía libre	2.151	175
	Santander	Bilbao	41.614	Autovía libre	4.742	100
NORESTE	Madrid	Zaragoza	29.305	Autovía libre	6.834	300
	Zaragoza	Lleida	16.041	Autopista de peaje	2.369	150
	Zaragoza	Miranda de Ebro	11.500	Autopista de peaje	1.350	235
	Lleida	Barcelona	30.199	Autopista de peaje (AP-7 y AP-2)	5.181	170
	Lleida	Barcelona	43.906	Autovía libre (A-2)	9.843	160
	Madrid	Valencia	31.108	Autovía libre	5.800	350
ESTE	Atalaya del Cañavate	Albacete	20.564	Autovía Libre	3.596	80
	Albacete	Murcia	18.596	Autovía libre	3.991	150
	Albacete	Alicante	28.412	Autovía libre	5.373	170
MEDITERRÁNEO	Gerona	Barcelona	58.159	Autopista de peaje	12.558	100
	Tarragona	Enlace AP-2	53.737	Autopista de peaje AP-2	9.277	35
	Tarragona	Valencia	23.214	Autopista de peaje	4.816	260
	Valencia	Alicante	25.018	Autopista de Peaje	1.940	180
	Valencia	Alicante	36.780	Autovía libre	8.672	192
	Alicante	Murcia	43.316	Autovía libre	8.412	80
	Cartagena	Murcia	39.523	Autovía Libre	3.889	48
SUR	Madrid	Córdoba	30.052	Autovía libre	7.046	400
	Córdoba	Sevilla	25.520	Autovía libre	4.487	140
	Sevilla	Huelva	37.967	Autovía libre	4.262	90
	Sevilla	Almería	24.089	Autovía libre	2.763	393
	Córdoba	Málaga	23.006	Autovía libre	2.791	170
	Málaga	Algeciras	57.396	Ambas (A-7 y AP-7)	3.522	140
	Murcia	Málaga (por Almería)	25.369	Ambas (A-7S y AP-7)	3.598	420
NOROESTE	Madrid	Benavente	25.570	Ambas (A-6 y AP-6)	4.365	265
	Benavente	La Coruña	13.530	Autovía libre	2.926	330
	Benavente	Vigo	13.313	Autovía libre	2.367	322

Fuente: Elaboración propia con datos del mapa de tráfico de Fomento correspondiente al año 2008. * Hay aproximadamente 23 km de carretera convencional que están siendo transformados en autovía libre. 1 Estimación propia por inconsistencia en los datos de tráfico.

7.2 Reducción de vehículos.kilómetro como consecuencia de la implantación del Megatruck.

El procedimiento de análisis utilizado para estimar los beneficios económicos y medioambientales de la utilización de vehículos de 38,1-44 t sigue los pasos descritos en la figura 6.7. En la estimación se utilizan los datos procedentes de la EPTMC referentes a la proporción de operaciones de transporte de mercancías por carretera sujetas a restricciones de las cargas en peso y/o volumen. La siguiente tabla muestra la evolución de los vehículos-kilómetro recorridos por los camiones españoles según los datos de la EPTMC en el periodo 1997-2008. Los camiones rígidos de más de 26 toneladas (vehículos de 4 ejes que tienen un comportamiento similar a los camiones articulados de 32,1-38 t y 5 ejes, debido a la menor tara) han reducido considerablemente su tráfico en favor de los camiones articulados de 38,1-44 toneladas (y 5-6 ejes). De igual forma, los camiones articulados de 32,1-38 t (vehículos de 5 ejes y capacidad máxima de carga de 26 t) han ido perdiendo peso en el total de vehículos-kilómetro con carga recorridos en favor de los camiones de gran tonelaje (5-6 ejes y capacidad máxima de carga de 29 t). Estos últimos han incrementado su peso en el total de vehículos-kilómetro un 5% desde 3,8% en 1997 a 8,8% en 2008.

Tabla 7.2. Evolución del tráfico de camiones pesados en España por tipo de vehículo (1997 – 2008)

Tipo vehículo y Carga Máxima Autorizada (CMA, t)	Tipo vehículo y Peso Máximo Autorizado (PMA, t)	1997 Tráfico camión cargado (10 ⁶ km)	1997 Tráfico camión cargado (%)	2008 Tráfico camión cargado (10 ⁶ km)	2008 Tráfico camión cargado (%)	Δ (% km carga 2008-% km carga 1997)	Incremento tráfico carga 1997-2008 (%)	Incremento tráfico carga 1997-2008 (%/año)
Vehículo rígido		4.497		5.777			28,5	2,3
3,6-7 t	< 10 t	1.008	7,4	1.359	5,3	-2,0	34,8	2,8
7,1-10 t	10 - 13,5 t	1.123	8,2	1.664	6,5	-1,7	48,2	3,6
10,1-14 t	14,1 - 18 t	1.172	8,6	1.455	5,7	-2,9	24,1	2,0
14,1-18 t	18 - 24 t	649	4,8	1.098	4,3	-0,4	69,2	4,9
18,1-20 t	24 - 26 t	14	0,1	86	0,3	0,2	514,3	17,9
> 20 t	> 26 t	531	3,9	115	0,5	-3,4	-78,3	-13,0
Articulado		9.155		19.673			114,9	7,2
3,6-24 t	<10 - 32 t	4.955	36,3	11.188	44,0	7,7	125,8	7,7
24,1-26 t	32,1 - 38 t	3.684	27,0	6.253	24,6	-2,4	69,7	4,9
>26 t	38,1 - 44 t	517	3,8	2.232	8,8	5,0	331,7	14,2

Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 2008) y elaboración propia.

A partir de los datos de la tabla 7.2 y utilizando el modelo de la figura 6.7 se puede hacer una primera estimación de los vehículos-kilómetros transferidos desde los camiones rígidos de más de 26 toneladas y los camiones articulados de 32,1-38 t a los camiones articulados de 38,1-44 t en 2008. Para ello se multiplican los vehículos kilómetro con carga totales de 2008 (25.450 millones) por el incremento del porcentaje de kilómetros con carga realizados en camiones articulados de 38,1-44 t desde 1997 (expresado en tanto por uno, 0,05). A esta cantidad habría que descontar las cargas que no se encuentran restringidas por motivos de peso (28%). Las cargas restringidas en volumen, por no poder estimarse sobre la base de la EPTMC, se considera que influirían en un porcentaje similar. Para el agregado nacional el cómputo arrojaría un total de 906 millones de vehículos-kilómetro (D_C).

Si consideramos un ratio entre la capacidad máxima de carga de los vehículos articulados de 38,1-44 t (29 t) y la capacidad máxima de carga de los vehículos articulados de 32,1-38 t (26 t) y rígidos de más de 26 t de 1,12 (i.e. 29 toneladas/26 toneladas), la estimación total de los vehículos-kilómetro ahorrados ascendería a 109 millones (1.014 millones de veh-km menos los 906 millones anteriores (D_C)). A esta cantidad habría que descontar los retornos

en vacío asociados a los vehículos-kilómetros ahorrados. Finalmente, los vehículos-kilómetro ahorrados cada año ascenderían a **78,2 millones** de vehículos kilómetro.

El ahorro de los vehículos-kilómetro se traduce en términos de ahorro de costes de operación y externalidades evitadas. Considerando un coste medio de operación de 1,1 € por vehículo-kilómetro y un coste medio de las externalidades de 0,14 € por vehículo kilómetro, los **78,2 millones de vehículos-kilómetro ahorrados** se traducirían en un ahorro de **97,4 millones de euros** (86,1 M€ por costes de operación y 11,3 M€ en concepto de externalidades). Los datos unitarios de los costes de operación del transporte se obtuvieron del observatorio de costes del transporte de mercancías por carretera (Ministerio de Fomento, 2009). Similarmente, los ratios de costes medioambientales se obtuvieron del estudio sobre la reducción de los costes externos del transporte de mercancías por carretera (Fundación Corell, 2010) y del trabajo sobre tarificación por el uso de infraestructuras de transporte en España (Vassallo et al., 2010), los cuales dependen mayormente de la tecnología utilizada en la propulsión de los camiones (estándares euro de emisión y calidad de los combustibles).

7.2.1 Hipótesis consideradas en la estimación.

Si se quiere estimar los vehículos-kilómetro que se pueden ahorrar en el futuro por la utilización de vehículos de alta productividad, hay que hacer ciertos añadidos al modelo presentado en la figura 6.7. En primer lugar, deberíamos definir unos factores de migración que determinaran el paso de cargas de vehículos de menor tonelaje a vehículos de 38,1-44 t. Estos factores de migración en el caso del estudio retrospectivo anterior (1997-2008) fueron de **80%** para los camiones rígidos de más de 26 t y **20%** para los camiones articulados de 32,1-38 t.

Se pueden construir escenarios futuros en el que varíen aún más los factores de migración desde los porcentajes actuales (80% camiones rígidos de más de 26t y 20% camiones articulados de 32,1-38 t) a otros superiores: escenario medio (90% camiones rígidos de más de 26t y 40% camiones articulados de 32,1-38 t) y escenario superior (95% camiones rígidos de más de 26t y 60% camiones articulados de 32,1-38 t). La variación entre los escenarios de los coeficientes de migración es debido a que las cargas pueden estar sujetas a restricciones por volumen, plazo de entregas u otras restricciones para una capacidad máxima de carga menor a 29 toneladas. Los coeficientes de migración en los escenarios medio y superior, separadamente para los vehículos rígidos de más de 26 t y articulados de 32,1-38 t han sido elegidos tras haber consultado a expertos tanto del sector como a operadores de transporte.

Se hace una mención especial al tráfico inducido como consecuencia de aplicar el valor de elasticidad de la EPTMC igual a 0,1 (figura 6.6) a los costes de operación ahorrados por tonelada-kilómetro como consecuencia de incrementar la CMP desde 24 a 29 toneladas (para los vehículos rígidos de más de 26 t) y desde 26 a 29 toneladas (para los vehículos articulados de 32,1-38 t). Se aplican los factores de generación de tráfico a las toneladas kilómetros transportadas por los vehículos con cargas restringidas en peso. Con una elasticidad de 0,1 y un ratio entre CMPs de 1,12, se generan de media un 1,2% más de vehículos-kilómetro como consecuencia de la utilización de camiones mayores. Los 906 millones de vehículos-kilómetro nuevos recorridos por los camiones de 38,1-44 t en 2008, consecuencia directa del trasvase de mercancías sujetas a restricciones de peso desde los camiones rígidos de más de 26 t y articulados de 32,1-38t, producirían una demanda de tráfico inducida de 10,9 millones de vehículos-kilómetro.

En los escenarios futuros se debe reflejar, además de la demanda de vehículos-kilómetro inducidos, el posible trasvase de toneladas-kilómetro desde el ferrocarril como consecuencia de la caída de los precios del transporte en euros por tonelada-kilómetro. La demanda de transporte por ferrocarril en España, expresada en toneladas kilómetro, ha caído un 3% en el período 1997-2008 (pasando desde 11.488 millones de t-km a 11.116). Si consideramos un factor de carga para los camiones de 38,1-44 t de 13,6 (toneladas-kilómetro por vehículo-kilómetro con carga), han podido trasvasarse desde el ferrocarril un total de 24,5 millones de vehículos-kilómetro anuales. Por esta razón para estimar la reducción de los vehículos kilómetro en el futuro, se deben crear niveles de trasvase de las toneladas-kilómetro desde el ferrocarril: alto (9% de las toneladas kilómetro se transfieren a la carretera desde el ferrocarril, escenario de mayor tráfico por carretera), medio (6% de las toneladas

kilómetro se transfieren a la carretera, escenario de rango medio) y bajo (3% de las toneladas-kilómetro se transfieren a la carretera, escenario de menor pérdida del ferrocarril). Según los añadidos comentados a la figura 6.7, el modelo definitivo de estimación del impacto de la utilización de camiones de alta productividad quedaría representado por la siguiente ecuación:

$$r \text{ (millones veh-km)} = 1 \cdot (R-1-V) \cdot v \cdot M / 100 \cdot (1-W) \quad [4]$$

donde,

R es el ratio entre la Capacidades Máximas en Peso (CMP) de los camiones articulados de 38,1-44 t y las CMPs de los camiones de tonelaje inmediatamente inferiores, el cual toma el valor de 1,12 en este estudio; V son los retornos en vacío asociados a los vehículos-kilómetro ahorrados, expresados en tanto por uno; v son los vehículos-kilómetro totales recorridos con carga, expresados en millones de camiones-kilómetro; M son los vehículos-kilómetro con carga traspasados al mega-camión, expresados como porcentaje de los vehículos con carga totales v; W es el porcentaje de cargas no sujetas a limitaciones de peso, expresado en tanto por uno.

A la ecuación (4) habría que descontar los vehículos-kilómetros inducidos i como consecuencia de la disminución de los precios de operación unitarios (en euros por tonelada-kilómetro). Estos quedan determinados por la siguiente expresión:

$$i \text{ (millones veh-km)} = v \cdot M / 100 \cdot (1-W) \cdot \eta \quad [5]$$

donde,

v, M y W son los parámetros que aparecen en la ecuación 1; η es la elasticidad de los precios medios de operación del transporte en relación con la distancia de transporte, la cual toma el valor de 0,012 en este estudio (figura 6.6).

A la ecuación (4) también habría que descontar los vehículos-kilómetro f traspasados desde el ferrocarril como consecuencia directa del aumento de los límites de peso de los camiones y del abaratamiento de los precios unitarios de operación. f queda determinado por la siguiente expresión:

$$f \text{ (millones veh-km)} = t / f_c \quad [6]$$

donde,

t son las toneladas-kilómetro traspasadas del ferrocarril al camión de altas prestaciones, expresadas en millones y f_c es el factor de carga del megatruck, el cual toma el valor de 13,6 toneladas-kilómetro por vehículo-kilómetro con carga para el camión articulado de 38,1-44 t.

Finalmente, la reducción de los vehículos-kilómetros resultantes del incremento de los pesos máximos permitidos de los camiones, en millones de vehículos-kilómetro por año, quedaría representado por la siguiente ecuación:

$$r' \text{ (millones veh-km)} = r - i - f \quad [7]$$

Por último, se pueden traducir los camiones-kilómetro ahorrados en reducción de costes totales de las operaciones de transporte, mantenimiento y conservación de las infraestructuras y consiguientes externalidades utilizando la siguiente expresión:

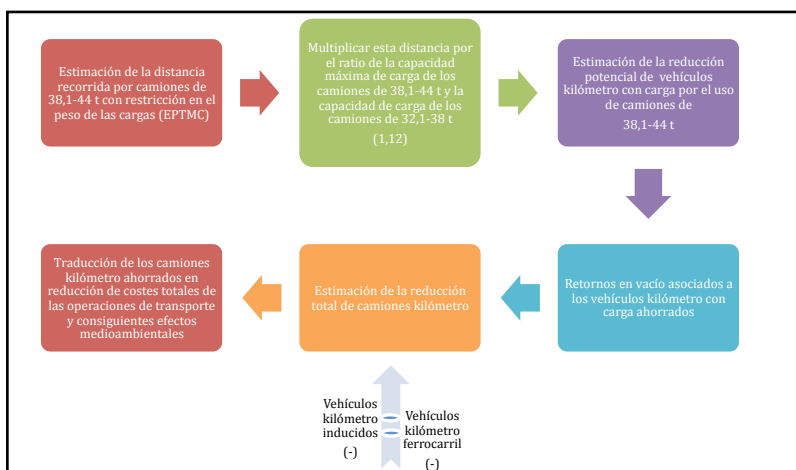
$$c \text{ (millones €)} = r' \cdot (c_o + c_m + c_e \cdot f_c) \quad [8]$$

donde,

c_o es el coste unitario de operación, expresado en € por vehículo-kilómetro y que toma el valor de 1,12 en este estudio; c_m es el coste unitario de conservación y mantenimiento de las infraestructuras de transporte, expresado en € por vehículo-kilómetro y que toma el valor de 0,05 en este estudio; c_e es el coste unitario de las externalidades evitadas, expresadas en € por tonelada-kilómetro y que toma el valor de 0,01958 en este estudio; f_c es el factor de carga del mega-camión, el cual toma el valor de 13,6 toneladas-kilómetro por vehículo-kilómetro con carga para el camión articulado de 38,1-44 t.

El modelo final de estimación de los impactos económicos, sociales y ambientales al utilizar los camiones de mayor tonelaje vendría representado finalmente por la figura 7.3 (al modelo de la figura 6.7 habría que descontarle los vehículos-kilómetro procedentes del tráfico inducido y los vehículos-kilómetro trasvasados desde el ferrocarril).

Figura 7.3. Metodología analítica utilizada para estimar los beneficios del aumento del peso máximo autorizado de los camiones en su modelo ampliado



Fuente: McKinnon (2005) y elaboración propia

7.3 Mapa del transporte de mercancías en España, influencia del Megatruck en el sector transporte de mercancías por ferrocarril

La tabla 7.3 muestra los resultados, en camiones-kilómetro, de aumentar el peso máximo de los camiones, para distintos niveles de trasvase modal y carga para el agregado nacional. De acuerdo con la estimación media, basada en niveles medios de migración de carga y trasvase modal del ferrocarril al camión, el volumen anual de tráfico pesado podría reducirse en unos 52 millones de vehículos-km, equivalentes a aproximadamente un ahorro de 254 viajes de retorno diarios entre Barcelona y Madrid. Este ahorro de kilómetros podría traducirse en unos ahorros anuales de operación de transporte de 50-57,6-60 millones de € (a precios constantes del año 2000 y excluida la inflación) y una reducción de las emisiones de dióxido de carbono de 50-52.667-55.000 toneladas. La mitigación de los efectos medioambientales de las operaciones de transporte (contaminación atmosférica, cambio climático, ruido y accidentes de tráfico) fue evaluada, en base anual, y estimada en 30 millones de €. Incluso en el peor de los escenarios posibles, combinación del grado más bajo de trasvase y consolidación de carga en camiones de 38,1-44 t con un trasvase modal del ferrocarril al camión alto, el aumento del peso de los camiones seguiría teniendo un efecto positivo en la economía y el medio ambiente.

De los resultados obtenidos de la tabla, se puede asumir que el efecto del tráfico inducido fue perfectamente capturado mediante la utilización de una elasticidad -0,1 en los precios de operación en la demanda de transporte. Se puede concluir que el aumento del peso máximo de los camiones hasta 44 toneladas produce beneficios económicos y medioambientales. En base a esto, se puede afirmar que las medidas políticas dirigidas a aumentar el peso máximo de los camiones podrían aportar beneficios económicos y medioambientales significativos. Por esta razón es por la que los Gobiernos sucesivos han optado por ir aumentando el peso máximo de los camiones hasta las 44 toneladas actuales. Para que los camiones puedan registrar este peso máximo de 44 t deben de tener al menos seis ejes, además de estar equipados con una suspensión hidráulica y cumplir con los estándares de emisión EURO III.

Tabla 7.3. Estimaciones de las reducciones de los vehículos kilómetro en el conjunto nacional resultantes del incremento del peso máximo permitido de los camiones (millones de vehículos-km por año)

Trasvase modal del ferrocarril al camión	Nivel de trasvase de la carga (% veh-km)		
	Alto (veh-km carga migrados al mega, 10%)	Medio (veh-km carga migrados al mega, 7,5%)	Bajo (veh-km carga migrados al mega, 5%)
	desde camiones rígidos >26 t, 95%	desde camiones rígidos >26 t, 90%	desde camiones rígidos >26 t, 83%
	desde camiones articulados 32,1-38 t, 60%	desde camiones articulados 32,1-38 t, 40%	desde camiones articulados 32,1-38 t, 21%
Alto (9%)	61,7	27,9	3,6
Medio (6%)	86,2	52,4	28,1
Bajo (3%)	110,7	76,9	52,6

Fuente: Elaboración propia. Nota: cálculo de la estimación de veh-km ahorrados utilizando las ecuaciones (1, 2, 3) en base a los siguientes parámetros: Ratio CMP mega-vehículos/CMP vehículos trasvase 1,12; retornos en vacío asociados a los vehículos-km con carga ahorrados 3,36%; veh-km con carga totales $25.487 \cdot 10^6$; veh-km con carga trasvasados al mega-camión 5-7,5-10 (%); proporción de la carga no sujeta a restricciones en peso 28,6%; trasvase modal a la carretera desde el ferrocarril 3-6-9%; veh-km trasvasados a la carretera desde el ferrocarril 24,5-49-73,5 10^6 ; factor de carga de los camiones (13,6 t-km/veh-km con carga).

Con la implantación de los Megatrucks de 60 toneladas, las estimaciones de los vehículos-kilómetro ahorrados de la tabla anterior se verían considerablemente aumentadas. La tabla 7.4 muestra los resultados del ejercicio de pronosis con parámetros de estimación propios de los mega-camiones, utilizando las ecuaciones 4-7. Los vehículos-kilómetro ahorrados se incrementarían 10 veces respecto a los kilómetros ahorrados del caso base. Así, el ratio entre la carga máxima de los megatrucks (41,1t) y la carga máxima de los camiones de 32,1-38 t y 38,1-44 t (26,8 t) sería de 1,54 y, su incremento respecto al caso base de la tabla 7.3 en 37,6%, se traduciría en un aumento considerable de los camiones-kilómetro ahorrados. Como en el caso base, habría que descontar los retornos en vacío asociados a los camiones-kilómetro ahorrados. Al igual que en la tabla 7.3, se consideraron los mismos vehículos-kilómetro iniciales con carga ($25.487 \cdot 10^6$), los mismos niveles de trasvase de las cargas a los camiones de altas prestaciones (5, 7,5 y 10 %) y los mismos escenarios de trasvase modal del ferrocarril al camión (3, 6 y 9%). En este último caso se consideró un aumento del factor de carga desde los 13,6 toneladas por vehículo del caso base hasta los 15 del caso del megatruck.

De acuerdo con la estimación media, basada en niveles medios de migración de carga y trasvase modal del ferrocarril al camión, el volumen anual de tráfico pesado podría reducirse en unos 584,4 millones de vehículos-km, equivalentes a aproximadamente un ahorro de 2.833 viajes de retorno diarios entre Barcelona y Madrid. Este ahorro de kilómetros podría traducirse en unos ahorros anuales de operación de transporte de 600,0-654,5-700,0 millones de € (a precios constantes del año 2000 y excluida la inflación) y una reducción de las emisiones de dióxido de carbono de 550-587,3-600 miles de toneladas. La mitigación de los efectos medioambientales de las operaciones de transporte (contaminación atmosférica, cambio climático, ruido y accidentes de tráfico) fue evaluada, en base anual, y estimada en más de 300 millones de €.

Tabla 7.4. Estimaciones de las reducciones de los vehículos kilómetro resultantes del incremento del peso máximo permitido de los camiones (millones de vehículos-km por año), caso Megatruck (60 ton)

Trasvase modal del ferrocarril al camión	Nivel de trasvase de la carga (% veh-km)		
(% t-km)	Alto (veh-km carga tot. migrados al mega, 10%)	Medio (veh-km carga tot. migrados al mega, 7,5%)	Bajo (veh-km carga tot. migrados al mega, 5%)
	desde camiones rígidos >26 t, 95%	desde camiones rígidos >26 t, 90%	desde camiones rígidos >26 t, 83%
	desde camiones articulados 32,1-38 t y 38,1-44 t, 60%	desde camiones articulados 32,1-38 t y 38,1-44 t, 40%	desde camiones articulados 32,1-38 t y 38,1-44 t, 21%
Alto (9%)	771,9	562,2	360,5
Medio (6%)	794,1	584,4	382,7
Bajo (3%)	816,3	606,7	404,9

Fuente: Elaboración propia. Nota: cálculo de la estimación de veh-km ahorrados utilizando las ecuaciones (1, 2, 3) en base a los siguientes parámetros: Ratio CMP mega-vehículos/CMP vehículos trasvase 1,54; retornos en vacío asociados a los vehículos-km con carga ahorrados 6,72%; veh-km con carga totales 25.487 10⁶; veh-km con carga trasvasados al mega-camión 5-7,5-10 (%); proporción de la carga no sujeta a restricciones en peso 28,6%; trasvase modal a la carretera desde el ferrocarril 3-6-9%; veh-km trasvasados a la carretera desde el ferrocarril 22,2-44,5-66,7 10⁶; factor de carga de los camiones (15,0 t-km/veh-km con carga).

Un aumento del peso máximo de los camiones desde los camiones rígidos de más de 26 t y desde los camiones articulados de 32,1-38 t y los camiones articulados de 38,1-44 t (con 5-6 ejes) a camiones de 60 Toneladas tiene el efecto de reducir los costes de operación del transporte por tonelada-kilómetro. Esta reducción de los costes de operación, y por consiguiente los precios, podría tener cierta influencia en el transporte de mercancías por ferrocarril el cual podría perder volumen de transporte en favor de la carretera (expresado en toneladas-kilómetro). Sin embargo, también podría suponer un gran incentivo para el ferrocarril español, y convertirse en más competitivo al ver amenazada su cuota de mercado. Una de las premisas iniciales de la Comisión Europea en el Libro Blanco del Transporte y del Plan Español de Infraestructuras de Transporte (PEIT, 2004) es promover políticas y medidas dirigidas a fomentar el transporte de mercancías en ferrocarril y barco con el fin de reducir los impactos medioambientales. Sin embargo, estas políticas no deben promover los modos alternativos como finalidad última, a costa de deteriorar la economía y desfavorecer el transporte de mercancías por carretera (el cual ha sido gestionado mejor que los modos alternativos). Por esta razón, se ha considerado la posibilidad de que el ferrocarril perdiera parte de su volumen de transporte si con ello implicaba que los camiones mejoraran sus pesos máximos y sus factores de carga, reduciendo el impacto medioambiental y mejorando su comportamiento económico.

Parece que los valores de la cuantificación de las toneladas-kilómetro traspasadas desde el ferrocarril a la carretera son difíciles de estimar y deberían considerarse con ciertas limitaciones. Se puede asumir que el trasvase de las toneladas-kilómetro desde el ferrocarril a la carretera es una función lineal de los límites de peso máximos permitidos de los camiones por encima del rango de 38,1-44 t. En España, en el periodo 1997 ha habido una disminución de las toneladas-kilómetro del ferrocarril de un 3,2% (desde 11.488 millones en 1997 a 11.116 millones en 2007) coincidente con una proliferación de los vehículos-kilómetro recorridos por los camiones articulados de 38,1-44 t. Se podría asumir que la mayor parte de la pérdida del ferrocarril es achacable al aumento del transporte de mercancías por carretera en vehículos de gran tonelaje. Sin embargo, resulta muy difícil contabilizar el efecto del incremento de la utilización de vehículos de alta capacidad de carretera en el transporte de mercancías por ferrocarril en los últimos años, dada precaria la situación del sector (Vassallo y Fagan, 2007). En este sentido, se hace complicado distinguir la parte de las toneladas-kilómetro perdidas por el sector ferrocarril debido a un trasvase de la carga a la carretera, de las toneladas perdidas debido a una inadecuada gestión del sector (i.e. establecimiento de tarifas poco competitivas, aumento de los costes de operación, etc.) (Vassallo, 2008).

Hay ciertos sectores económicos que critican que los vehículos de gran tonelaje y capacidad podrían perjudicar al objetivo final de establecer una red intermodal eficiente que englobe el transporte por carretera, ferrocarril, marítimo, aéreo y por tubería. Es cierto que a primera vista potenciar el transporte por carretera, de por sí el más utilizado, no parece la mejor opción para compatibilizarlo con el resto de modos de transporte. Sin embargo, es necesario resaltar que la utilización de vehículos de gran tonelaje y capacidad no trata de potenciar el transporte por carretera, sino de hacerlo más eficiente y reducir el número de desplazamientos. Fomentar el tráfico intermodal no evitará que la carretera siga siendo el principal modo de transporte, por lo que cualquier medida para incrementar su eficiencia siempre será bienvenida.

8. ANÁLISIS COSTE BENEFICIO DE LA IMPLANTACIÓN DE LOS MEGATRUCKS EN ESPAÑA: EFECTOS SOCIALES, MEDIOAMBIEN- TALES Y ECONÓMICOS

8 Análisis Coste Beneficio de la implantación de los Megatrucks en España: efectos sociales, medioambientales y económicos.

El capítulo tiene como objetivo presentar un balance antes y después de la hipotética implantación de los camiones de 60 toneladas en las rutas indicadas anteriormente. Los costes del transporte considerados en el balance son los de operación, mantenimiento de infraestructura y externalidades. La utilización de este tipo de mega-camiones está considerada en el Plan Logístico de Transporte de Mercancías (COM, 2007, 607 final).

En los siguientes sub-apartados se desglosará cada una de las partidas de costes del transporte por tipo de vehículo y configuración de Megatruck considerada. Finalmente se comentarán qué factores podrían ser los más sensibles en el establecimiento de estos vehículos. Los Megatrucks, al aportar una capacidad extra de transporte, disminuyen los costes de transporte por tonelada transportada por un efecto de economía de escala. La reducción total de costes dependerá de su nivel de penetración en el mercado. La capacidad extra de carga y la disminución de precios de transporte inducen un mayor tráfico de pesados y cierto trasvase de mercancías desde el ferrocarril. La utilización de mega-camiones implica un efecto positivo al reducir el número de camiones-kilómetro totales y por consiguiente reducir los consumos de energía y externalidades asociadas (accidentes, congestión, contaminación atmosférica y cambio climático).

El balance de los efectos de la implantación de vehículos de mayor volumen y tonelaje en el sistema de transporte de mercancías por carretera y en el transporte de mercancías en España se realiza desde tres perspectivas diferentes: efectos sociales, medioambientales y económicos. De este modo se contempla si para el conjunto de la sociedad española sería bueno introducir este tipo de vehículos o no.

8.1 Costes de Operación

Los costes de operación del transporte, a los que está sujeto cualquier operador de transporte, se dividen en costes directos e indirectos.

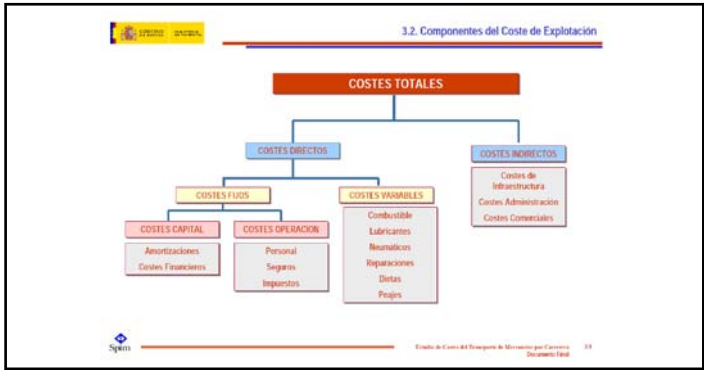
Los costes directos son aquellos que se pueden atribuir directamente a la explotación del vehículo. A su vez se dividen en costes fijos, que son costes “temporales” y no dependen de la actividad del vehículo, y en costes variables, que son costes “kilométricos” y dependen de la actividad del vehículo.

Los costes indirectos son los que necesariamente se producen para el normal funcionamiento de una empresa, pero no son directamente imputables a la explotación de los vehículos. Se pueden dividir en costes de infraestructura de la empresa, costes de administración/gestión y costes comerciales. En los costes de infraestructura de la empresa se tienen en cuenta la amortización y los gastos financieros o alquiler de las instalaciones (naves, oficinas,...) de la empresa, gastos de mantenimiento y seguros de dicha infraestructura. En los costes de administración/gestión de la empresa se contabiliza el personal, los equipos de oficina e informáticos, comunicaciones, etc. Por último, en los costes comerciales intervienen los conceptos de personal y gastos comerciales.

Para la estimación de impactos económicos que el Megatruck puede tener sobre el transporte de mercancías por carretera, se ha llevado a cabo una metodología análoga a la del efecto sobre la infraestructura, comparando los costes de cada una de las diferentes configuraciones del Megatruck con la configuración habitual de 40 toneladas. Para calcular los costes, se han dividido en dos tipos diferentes, los costes directos y los costes indirectos (Estudio de costes del transporte de mercancías por carretera, Fomento 2008).

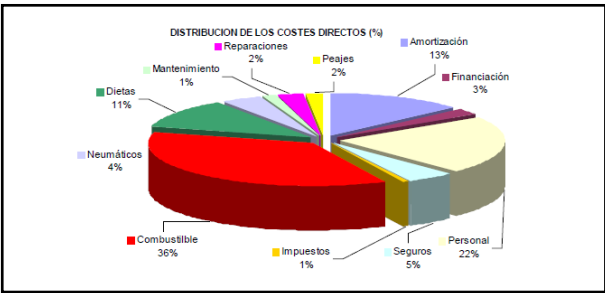
Una forma esquemática de ver estos costes, distinguiendo entre directos e indirectos, es la que se refleja en la figura 8.1.

Figura 8.1 Estructura de costes de la empresa



Los datos referentes a los costes de operación de los vehículos se han obtenido del estudio de costes de mercancías por carretera (Estudio de costes del transporte de mercancías por carretera, Fomento 2008). Si se desglosan los costes directos de operación para el caso de un vehículo articulado de carga general de 5 ejes con un recorrido anual de 120.000 Km (de los cuales 102.000 km son en carga), se puede comprobar cómo el combustible es la mayor partida y representa un 36%, seguido del personal con un 22%. Esta distribución se puede observar en la figura 8.2.

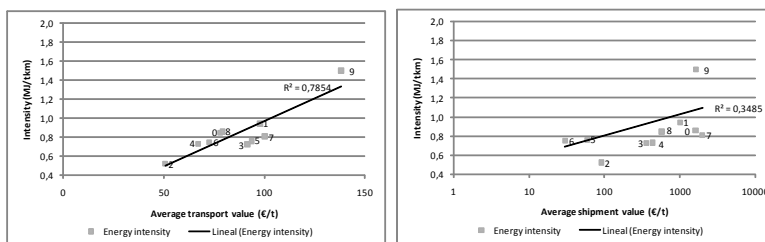
Figura 8.2 Distribución de los costes directos para un camión articulado de carga general



Fuente: SPIM 2008

Es conveniente resaltar que este dato representa un número agregado, y que los costes unitarios de operación dependen de numerosas variables como el tipo de mercancía transportada, vehículo utilizado, distancia de transporte, tiempo y distribución espacial de la cadena de suministro. Así, en la figura 6.6 veíamos como variaban estos costes, disminuyendo a medida que aumentaba la distancia media de transporte como consecuencia de una mejora de la eficiencia energética. El operador de transporte procura llenar mejor el camión cuando el destino final está más lejos. De la misma forma, los costes de operación del transporte, varían para cada tipo de mercancía transportada, aumentando con la intensidad energética del transporte, expresada en mega-julios por tonelada-kilómetro (MJ/t-km). La figura 8.3 muestra una gráfica de dispersión de la intensidad energética de los 9 grupos de mercancías de la Encuesta Permanente de Transporte en función del coste de operación (incluido únicamente el coste del transporte) y del valor intrínseco de la mercancía transportada (con los valores representados en una escala logarítmica para una mayor claridad de la representación). De media, la intensidad energética aumenta con el valor de la mercancía transportada, aunque con una variación considerable en ambos finales del espectro (el análisis de regresión de la intensidad como función del valor por tonelada, de las operaciones de transporte (a) y de la mercancía transportada (b), da una r^2 de 0,785 y 0,348 respectivamente, para los puntos de la figura). Por ejemplo, los productos de alto valor como los manufacturados (138 €/t) presentan una intensidad superior a 1,4 MJ/t.

Figura 8.3. Intensidad energética de las operaciones de transporte por carretera en España, coste medio de operación (€/t, (a)) y valor medio de la mercancía (€/t, (b)), 2006



Nota: La variación en cada ámbito de estudio (intramunicipal, nacional e internacional) es debida a los distintos tipos de mercancías transportadas: 0 productos agrícolas y animales vivos, 1 productos alimenticios y forrajes, 2 combustibles minerales sólidos, 3 productos petrolíferos, 4 minerales y residuos para la refundición, 5 productos metalúrgicos, 6 minerales brutos o manufacturados y materiales de construcción, 7 abonos, 8 productos químicos, 9 máquinas, vehículos, objetos manufacturados y transacciones. Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 2006) y elaboración propia (2010).

La tabla 8.1 muestra los costes de operación del transporte de mercancías por carretera en España para el año 2006 según parámetros del transporte y eficiencia. Así los costes varían en función del tipo de mercancía transportada, vehículo utilizado y parámetros del transporte como el volumen y el consumo energético total. De media en 2006, los costes de operación fueron de 1,12 € por vehículo-kilómetro con carga para el conjunto del transporte de mercancías nacional por carretera.

Tabla 8.1. Parámetros del transporte de mercancías por carretera en España, costes de operación y eficiencia, para todos los alcances logísticos, 2006

Transporte				Costes/valor			Eficiencia	
Capítulo mercancías NSTR (Grupo)	Volumen (10 ⁹ tkm)	Consumo energía (Peta J: 10 ¹⁵ J)	Tipo vehículo carga	Coste operación transporte (€/vkm carga)	Valor medio transporte (€/t)	Valor medio mercancía (€/t)	Eficiencia transporte (tkm/vkm carga)	Intensidad energética (MJ/tkm)
Productos agrícolas y animales vivos (0)	36.531	31,0	Vehículo articulado carga general	1,07	78,06	572,44	13,7	0,85
Productos alimentación y forrajes (1)	40.853	38,5	Vehículo frigorífico articulado+ vehículo cisterna articulado productos alimentación	1,20	97,79	1008,16	12,3	0,94
Combustible minerales sólidos (2)	2.156	1,1	Volquete articulado graneles	1,12	50,70	91,70	22,2	0,52

Productos petrolíferos (3)	5.979	4,3	Vehículo cisterna articulado mercancías peligrosas (gases)+Vehículo cisterna articulado mercancías peligrosas (químicos)	1,46	91,54	360,72	16,0	0,73
Minerales y residuos para refundición (4)	3.181	2,3	Vehículo articulado carga general	1,07	67,14	432,06	15,9	0,73
Productos metalúrgicos (5)	15.839	13,6	Vehículo articulado carga general	1,07	79,19	1605,66	13,5	0,86
Minerales brutos o manufacturados, materiales construcción (6)	53.424	40,0	Volquete articulado graneles	1,12	72,63	30,04	15,5	0,75
Abonos (7)	1.980	1,5	Vehículo cisterna articulado mercancías peligrosas (químicos)	1,43	93,71	59,28	15,3	0,76
Productos químicos (8)	13.996	11,3	Vehículo cisterna articulado mercancías peligrosas (químicos)	1,43	100,11	1979,97	14,3	0,81
Máquinas, vehículos, objetos manufacturados y transacciones (9)	67.819	101,7	Vehículo articulado carga general	1,07	138,10	1620,69	7,7	1,50
(0-9)	241.758	245,5	Todos	1,12	106,33	404,24	11,4	1,02

Fuente: Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera (EPTMC, 2006) y elaboración propia (2010).

Sin embargo, resulta obvio que en esta tabla no estén considerados los costes de operación de los Megatrucks ya que evidentemente en el año 2006 no circulaban por las carreteras españolas.

Para poder conocer los costes de operación de los Megatrucks es necesario realizar una serie de hipótesis. En función de la evolución en los costes que se observa en la EPTMC 2009 dependiendo de la configuración del vehículo, pueden establecerse costes similares a los que se obtendrían en el caso de los Megatrucks.

Un análisis más detallado es el que se indica a continuación, desagregando por completo el esquema de costes y analizando para cada configuración de vehículo los diferentes aspectos que pueden tener influencia en la estructura de estos costes.

La configuración base elegida para la comparación de todos los costes es la de un vehículo articulado de carga general. Consta de cinco ejes (2 ejes corresponderían al tractor y los otros 3 al semirremolque), y se trata de la misma configuración que la elegida para el cálculo de cargas en la infraestructura, con una MMA de 40 toneladas.

8.1.1 Costes Indirectos

En principio los costes indirectos no se verán muy afectados por la introducción de estos vehículos, ya que muchos de los conceptos que se tienen en cuenta en estos costes no tienen por qué variar. Por la disponibilidad de datos del estudio de costes del transporte de mercancías por carretera, los costes indirectos deben tratarse como un agregado de sus tres componentes fundamentales: costes de infraestructura, de administración y comerciales. Por ello el coste para las diferentes configuraciones de Megatrucks se ha considerado el mismo, y se ha obtenido por una extrapolación lineal al comparar la evolución de los costes de una serie de vehículos. Estos vehículos considerados han sido, el vehículo rígido de 2 ejes de carga general (18 Toneladas de MMA), vehículo rígido de 3 ejes de carga general (26 toneladas de MMA), vehículo articulado de 5 ejes de carga general (40 toneladas de MMA) y vehículo articulado portacontenedores de seis ejes (44 toneladas de MMA). Los datos obtenidos son los reflejados en la tabla 8.2. Si bien el coste por vehículo- kilómetro es

superior, el coste de transportar una tonelada es claramente inferior, lo que incide de forma positiva sobre el conjunto de la sociedad.

Tabla 8.2. Costes Indirectos de las diferentes configuraciones de los Megatrucks.

Costes Indirectos	Configuración Habitual	Configuración A	Configuración B	Configuración C
€/Km	0,0737	0,0762	0,0762	0,0762
Diferencia €/Km	0	+0,0025	+0,0025	+0,0025
Diferencia %	0	+ 3,39%	+ 3,39%	+ 3,39%

Fuente: Elaboración Propia

8.1.2 Costes Directos

En el caso de los costes directos, sí que es posible desagregar los componentes de estos costes en diferentes apartados y estudiar el impacto de las diferentes configuraciones de Megatrucks sobre cada uno de ellos en comparación con los costes de la configuración actual. Estos costes son los que más variarán por la introducción de los Megatrucks.

8.1.1.1 Costes Fijos

Es necesario distinguir entre los costes de capital y los costes de operación propiamente dicha. Dentro de los costes de capital, el estudio distingue entre la amortización y la financiación tanto del vehículo (o cabeza tractora) como de los trailer o semitrailer que lleve adosados. Para poder lograr una buena comparativa de los diferentes costes de cada una de las configuraciones de Megatrucks, en vez de hacer proyecciones como en el caso de los costes indirectos, se adaptan los costes a cada configuración concreta. De esta forma, en cada una de las configuraciones de Megatrucks se elige una cabeza tractora y una carrocería de las diferentes configuraciones disponibles dentro del estudio de costes de mercancías por carretera.

En la tabla 8.3 pueden verse los distintos elementos que componen cada una de las configuraciones de los Megatrucks y la configuración concreta de la que se han elegido dentro de las disponibles en el estudio de mercancías por carretera (SPIM, 2008). Igualmente, en la tabla 8.4 se reflejan la comparativa de los costes de capital en Euros totales y en Euros/Km. Para el cálculo del enganche necesario entre el vehículo rígido y el semirremolque en la configuración C, denominado dolly, se ha supuesto un coste de precio neto según tarifa de 32.630 Euros con 8 años de vida útil y un 15% de valor residual. Otro dato importante para los costes es la potencia de las distintas cabezas tractoras. En este caso, se han igualado todas las potencias a 480 CV, y por lo tanto, se ha multiplicado por un factor corrector igual al ratio entre la nueva potencia y la antigua. Evidentemente para estudiar el coste en Euros/Km, los kilómetros totales que recorre cada configuración diferente se han elegido del mismo modo que los elementos de cada una de ellas y están igualmente reflejados en la tabla 8.3. Al elegir diferentes elementos de distintas configuraciones de vehículos, cada uno recorre unos kilómetros totales y unos kilómetros en carga, y por ello el cálculo de Euros/Km de cada configuración de Megatruck no es inmediato. Para poder desarrollar el cálculo, se ha realizado una ponderación de cada elemento como si perteneciese al vehículo del que ha sido obtenido el dato y no como si recorriese los 120.000 Km que se supone que recorrerán cada una de las diferentes configuraciones de Megatruck.

Tabla 8.3. Elementos de las distintas configuraciones del Megatruck

<i>Amortización y Financiación</i>	Conf.Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
<i>Vehículo</i>	Configuración existente en el estudio	Tractor del Vehículo Articulado de Carga General (120.000 Km)	Tractor del Vehículo Articulado de Carga General (120.000 Km)	Vehículo Rígido de 3 ejes de carga General (95.000 Km)
<i>Carrozado</i>		Semirremolque del Vehículo Articulado de Carga General+ Remolque del tren de carretera de 5 ejes	Semirremolque del Vehículo Articulado de Carga General+ Remolque del tren de carretera de 5 ejes	Remolque del vehículo rígido de 3 ejes + enganche de dos ejes (dolly) + Semirremolque del Vehículo Articulado de Carga General
<i>Km Recorridos</i>	120.000	120.000	120.000	120.000

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8.4. Costes de Capital de las diferentes configuraciones de los Megatrucks.

Costes de Capital	Conf. Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
<i>Amortización €</i>				
<i>Vehículo</i>	11.325,22	11.891,48	11.891,48	12.224,55
<i>Carrozado</i>	3.075,60	6.165,83	6.165,83	6.165,83
<i>Financiación €</i>				
<i>Vehículo</i>	2.327,65	2.444,03	2.444,03	2.171,53
<i>Carrozado</i>	603,11	1.152,34	1.152,34	1.152,34
<i>Total €</i>	17.331,58	21.653,68	21.653,68	21.714,25
<i>Total €/Km Recorrido</i>	0,14	0,180	0,180	0,212
<i>Total €/Km En Carga</i>	0,17	0,212	0,212	0,25

Fuente: Elaboración Propia

Los costes de fijos de operación se dividen en tres apartados diferentes: personal, seguros e impuestos. A cada uno de ellos hay que darle un tratamiento diferente. Para los seguros e impuestos, al igual que sucediese con los costes indirectos, se disponen de datos agregados y no desagregados para cada una de las partes del vehículo. Por ello, es necesario hacer una extrapolación lineal para poder obtener estos costes (la extrapolación se realiza de forma análoga a la de los costes indirectos). Sin embargo, en los costes del conductor se ha decidido poner el mismo coste que para los vehículos de mercancía general de 40 toneladas, ya que un conductor de vehículos como los Megatrucks recibiría los mismos incentivos que el del vehículo habitual. Para el cálculo de la relación Euros/Km, en este caso se ha trabajado para todas las configuraciones de Megatruck, con el supuesto de que realizaría 120.000 Km anuales, y un 15% de Km sin carga. En la tabla 8.5 pueden verse estos costes para cada una de las configuraciones estudiadas.

Tabla 8.5. Costes Fijos de Operación de las diferentes configuraciones de los Megatrucks

Costes Fijos de Operación	Conf. Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
Personal	23.522,94	23.522,94	23.522,94	23.522,94
Seguros	5.014,70	5.682,35	5.682,35	5.682,35
Impuestos	665,31	715,66	715,66	715,66
Total €	29.202,95	29.920,95	29.920,95	29.920,95
Total €/Km Recorrido	0,24	0,25	0,25	0,25
Total €/Km En Carga	0,286	0,293	0,293	0,293

Fuente: Elaboración Propia

Como resumen de los costes fijos, en la tabla 8.6 pueden verse los costes fijos expresados en Euros/Kilómetro totales, en carga y los Kilómetros totales y retornos en vacío.

Tabla 8.6. Costes Fijos en Euros/Km de las diferentes configuraciones de los Megatrucks

Costes Fijos	Conf. Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
Total €/Km Recorrido	0,388	0,43	0,43	0,462
Total €/Km En Carga	0,456	0,506	0,506	0,543
Kilómetros	120.000	120.000	120.000	120.000
Retornos en vacío	15%	15%	15%	15%

Fuente: Elaboración Propia

8.1.1.2 Costes Variables

Los costes variables se dividen en combustible, dietas, neumáticos, mantenimiento, reparaciones y peajes. Para poder realizar correctamente el cálculo de los costes variables en Euros/km y en Euros/Km en carga, es necesario dar un tratamiento diferente a cada uno de los componentes de los costes variables.

El cálculo del coste de combustible se ha tomado directamente de las pruebas que se realizaron en el INTA y que se analizan con mayor profundidad en el capítulo siguiente. El resultado de estas pruebas para el combustible fue que un Megatruck con carga consumía un 34,67% más. Sin embargo, tal y como se comprueba posteriormente, el coste por tonelada se ve claramente reducido. El dato para los kilómetros recorridos totales se obtendrá con una ponderación teniendo en cuenta que los retornos en vacío son de un 15%.

Las dietas se han considerado similares al caso del camión de mercancía general de 40 Toneladas. Si el coste del personal es el mismo que el de la configuración más habitual, entonces las dietas deberán ser similares. Recordar en este punto, que tanto las dietas como el coste de personal dependen en mayor medida del tipo de mercancía, y ésta será la misma en el caso del Megatruck que en el del vehículo articulado de carga general de 40 toneladas. Los neumáticos se han tratado de forma particular para cada configuración, ya que no tendrá el mismo desgaste de neumáticos un Megatruck que tenga mayor número de los mismos que otro con menos, ni uno que tenga más ruedas direccionales o motrices que de remolque o semirremolque. En la tabla 8.7, pueden verse los diferentes tipos de vehículo y de neumáticos considerados para cada una de las configuraciones de Megatruck. Igualmente, en la tabla 8.8 están desglosados los costes en Euros/Km de cada una de las diferentes configuraciones estudiadas.

Tabla 8.7 Constitución de los neumáticos de las diferentes configuraciones de los Megatrucks

Neumáticos	Conf. Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
Cabeza Tractora	4x2=4 ruedas tractoras con doble rueda + 2 ruedas direccionales = 6 Ruedas	6x2= 4 tractoras (eje de tracción con doble rueda) + 2 ruedas direccionales + 2 ruedas en el último eje = 8 Ruedas	4x2=4 ruedas tractoras con doble rueda + 2 ruedas direccionales = 6 Ruedas	6x2= 4 tractoras (eje de tracción con doble rueda) + 2 ruedas direccionales + 2 ruedas en el último eje = 8 Ruedas
Semirremolque	3 Ejes x 2 Ruedas = 6 Ruedas	3 Ejes x 2 Ruedas = 6 Ruedas	3 Ejes x 2 Ruedas = 6 Ruedas	3 Ejes x 2 Ruedas = 6 Ruedas
Remolque		2 Ejes x 2 Ruedas = 4 Ruedas	2 Ejes x 2 Ruedas = 4 Ruedas	Enganche 2 Ejes x 2 Ruedas = 4 Ruedas
Totales	12 Ruedas	18 Ruedas	16 Ruedas	18 Ruedas

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8.8 Costes de los neumáticos de las diferentes configuraciones de los Megatrucks

Neumáticos €/Km	Conf. Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
Cabeza Tractora (Direccionales)€/Km	0,006	0,008	0,006	0,008
Cabeza Tractora (Direccionales) €/Km en carga	0,007	0,009	0,007	0,009
Cabeza Tractora (Motrices)€/Km	0,012	0,024	0,012	0,024
Cabeza Tractora (Motrices)€/Km en carga	0,014	0,028	0,015	0,028
Semirremolque €/Km	0,018	0,018	0,018	0,018
Semirremolque €/Km en carga	0,022	0,022	0,022	0,022
Remolque €/Km		0,012	0,012	0,012
Remolque €/Km en carga		0,014	0,014	0,014
Totales €/Km	0,037	0,063	0,049	0,063
Totales €/Km en carga	0,043	0,074	0,058	0,074

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior, para homogeneizar los cálculos, se han realizado en primer lugar los correspondientes a la configuración habitual. Seguidamente, los semirremolques de cada una de las posibles composiciones de Megatruck se han considerado similares a los de la

configuración habitual, por tener tres ejes. Para los remolques, al no tener en la base de datos disponible ningún remolque con dos ejes, se ha multiplicado la relación anterior de los semirremolques por 2/3. Por último, para el cálculo de las cabezas tractoras hay que distinguir cada una de las configuraciones de Megatrucks. En la configuración A y C, al ser una tracción de 6 x 2, se ha considerado el mismo coste que en los vehículos rígidos de mercancía general de 3 ejes, por disponer también de tracciones 6 x 2. En cuanto a la configuración B, al ser una tracción 4 x 2 similar a la existente en la configuración habitual, se ha considerado el mismo coste que en estos vehículos. Ambos cálculos se han realizado igualmente con los retornos en vacío del 15%.

En cuanto al mantenimiento y las reparaciones no parece existir una evidencia clara de relación entre el coste kilométrico y el aumento de peso y/o tamaño de los vehículos. Sin embargo, en todos los tipos de vehículos estudiados se sigue la misma pauta de costes, y es que el mantenimiento representa aproximadamente el 2-3% del total de los costes directos y las reparaciones otro 2-3%. Hay una excepción, el vehículo articulado de carga general, en el que estas proporciones son de un 1% en mantenimiento y un 3% en reparaciones. Este hecho puede ser debido a que es un tipo de vehículo más habitual en las carreteras españolas y por ello sus reparaciones y recambios son frecuentes en talleres, fábricas, etc., y por lo tanto tiene un coste más reducido estos dos apartados. Como la implantación del Megatruck no supondría que fuese el vehículo más utilizado, sino que abarcase una determinada cuota de mercado, la hipótesis desarrollada es que los costes tanto en mantenimiento como en reparación supondrían un 2,5% respectivamente del total de los costes directos. Por último, con los peajes, se ha realizado una extrapolación lineal de los mismos en tres tipos de vehículos diferentes. Los vehículos elegidos para la estimación han sido el rígido de 2 ejes de carga general, rígido de 3 ejes de carga general y el articulado de carga general. Si se observan los diferentes costes en peajes de cada uno de estos tipos de vehículos se puede ver un salto en todos ellos, y por ello, el Megatruck supondría un nuevo salto en la escala. Otro factor a tener en cuenta en el peaje, que también podría ser considerado por medio de los impuestos, es que el posible aumento del coste en mantenimiento de las vías de gran capacidad españolas repercutiese directamente sobre este tipo de vehículos. Esta posibilidad se desarrollará en mayor profundidad en el capítulo siguiente.

Tras el análisis realizado según el proceso descrito en las páginas anteriores, en la tabla 8.9 están todos los costes variables desglosados para cada una de las configuraciones.

Tabla 8.9 Costes Variables de las diferentes configuraciones de los Megatrucks

Costes Variables		Conf. Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
Combustible	€/Km	0,3307	0,4297	0,4297	0,4297
	€/Km En Carga	0,3891	0,5169	0,5169	0,5169
Dietas	€/Km	0,1024	0,1024	0,1024	0,1024
	€/Km En Carga	0,1205	0,1205	0,1205	0,1205
Neumáticos	€/Km	0,037	0,063	0,049	0,063
	€/Km En Carga	0,043	0,074	0,058	0,074
Mantenimiento	€/Km	0,0127	0,0282	0,0287	0,0169
	€/Km En Carga	0,0149	0,0334	0,0340	0,020
Reparaciones	€/Km	0,0225	0,0282	0,0287	0,0169
	€/Km En Carga	0,0265	0,0334	0,0340	0,020
Peajes	€/Km	0,014	0,0158	0,0158	0,0158
	€/Km En Carga	0,0165	0,0186	0,0186	0,0186

Fuente: Elaboración Propia

8.1.1.3 Costes Variables y Fijos

En la tabla 8.10 se puede ver el total de costes variables y fijos que tendrían cada una de las diferentes composiciones de vehículos de transporte de mercancías por carretera estudiados.

Tabla 8.10. Costes Directos de las diferentes configuraciones de los Megatrucks

Costes Directos		Conf. Habitual	Megatruck A	Megatruck B	Megatruck C
Fijos	€/Km	0,388	0,43	0,43	0,462
	€/Km En Carga	0,456	0,506	0,506	0,543
Variables	€/Km	0,519	0,699	0,687	0,677
	€/Km En Carga	0,611	0,831	0,816	0,805
Totales	€/Km	0,9071	1,129	1,117	1,138
	€/Km En Carga	1,0672	1,337	1,322	1,348

Fuente: Elaboración Propia

8.1.3 Costes totales de Operación

En la tabla 8.11, se pueden comparar los costes totales de operación, tanto indirectos como directos, en los que incurrirían las diferentes configuraciones de Megatruck y la configuración habitual. Igualmente se reflejan las diferencias porcentuales en costes de operación y las diferencias en la carga que puede transportar cada uno de todos los modelos estudiados. Los mega-camiones, dependiendo de la configuración considerada, presentan unos costes de operación unitarios superiores un 20% a la configuración habitual. Sin embargo, los costes más importantes en el transporte de mercancías, los costes por Tonelada – Km, son claramente inferiores en más de un 22%, y es aquí donde se presenta uno de los mayores beneficios tanto sociales como económicos y ambientales para los Megatrucks.

Tabla 8.11 Costes Totales de las diferentes configuraciones de los Megatrucks

Costes de Operación	Configuración Habitual	Configuración A	Configuración B	Configuración C
Indirectos€/Km	0,0737	0,0762	0,0762	0,0762
Directos €/Km	0,9071	1,129	1,117	1,138
Totales	0,9808	1,205	1,193	1,215
Diferencia€/Km	0	0,224	0,212	0,234
Diferencia %	0	22,88 %	21,63 %	23,85 %
Capacidad de Carga Ton.	25 Toneladas	40 Toneladas	40 Toneladas	40 Toneladas
Diferencia de carga Ton.	0	15 Toneladas	15 Toneladas	15 Toneladas
Diferencia de carga %		+ 60%	+ 60%	+60%
€/Ton - km	0,0462	0,0354	0,0351	0,0357
Diferencia €/Ton - km	0	- 0,0107	- 0,0111	- 0,0104
Diferencia % €/Ton - km	+ 0%	- 23,19%	- 23,98%	- 22,59%

Fuente: Elaboración Propia

En el capítulo 9 se analizarán todos estos datos con mayor profundidad desde el punto de vista empresarial, y no del conjunto de la sociedad. Igualmente se incluirán las pruebas realizadas en el INTA.

8.2 Costes de mantenimiento y conservación de infraestructuras

La tabla 8.12 recoge los costes de mantenimiento y conservación de las infraestructuras de carretera, por kilómetro lineal de vía, dependiendo del tipo de vehículo pesado que las transita. En las estimaciones de los costes se ha considerado que las infraestructuras son transitadas únicamente por un tipo de vehículo pesado y que son estos vehículos los mayores causantes del deterioro del firme.

Se ha calculado el desgaste del firme para el vehículo convencional de transporte de mercancías de 40 toneladas que se utiliza en la actualidad, así como el desgaste correspondiente a las tres configuraciones de mega-camiones consideradas en este estudio. En las estimaciones se considera que los camiones actuales tienen dos ejes en la cabeza tractora y los Megatrucks 2 ó 3 ejes dependiendo de la configuración elegida. La utilización de los camiones actuales conlleva un coste de mantenimiento de 69.940 Euros por kilómetro lineal de vías de gran capacidad, inferior al coste total de los Megatrucks (72.830-78.050 Euros/ Km), dependiendo de la configuración considerada. Sin embargo, el coste por tonelada transportada en el caso de Megatrucks es claramente inferior al de la configuración habitual.

Tabla 8.12 Costes de mantenimiento y conservación de las carreteras en función del tipo de vehículo pesado que las utiliza

Costes en conservación de infraestructuras	Habitual	Conf. A	Conf. B	Conf. C
Costes por km de vía construida (€/km)				
TOTAL (€/ Km)	69.940	73.063	78.054	72.830
Costes por vehículo-km recorrido				
Coste unitario (€/km)	0,049	0,052	0,055	0,0519
Diferencia coste unitario (%)	0,0	+6,12	+ 12,24	+5,91

Fuente: Elaboración propia.

Estos costes de mantenimiento se han calculado para una IMD de pesados de 3.839. Se ha considerado un firme de referencia que se agota con el paso de 1 Millón de ejes de 13 Toneladas. Sin embargo, estos costes de mantenimiento unitarios de 0,049-0,055 € por vehículo-kilómetro recorrido, son estimados en el caso de que un único tipo de vehículo pesado fuera utilizado. En la realidad no ocurriría esto y los costes de mantenimiento unitarios variarían con la composición de la IMD de pesados. Únicamente un porcentaje de la IMD de pesados correspondería a los mega-camiones. Por lo tanto, tras la introducción de los Megatrucks hay que ver cómo varía esta composición en los distintos corredores estudiados. Para el cálculo del Análisis Coste Beneficio se asignará un coste de mantenimiento 0 a todos los vehículos pesados, excepto para los Megatrucks y los articulados de 38 – 44 oneladas.

8.3 Costes externos

Los costes externos son difíciles de cuantificar, como demuestra la gran variabilidad de las estimaciones recogidas en otros estudios europeos. Recientemente, Vassallo et al. (2011) han estimado los costes externos en el transporte de mercancías por carretera en España (tabla 8.13). Dichos costes varían en función de la partida de costes (ruido, accidentes, contaminación, etc.), así como de las condiciones de operación (tipo de vehículo utilizado, velocidad de circulación, existencia de congestión, etc.) y escenario considerados (mínimo,

máximo y más probable). En el escenario de mayor probabilidad, el cual recoge las condiciones medias de operación del sector transporte de mercancías, el transporte de mercancías por carretera en España viene a generar unos costes externos de **0,19 €** por vehículo kilómetro recorrido con carga. Esta cantidad se ve incrementada hasta **0,30 €** si se considera la congestión en las vías de circulación españolas. Estos costes medios tienen unos coeficientes de variación muy altos, cercanos al 90%, demostrando la existencia de un alto grado de variabilidad, como consecuencia de depender de numerosos parámetros y variables.

Tabla 8.13 Costes medios externos del transporte de mercancías por carretera en España (2008)

Costes (€/veh-km con carga)	Min.	Más probable	Max.
Ruido	0,00	0,01	0,02
Accidentes	0,00	0,03	0,03
Contaminación atmosférica	0,06	0,08	0,21
Cambio climático	0,01	0,02	0,04
Congestión	0,00	0,11	0,78
Procesos aguas-arriba y aguas-abajo	0,01	0,03	0,07
Naturaleza y paisaje	0,00	0,01	0,01
Suelo y contaminación acuática	0,00	0,01	0,01
TOTAL	0,08	0,30	1,17
TOTAL sin congestión	0,08	0,19	0,39

Fuente: Vassallo et al. (2011)

Los costes medios unitarios recogidos en el estudio de Vassallo et al. (2011), reflejan la situación actual del transporte de mercancías español, en cuanto a condiciones de circulación y tipología de vehículos utilizados se refiere. La utilización de Megatrucks en una parte del transporte modificaría los valores de la tabla anterior ligeramente, al presentar este tipo de camiones externalidades distintas a los camiones convencionales. Así, los mega-camiones tienden a consumir casi un 35% más de combustible por kilómetro con carga recorrido, y consiguientes emisiones asociadas, que los camiones convencionales. Debido fundamentalmente a este mayor consumo de combustible, las externalidades producidas por kilómetro recorrido se incrementarían en torno a un **40%** (35% consecuencia del aumento de las emisiones de contaminantes y CO₂, y 5% debido al aumento de los costes de seguridad vial dirigidos al control de la accidentalidad). Sin embargo, en este cómputo no se considera la variación de los costes externos asociados a la congestión. Estos costes son menores en los Megatrucks, como consecuencia de la reducción de vehículos-kilómetro asociados a la utilización de vehículos de altas prestaciones. Estos costes de **congestión** son de **0,11 €** por vehículo-kilómetro recorrido.

Dentro de todas las externalidades, dos de ellas tienen que analizarse de forma particular, a pesar de haber sido comentadas someramente en el párrafo anterior. Son la incidencia sobre la seguridad vial y la congestión.

La primera de ellas es una posible disminución de la seguridad vial que se tradujese en un aumento de accidentes en las carreteras españolas. La seguridad vial depende de muchos factores como la geometría de la vía, el estado del firme o pavimento, la señalización, la existencia de radares, programas de sanciones por conducción temeraria, etc. y no únicamente de la composición del tráfico. Además, según lo visto por las diferentes investigaciones en el capítulo 3, no parece existir ningún tipo de evidencia empírica entre el aumento del número de accidentes y la circulación de Megatrucks en las carreteras. Más bien las experiencias internacionales indican dos tendencias en la seguridad vial tras la introducción

de los Megatrucks; una reducción del número de accidentes y una mayor mortandad en los accidentes producidos. Por todo ello, parece lógico contemplar un escenario conservador sobre la repercusión de la seguridad vial tras la introducción de Megatrucks. El aumento de un 5% del coste de seguridad vial, se puede considerar más negativo que la evidencia existente en otras experiencias.

La segunda de estas externalidades es la congestión. Los Megatrucks tendrían una serie de restricciones en la circulación como son la entrada a las ciudades, circular en las operaciones especiales de salida/retorno en los periodos vacacionales, en las puntas de los fines semana, etc. Básicamente circularían entre puertos y nodos logísticos del país, y lo harían fuera del horario de desplazamientos masivos de los vehículos ligeros. Además hay que tener en cuenta a la hora de calcular la congestión que para desplazamientos interurbanos por carretera tanto en el caso de mercancías como en el de viajeros realizados fuera de los periodos punta, existe una clara sobrecapacidad en las carreteras españolas, que se traduce en unos buenos niveles de servicio y una ausencia de congestión. Por estos motivos, no se considera en el estudio una disminución de la congestión.

8.4 Balance del Megatruck

En este apartado se realiza un análisis coste beneficio del resultado de implantación de los distintos escenarios considerados: configuración A, B y C del Megatruck. Para ello se comparan los costes obtenidos en cada escenario de sustitución y trasvase parcial de mercancía con los costes del escenario 0 (sin trasvase de mercancía a camiones de altas prestaciones). En el cálculo se considerarán niveles medio – altos de trasvase de carga desde la carretera. En cuanto al trasvase de mercancías desde el ferrocarril es necesario tratarlo de forma individual.

Como paso previo al análisis coste beneficio (ACB), hay que considerar los vehículos-km ahorrados en cada escenario de sustitución, según las hipótesis y parámetros de cálculo considerados (tablas 7.3, 7.4 y ecuaciones 4-8). Como se veía en el capítulo 7, en el escenario medio de sustitución de carga se ahorran 584 millones de vehículos kilómetro, en cualquiera de las 3 configuraciones del Megatruck. Estas estimaciones varían dependiendo del nivel de trasvase de la carga desde el propio sector de transporte de mercancías por carretera (en % de los vehículos-km trasvasados) y desde el sector ferroviario (expresado en % de las toneladas-km trasvasadas).

En el ACB se van a considerar unos niveles medio-altos de trasvase de carga. De esta forma, solamente en los corredores donde se permitan los Megatrucks, un total del 12% de los vehículos serán Megatrucks. Los factores de migración considerados son de un 57% para los vehículos articulados de más de 32 Toneladas y de un 90% para los rígidos de más de 26 Toneladas. El resto de Megatrucks hasta el 12 % del total de vehículos corresponde con la demanda inducida, que es de un 10% dentro de los Megatrucks y del 9% sobre el total de Megatrucks. Se trata de unos niveles realistas considerando el nicho de mercado potencial de los Megatrucks (restringido a los corredores de alta capacidad de transporte de mercancías indicados en la tabla 7.1 y figura 7.2) y la evolución en los últimos años del sector transporte de mercancías por carretera.

La tabla 8.14 resume el transporte modal de mercancías en España tras la potencial implantación de los Megatrucks en ciertas autovías y autopistas. En las tres configuraciones de mega-camión se ahorrarían 8,2% de vehículos-km (recordar en este punto, que ese ahorro se daría solamente en los corredores en los que estuviese permitida la circulación de Megatrucks). En la tabla 8.14 se recogen también los parámetros utilizados en la estimación de los vehículos-kilómetro ahorrados de acuerdo a las ecuaciones (4-8) del apartado 7: longitud máxima, carga máxima permitida (CMP), ratio CMP, proporción de carga no sujeta a restricciones de peso y factor de carga. En la estimación de los vehículos-kilómetro ahorrados, se ha mantenido constante la proporción de carga no sujeta a restricciones de peso (0,286) en todos los escenarios. La carga máxima permitida (CMP) de las operaciones de transporte como el ratio entre la CMPs se han incrementado por encima del 50% respecto al escenario base.

Tabla 8.14 Parámetros de estimación de los vehículos-kilómetro ahorrados (ecuaciones 1-5)

	Camión convencional	Mega-camión		
	Escenario 0 (sin trasvase)	Conf. A	Conf. B	Conf. C
Longitud camión máximas prestaciones (m)	16-18,75	25,25	25,25	25,25
Carga máxima permitida- CMP camión máx. p. (t)	38,1-44	60	60	60
Ratio CMP mega-camiones/ CMP vehículos trasvase	1,00	1,54	1,54	1,54
Veh-km con carga/total inicial (10^6 veh-km)	25.487	25.487	25.487	25.487
Proporción de carga no sujeta a restricciones de peso	0,286	0,286	0,286	0,286
Elasticidad precios operación	0,012	0,012	0,012	0,012
Factor de carga (t-km/veh-km con carga)	13,6	15,0	15,0	15,0
Veh-km con carga finales (10^6 veh-km)	25.487	23.397	23.397	23.397
Cambio en cada corredor que se permita el Megatruck veh-km (%)	0,00	-8,2	-8,2	-8,2

Fuente: Elaboración Propia

Las hipótesis consideradas en la estimación de los vehículos-kilómetro ahorrados de un 8,2 %, no parecen ser irracionales, por lo que representan un escenario realista. Aunque hay algunos datos que podrían cambiar ligeramente. Así, la proporción de cargas no sujetas a restricciones en peso, podría aumentar al incrementarse la capacidad de los vehículos utilizados. La proporción de kilómetros recorridos con carga limitados por restricciones de carga **en peso** podría disminuir con el paso de los años como consecuencia del aumento de las cargas máximas permitidas. Contrariamente, tal como se ha observado en capítulos anteriores, la proporción de kilómetros recorridos con carga limitados por restricciones de carga **en volumen** podría aumentar, al igual que la proporción de kilómetros recorridos con carga limitados por restricciones simultáneas de carga **en peso y volumen**.

De la misma forma, los vehículos-kilómetro con carga migrados a los camiones de altas prestaciones desde otros vehículos, son los mismos en los tres tipos de Megatrucks. En estas hipótesis de estimación, la utilización de distintos tipos de vehículos (Megatrucks o habituales) induciría una demanda de tráfico distinta, al depender esta última de la elasticidad de los precios medios de operación del transporte en relación con la distancia de transporte (η , ecuación 2). Esta elasticidad se ha considerado constante en todos los escenarios (0,012), al igual que la proporción de carga no sujeta a restricciones de peso (0,286).

En la tabla 8.15, pueden verse los costes unitarios, consumos y eficiencias ambientales asociados a cada una de las configuraciones de Megatrucks y del camión habitual.

Tabla 8.15 Costes unitarios, consumos y eficiencia medioambiental de las distintas configuraciones de vehículos de altas prestaciones: camión convencional y megatruck (2008)

	Camión convencional	Mega-camión		
	Actual	Conf. A	Conf. B	Conf. C
Costes operación (€/veh-km)	0,9808	1,205	1,193	1,215
Costes mantenimiento infraestructuras (€/veh-km)	0,049	0,052	0,055	0,0519
Costes externos (€/veh-km)	0,190	0,270	0,270	0,270
Consumo medio de combustible (l/km)	0,389	0,517	0,517	0,517
Factor de emisión veh. de CO ₂ (gCO ₂ /km)	1.029,1	1.367,87	1.367,87	1.367,87
Factor de emisión veh. de NO _x (gNO _x /km)	27,1	36,01	36,01	36,01
Factor de emisión veh. de PM (gPM ₁₀ /km)	0,9	1,2	1,2	1,2

Fuente: Elaboración propia

Los datos presentados en las tablas finales del capítulo 7, son hipotéticos en caso de que los Megatrucks se implantasen en toda la red de carreteras españolas. Sin embargo, ésta no es una hipótesis realista pues las vías por las que circularían este tipo de vehículos estarían limitadas a los corredores de mayor importancia. A pesar de esta salvedad, el desarrollo de esta metodología no ha sido en vano por dos motivos. El primero de ellos, es que el impacto de este tipo de vehículos solamente puede tratarse a nivel agregado nacional, ya que todas las metodologías existentes en diversos países así lo han hecho, y el desarrollo de una metodología específica sería muy complicado y sometido a muchos factores. El segundo, es que nos permite conocer una serie de variables fundamentales, con las que se podrá aplicar el ACB a los corredores específicos. Estas variables son la IMD de vehículos pesados, los vehículos ahorrados y la demanda inducida, para los escenarios de antes y después de la entrada en servicio de estos vehículos. Con estas tres variables, junto con los diferentes costes asociados a cada tipo de vehículo, se puede evaluar la pérdida o ganancia de bienestar social con la implantación de los Megatrucks en los diferentes corredores. En la tabla 8.16 hay una distribución en tanto por mil de vehículos pesados antes y después de la implantación de los Megatrucks.

Tabla 8.16. Distribución de los vehículos antes y después del Megatruck.

Tipo de Pesado	Distribución de vehículos	
	Antes	Después
Rígidos		
< 10 Ton.	54	54
10 - 13,5 Ton	66	66
14,1 - 18 ton	58	58
18 - 24 Ton	44	44
24 - 26 Ton	3	3
> 26 Ton	5	1
Articulados		
< 10 - 32 Ton	438	438
32, 1 - 38 Ton	245	106
38,1 - 44 Ton	87	38
Megatrucks	0	100
Megatrucks inducidos	0	10
IMD TOTAL	1000	918
Ahorro de vehículos	8,2%	

Fuente: Elaboración Propia

Una vez conocida la distribución de los tipos de vehículos pesados antes y después de la implantación de los Megatrucks, el siguiente paso es conocer los costes de cada una de las configuraciones de vehículos. En la tabla 8.17 están los diferentes costes considerados para cada una de las configuraciones de vehículos que se ven afectadas tras la implantación de los Megatrucks. La diferencia con los datos de la tabla 8.15, en la que también se daban costes de operación, estriba en que en el ACB, los impuestos y peajes son considerados transferencias de riqueza por lo que se han eliminado en todas las configuraciones. En cuanto al aumento del coste de los seguros ocurre exactamente igual, pues deberían contabilizarse si midiésemos el aumento o disminución de la accidentalidad en las vías. Sin embargo, este término ya ha sido contabilizado por medio de los costes externos. En cuanto al coste de congestión no se ha considerado en ninguno de los escenarios del análisis, por el tipo de regulación a la que estaría sujeto este tipo de vehículos.

Tabla 8.17. Costes para el ACB

Diferentes costes	Camión convencional			Mega-camión		
	Rígido	Articulado		Conf. A	Conf. B	Conf. C
	> 26 Ton	32, 1 -38 Ton	38, 1 - 44 Ton			
Costes operación (€/veh-km)	0,884	0,901	0,919	1,1361	1,1238	1,1455
Costes operación (€/ton-km)	0,065	0,053	0,0433	0,0334	0,0330	0,0336
Costes mantenimiento infraestructuras (€/veh-km)	0	0	0,049	0,052	0,055	0,0519
Costes mantenimiento infraestructuras (€/ton-km)	0	0	0,0023	0,0016	0,0017	0,0016
Costes externos (€/veh-km)	0,14	0,17	0,19	0,27	0,27	0,27
Costes externos (€/ton-km)	0,0103	0,01	0,0089	0,0079	0,0079	0,0079

Fuente: Elaboración Propia

Para el análisis se han realizado una serie de consideraciones. De esta forma, los €/ ton- km se han obtenido una vez conocidos los €/ veh-km, considerando retornos en vacío del 15% para el caso de las configuraciones habituales y del 15% para los Megatrucks. Además cuando circulan con carga lo hacen completamente cargados, lo que supone cargas de 16, 20 y 25 Toneladas para las configuraciones actuales y de 40 Toneladas para los Megatrucks. Dependiendo del tipo de coste, la comparativa no puede hacerse igual en todos los casos. Así, para los costes de operación, el ACB se ha realizado considerando el coste en €/ ton-km ya que no tendrá el mismo coste un vehículo cargado que uno sin carga; el gasto en combustible y el desgaste de los neumáticos lo justifican. Con las externalidades sucede exactamente lo mismo debido a la diferencia de consumo de combustible. Sin embargo, para el mantenimiento de las infraestructuras se ha considerado el coste en €/ veh- km porque hay muchas partidas de este coste que varían circule o no el vehículo cargado, como la gestión en túneles o las barreras de seguridad.

Las toneladas – km totales en cada una de las vías de gran capacidad antes y después de los Megatrucks se han obtenido multiplicando:

$$\text{Vehículos} \times \text{Toneladas/Vehículo} \times \text{Km recorrido} \times (1 - \text{Retornos en vacío}) \quad [9]$$

En cuanto a los vehículos – km totales se han obtenido multiplicando:

$$\text{Vehículos} \times \text{Km recorridos.} \quad [10]$$

Aplicando los diferentes costes señalados, la distinta composición de la IMD de pesados y teniendo en cuenta que la demanda inducida es un factor positivo para la sociedad, el resultado final del ACB es el siguiente:

Tabla 8.18 Resultado del ACB

Millones de Euros	Configuración del Mega-camión		
	A	B	C
Costes Escenario Actual	-3.808,67	-3.808,67	-3.808,67
Costes	-3.168,5	-3.136,45	-3.154,54
Demanda Inducida	17,94	19,53	18,63
Balance Social	658.11	691.75	672.97

Fuente: Elaboración Propia

En el ACB no se ha considerado una evolución de la IMD de pesados desde la situación actual hasta la final, ni se ha realizado el análisis en un número determinado de años. Se ha desarrollado una comparación de la situación actual, que tiene una composición de pesados que evoluciona ya lentamente, con la futura tras la implantación y consolidación del tráfico de los Megatrucks en las carreteras españolas en las que se permitirían (figura 7.2). Se trata por lo tanto de un análisis anual, y el resultado evaluado en una mayor cantidad de años, es claramente positivo para la sociedad. Por ejemplo, si este escenario fuese el existente en un plazo medio – largo de **15 años**, los **beneficios** sociales serían en el peor de los casos de **9.871 millones de Euros**; es decir, casi 10.000 millones de Euros, o lo que es lo mismo, un **1% del PIB** en la actualidad. Evidentemente, si los recorridos en los que estuviese permitida la circulación de Megatrucks se ampliasen, el beneficio sería aún mayor. Este escenario de ampliación de recorridos, sería igualmente realista si tras un proyecto piloto con Megatrucks el resultado obtuviese los grandes beneficios esperados por el estudio.

Además tampoco se ha tenido en cuenta un posible coste para la sociedad. Es la adaptación de las estructuras a las nuevas cargas. Conforme se ha analizado en el capítulo correspondiente, no sería necesario adaptar los puentes a cargas de 60 toneladas siempre y cuando el ancho de su tablero sea superior a 12 metros. En cualquier caso sí que se necesitaría un estudio más detallado de los puentes, y puede que fuese necesario reforzar alguno. Otro tipo de inversión es la adaptación de las flotas de vehículos. Sin embargo, ya ha sido tenido en cuenta por medio de la amortización y financiación de estos equipos en los costes de operación.

Dicho de otra forma, los posibles refuerzos de los puentes y constitución de nuevas flotas, podrían suponer una vez consolidado el tráfico **aproximadamente 700 millones de Euros anuales** y la sociedad española seguiría viéndose beneficiada. En el hipotético escenario de que fuese necesario algún tipo de inversión (por ejemplo refuerzos de puentes, mejora de firmes, etc.), una cantidad superior a **6.500 millones de Euros**, se vería amortizada en solo 10 años.

Como se puede observar, en caso de no incluir ningún tipo de coste más, los **beneficios** para el conjunto de la sociedad serían de aproximadamente un **0,07% del PIB cada año**.

Si se realiza una desagregación de los efectos medioambientales de la medida, la ganancia medioambiental es llamativa. Por ejemplo, se dejarían de emitir anualmente a la atmósfera una cantidad de **305.781 Toneladas de CO₂**, **8.057 Toneladas de NOx** y **254 Toneladas de PM₁₀**.

8.5 Factores sensibles en la implantación de los Megatrucks

De los resultados obtenidos en las estimaciones a través de los datos empíricos de la EPTMC se pueden identificar 4 factores determinantes que merecen un análisis aparte: el **lapso de tiempo** que pasa hasta que las operaciones de transporte se ajustan completamente a las nuevas limitaciones de peso, el efecto de **inducción**/generación de **tráfico** nuevo (como consecuencia de la disminución de los costes de operación por un efecto escala), el **trasvase** de mercancías **desde el ferrocarril** a la carretera (resultado de los nuevos precios de las operaciones de transporte por carretera) y los **cambios en el régimen de gravamen a la circulación** de los vehículos comerciales en los próximos años.

8.5.1 Lapso/escala temporal

Ante la implantación de los Megatrucks, parece obvio que uno de los elementos más sensibles del análisis será el tiempo hasta que las flotas de vehículos alcancen la proporción prevista en el estudio. De esta forma, una consolidación o renovación rápida de las flotas haría que se alcanzase el beneficio previsto con antelación. Los distintos factores de migración utilizados para los vehículos-kilómetro totales migrados a los Megatrucks, se pueden proyectar hacia un futuro, más o menos cercano, hasta alcanzarse un impacto total de los camiones de mayores prestaciones en peso. Los datos de la EPTMC sugieren que la migración de mercancías con restricciones en peso a los camiones de límites de peso mayores puede seguir continuando los próximos años, como indica el hecho de que en 2008 se alcanzó *“únicamente”* un coeficiente de migración del 5%. Es difícil conocer hasta cuándo puede continuar el proceso de consolidación de cargas en camiones de alto tonelaje. Si continuamos con la tendencia indicada anteriormente, de camiones-kilómetros ahorrados en el periodo 2003-2008, en 2020 se podrían alcanzar los 237,1 millones de vehículos-kilómetros ahorrados. En cualquier caso, dependerá de la adaptación de las empresas de transporte de mercancías por carretera.

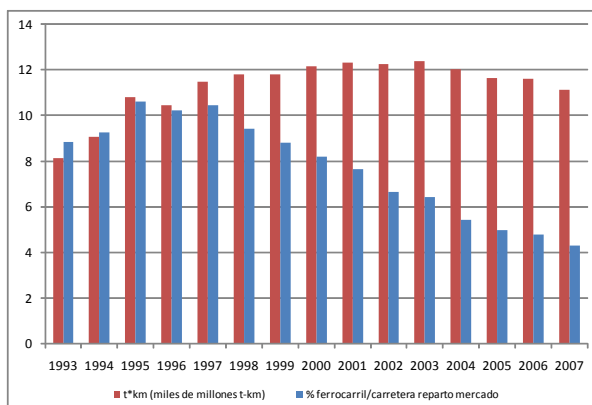
8.5.2 Tráfico inducido/generación de tráfico

El estudio contempla la posibilidad de que las reducciones de los costes de operación del transporte, por el uso Megatruck, puedan inducir una demanda adicional de transporte de mercancías. Entre 1997 y 2008, los vehículos-kilómetro recorridos con carga aumentaron desde 13.652 millones a 25.450 (Ministerio de Fomento, 2009), y además este crecimiento anual del 5,8% ha estado muy por encima del crecimiento histórico medio experimentado desde 1980 hasta 1997 (inferior al 3%). Los vehículos-kilómetro recorridos con carga por los camiones de mayor tonelaje (mayores de 38 t en peso) aumentaron anualmente un 14,2%, muy por encima de la media histórica que apenas llegaba al 2,5%. Entre 1997 y 2008, los vehículos-kilómetro anuales recorridos por estos vehículos se incrementaron en 156 millones por año. Esta demanda inducida es positiva para la sociedad y representa aquellas toneladas o vehículos que antes de la entrada de los Megatrucks no se desplazaban porque su coste era alto y entonces no podían verse beneficiados. Sin embargo, la reducción de costes por tonelada con el Megatruck hace que esta situación pueda ser diferente y beneficiosa para el conjunto de la sociedad.

8.5.3 Trasvase modal

Otro de los elementos más sensibles puede ser el trasvase de mercancías desde el transporte ferroviario al transporte por carretera. Sin embargo, debido a la actual diferencia entre ambos modos de transporte, la influencia sobre la distribución final de mercancías sería mínima. Un ejemplo de ello es que entre 1997 y 2007 el ferrocarril ha pasado de transportar 11.488 millones de t-km a 11.116 y su reparto respecto a la carretera ha pasado del 10,5% al 4,3% del total del transporte terrestre de mercancías (figura 8.4) (Ministerio de Fomento, 2008; RENFE, 2008). Algunos hechos que pueden explicar este descenso ferroviario pueden ser el aumento de masa máxima de los camiones, la diferencia de costes, la calidad y fiabilidad del servicio ofrecida, la velocidad comercial, etc. En definitiva, la mayor parte de las posibles explicaciones parecen estar más relacionadas con el tipo de gestión empresarial que con otros motivos que también pueden influir.

Figura 8.4. Tendencia de las toneladas kilómetro transportadas en ferrocarril y reparto modal del mercado, 1993-2007



Fuente: Los transportes y servicios postales y RENFE, 2008

8.5.4 Cambios en la fiscalidad de los vehículos comerciales

Recientemente la U.E. ha acordado la revisión de la Directiva Euroviñeta. En esta revisión se establece que con el objetivo de compensar los costes de congestión y contaminación los vehículos pesados deben pagar una tasa por kilómetro recorrido. El gobierno Español rechazó firmemente este texto, que tendrá que ser aprobado en el Parlamento de la U.E. y parece que los países tendrán libertad para aplicar o no esta tasa. Se trata de una tasa muy controvertida y polémica para el sector.

Evidentemente el establecimiento de esta tasa incrementaría los costes de operación de los Megatrucks, al igual que los del resto de vehículos pesados, y sería necesario fijar una cuantía que no perjudicase al conjunto de la sociedad.

Un análisis de la evolución de la fiscalidad, muestra que los costes fiscales anuales de los camiones se redujeron en 2006 respecto a 2001 al igual que los diferenciales de los costes fiscales entre las distintas clases de vehículos según su peso máximo autorizado y tipo de carga transportada (tabla 8.20). Cabe destacar los costes fiscales de los camiones de gran tonelaje (44 t y 6 ejes) que se igualan a los costes de los vehículos articulados de carga general. Estos últimos han aumentado de media su peso máximo de 26 t (16 t carga) a 40 t (25 t) sin que se haya traducido en un incremento de los costes fiscales (pasamos de 689 € en 2001 a 684 en 2006). Según la fiscalidad actual, no existe diferencia alguna entre los impuestos gravados a los camiones de carga general de 44 toneladas y 6 ejes y los de 38-40 t y 5 ejes. La diferenciación fiscal en España se hace de acuerdo con el tipo de mercancía transportada, por lo que se gravan más los vehículos de mercancías peligrosas (especialmente el transporte de productos gaseosos).

Tabla 8.19 Evolución de los costes fiscales anuales de distintos tipos de camiones articulados (€ por año, precios constantes 2001)

Tipo de vehículo	Peso Máximo Autorizado (PMA)	2 ejes tractor/3ejes semirremolque	Peso Máximo Autorizado (PMA)	2 ejes tractor/3ejes semirremolque	3 ejes tractor/3ejes semirremolque	3 ejes tractor/3ejes semirremolque
Año		2001		2006	2001	2006
Vehículo articulado carga general	26 t (16 t carga)	689	40t (25 t carga)	684	–	–
Vehículo frigorífico articulado	40 t (24 t carga)	737	40t (24 t carga)	702	–	–
Volquete articulado graneles	40 t (24 t carga)	718	40t (24 t carga)	684	–	–
Vehículo cisterna articulado mercancías peligrosas (gases)	40 t	1246	40 t	1187	–	–
Vehículo cisterna articulado mercancías peligrosas (químicos)	40 t	1091	40 t	1039	–	–
Vehículo cisterna articulado productos alimentación	40 t	873	40 t	832	–	–
Vehículo cisterna articulado productos pulverulentos	40 t	718	40 t	684	–	–
Porta-vehículos (tren carretera)	40 t (4 ejes)	718	40 t (4 ejes)	684	–	–
Tren de carretera	40 t (5 ejes)	718	40 t (5 ejes, 23,5 t carga)	684	–	–
Vehículo articulado portacontenedores	44 t (6 ejes, 29 t carga)		44 t		718	684
Volquete articulado de obra	38 t (4 ejes, 23 t carga)	718	38 t (4 ejes, 23 t carga)	684	–	–

Fuente: Observatorio de costes del transporte de mercancías, Ministerio de Fomento (2008). Nota: Los costes fiscales anuales incluyen los visados, inspección técnica de vehículos (ITV), impuesto sobre actividades económicas (IAE), impuesto de vehículos de tracción mecánica (IVTM) y revisión tacógrafo.

9. EL MEGATRUCK AL DETALLE

9 El Megatruck al detalle

En un estudio como el presente, realizado a partir de la evolución reciente de la movilidad de las mercancías en España, resulta muy enriquecedor poder tener datos completamente fiables sobre las estimaciones realizadas.

9.1 Pruebas en el INTA

El día 3 de Marzo de 2011 se realizaron durante toda la mañana una serie de ensayos en las pistas del INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial). Las pruebas que se hicieron fueron tres. Con ellas se trataba de analizar consumos y adelantamientos, dinámica longitudinal (aceleración y frenado) y una parte de dinámica lateral (maniobrabilidad). Se hicieron con dos configuraciones distintas de vehículos; una correspondiente a un Megatruck de 60 toneladas y la otra a un camión habitual de 40 toneladas. Las medidas de ambos vehículos excedían en 30 cm de longitud lo establecido en el estudio (25,25 m y 16,50 – 18,75 m respectivamente era lo previsto por el estudio) debido a una mayor longitud de la cabeza tractora. Sin embargo, esta pequeña salvedad no afectó significativamente a los resultados. Con los ensayos se trataron de encontrar las diferencias existentes entre un camión de 60 toneladas y uno de 40 toneladas. En la imagen inferior está el equipo de personas que fueron a las citadas pruebas.

Ilustración 9.1. Participantes en las pruebas en el INTA



Desde la Fundación Francisco Corell, nos gustaría expresar el agradecimiento a todos los participantes en las pruebas, particularmente a Mercedes, Continental, Disfrimur, Lecitrailer y TRANSyT.

Las pruebas y los resultados de las mismas son los que se indican a continuación.

9.1.1 Prueba 1: Anillo de Velocidad

Descripción: Circulación durante una hora en el anillo de velocidad con las dos configuraciones de vehículos. La primera media hora se circuló con el vehículo de mayor longitud y peso, mientras que la segunda media hora se hizo lo propio con la configuración de 40 Toneladas. El ensayo se realizó a una velocidad constante de 80km/h. El objetivo era medir los consumos en los dos vehículos a una velocidad constante, y la posible maniobra de adelantamiento.

Los resultados para los consumos pueden verse en la tabla 9.1. Igualmente, en las imágenes 9.2 y 9.3 se aprecian las diferencias entre las dos configuraciones con las que se realizaron las pruebas.

Ilustración 9.2. Configuración habitual de 40 Toneladas



Ilustración 9.3. Configuración B del Megatruck



Tabla 9.1 Prueba en el anillo de velocidad

Configuración del vehículo	Consumo Medio L/100 Km	Velocidad Media (Km /H)	Distancia Recorrida (Km)	Litros consumidos	Tiempo (minutos)	Hora de Inicio – Final
40 Toneladas	30	81,4	40,7	12,6	30	12:38 – 13:08
60 Toneladas	40,4	81,6	40,8	16,8	30	10:36 – 11:06

Fuente: Elaboración propia

Además se realizaron tres maniobras diferentes de adelantamiento de un vehículo ligero a las diferentes configuraciones de pesados. Las dos primeras fueron adelantamientos más explosivos partiendo y finalizando a distintas velocidades, mientras que la última fue un adelantamiento más largo. La sensación que tuvo el conductor del vehículo al adelantar al camión de 40 toneladas fue la habitual en las vías españolas de gran capacidad. Por el contrario, la sensación al adelantar al camión de mayor longitud no fue la misma. Según el conductor del vehículo al adelantar al camión de 60 toneladas la sensación es la misma que al realizar un adelantamiento “largo”, parecido a si se adelantasen dos vehículos ligeros que circulan pegados. En ningún caso se percibió falta de seguridad en el adelantamiento, resultando más costoso adelantar a dos camiones de 40 toneladas que a uno de 60 toneladas. En cuanto al tiempo de adelantamiento resultan ligeramente superiores en el caso del vehículo de 60 toneladas que en el de 40 toneladas. En la tabla 9.2, están los resultados de los adelantamientos, y en la imagen 9.4 se ve el adelantamiento a un Megatruck.

Tabla 9.2 Resultados de adelantamiento en anillo de velocidad

Tipo de Adelantamiento	Tiempo (Segundos)	Velocidad Inicial (Km/h)	Velocidad Final (Km/h)
Corto y ligeramente explosivo			
Vehículo 40 Toneladas	12,08	90	117
Vehículo 60 Toneladas	12,18	90	120
Corto y un poco más explosivo			
Vehículo 40 Toneladas	11,36	80	115
Vehículo 60 Toneladas	11,89	80	115
Largo y menos explosivo			
Vehículo 40 Toneladas	14,85	80	108
Vehículo 60 Toneladas	16,76	80	116

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9.4. Vehículo ligero adelantando a un Megatruck.**Ilustración 9.5. Megatruck circulando en la prueba del anillo de velocidad**

9.1.2 Prueba 2: Dinámica longitudinal

Se trata de medir el tiempo y espacio necesario tanto para acelerar desde cero hasta cierta velocidad como para detener los vehículos. Las velocidades a las que se realizaron las pruebas fueron en aumento con cada frenada. Los resultados son los de la tabla adjunta:

Tabla 9.3 Resultados dinámica longitudinal

Camión 40 Toneladas				
	Aceleración		Frenado	
	Espacio (metros)	Tiempo (segundos)	Espacio (metros)	Tiempo (segundos)
58,87 Km/h	-	-	21,52	2,90
63,59 Km/h	427,86	38,7	28,67	3,30
78 Km/h	-	-	-	-
Camión 60 Toneladas				
	Aceleración		Frenado	
	Espacio (metros)	Tiempo (segundos)	Espacio (metros)	Tiempo (segundos)
59,20 Km/h	463,13	43,9	21,83	2,90
63,37 Km/h	517,05	46,8	30	3,60
76,58 Km/h	974,28	67,6	47,41	4,70

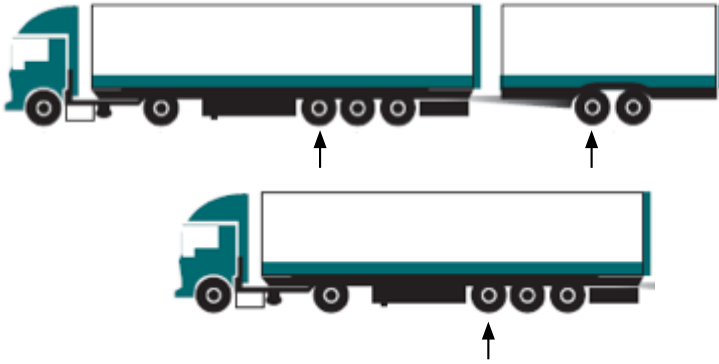
Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, 9-3, hay algunos datos no disponibles. Sin embargo, sí que se puede apreciar que tanto la distancia como el tiempo de aceleración y frenado aumentan ligeramente en el caso de Megatruck en comparación con el vehículo habitual de 40 toneladas. Al realizar las distintas frenadas, algunos de las ruedas se bloquearon, teniendo en consecuencia un mayor desgaste que otras. Las ruedas que se bloquearon en las distintas configuraciones fueron diferentes. Por ejemplo en la tercera frenada (la de mayor velocidad) bloquearon el tercer eje de ruedas contando desde la cabeza tractora en ambas configuraciones, y además el sexto eje en la de 60 toneladas. En las figuras inferiores se puede apreciar claramente esta diferencia. Por último, la sensación de estabilidad del conjunto fue muy positiva en todas las frenadas, sin mostrar movimientos bruscos ni vaivenes en ninguna de las seis frenadas realizadas.

Figura 9.1 Frenada a 65 Km/h



Fuente: Elaboración propia

Figura 9.2 Frenada a 78 Km/h

Fuente: Elaboración propia

En la imagen inferior (9.6) se aprecia el detalle de una frenada del Megatruck

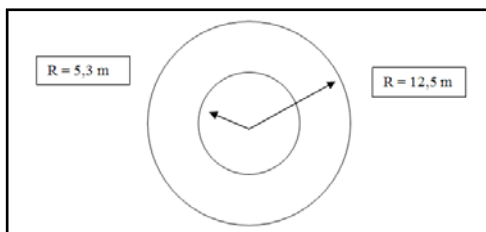
Ilustración 9.6 Frenada del Megatruck

9.1.3 Prueba 3: Dinámica horizontal

Para obtener el radio mínimo de giro en rotondas se utilizaron diferentes radios de las mismas. La prueba consistió en inscribir el vehículo entre dos radios diferentes de rotondas, para comprobar la maniobrabilidad del mismo. Los resultados son los que se ven en las figuras 9.3 y 9.4.

Camión de 40 toneladas: Consigue inscribir su radio de giro entre dos rotondas de 5,3 metros y 12,5 metros. El vehículo no tiene ningún margen lateral de maniobra. El radio de giro del asiento del conductor fue de 10 metros.

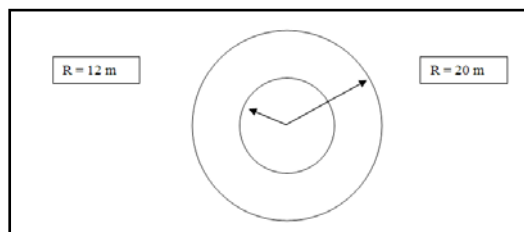
Figura 9.3 Maniobrabilidad camión 40 toneladas



Fuente: Elaboración propia

Camión de 60 toneladas: El vehículo consigue inscribirse perfectamente entre las rotondas con radios de giro 12 metros y 20 metros. Aproximadamente tiene un margen de maniobra de un metro por cada rotonda. El radio de giro del asiento del conductor fue de 17,50 metros.

Figura 9.4 Maniobrabilidad camión 60 toneladas



Fuente: Elaboración propia

Resulta interesante comentar que un buen radio de giro de referencia para conocer la maniobrabilidad en situaciones reales de un camión de 60 toneladas puede ser de 15 metros en el proyecto de diseño. Esto se conoce porque para poder acceder al anillo de velocidad, el camión tuvo que circular en una rotonda en las pistas de ensayos de ese radio, y su maniobrabilidad no se vio afectada. Sin embargo, según los datos aportados por el GPS del ordenador de a bordo, el Megatruck giró con un radio de 20,5 metros en el asiento del conductor. Por todo ello, para tener cierto margen de seguridad, parece recomendable un radio mínimo de 20 metros, indicados ya en el estudio.

En la imagen 9.7 puede al Megatruck realizando las citadas pruebas de maniobrabilidad.

Ilustración 9.7 Maniobrabilidad del Megatruck.

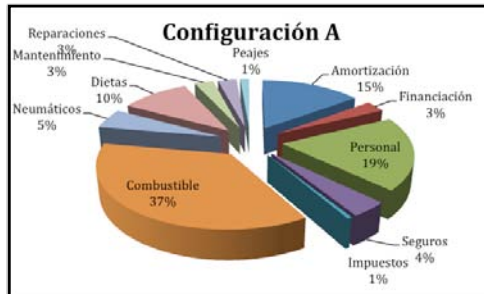


9.2 Costes de operación e Inversiones

Una vez conocidos los resultados de las pruebas realizadas con los Megatrucks, los costes de operación no varían, pues ya se habían calculado con el consumo de combustible de estas pruebas.

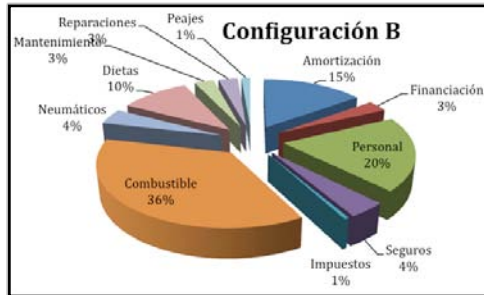
La distribución de los costes directos para cada una las configuraciones pueden verse en las siguientes figuras.

Figura 9.5 Distribución Costes Directos Configuración A



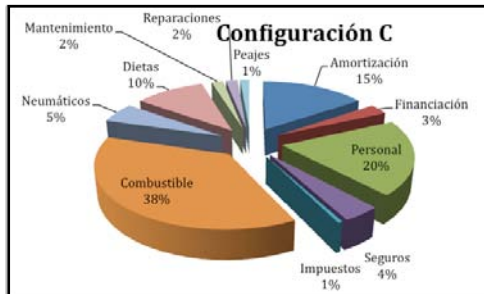
Fuente: Elaboración Propia

Figura 9.6 Distribución Costes Directos Configuración B



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9.7 Distribución Costes Directos Configuración C



Fuente: Elaboración Propia

Una cuestión que puede ser interesante responder, es si por medio de los impuestos o un peaje especial, estos camiones de grandes dimensiones serían capaces de internalizar la diferencia de costes del mantenimiento de la infraestructura. La diferencia entre los impuestos pagados por un vehículo articulado de carga general y por un Megatruck debería ser suficiente para el mantenimiento de la vía. En caso contrario, este tipo de vehículos deberían abonar la diferencia. Los impuestos pagados por un camión articulado de carga general suman un total de 665,31 € anuales, mientras que los de un Megatruck 715,66€. Por lo tanto, los camiones de 60 toneladas, pagan un 7,57% más de impuestos. En cuanto a los peajes, abonar un 12,85% más que los vehículos articulados de carga general. Dependiendo

de la configuración de que se trate, estas diferencias se ven claramente compensadas o son insuficientes para el mantenimiento de la vía. En el caso de las configuraciones A y C, esta diferencia se ve claramente compensada, tanto por los impuestos como por los peajes. Sin embargo, en el caso de la configuración B, sería necesario ampliar ligeramente los impuestos hasta un 11,6% más, o lo que es lo mismo en vez de pagar 715,66 €, deberían pagar de impuestos 742,48 €. En cuanto a los peajes, no deberían abonar ninguna cantidad extraordinaria. Por lo tanto, los costes totales de operación para la configuración B serían de 1,22 €/Km, manteniéndose prácticamente constantes.

Otra cuestión interesante puede ser si la diferencia cobrada en los impuestos y peajes, puede ser suficiente para las inversiones necesarias en infraestructuras como por ejemplo posibles refuerzos en los puentes y viaductos. Sin embargo, esta pregunta no puede resolverse sin conocer previamente la inversión necesaria en infraestructuras, algo que es imposible de responder sin un estudio que analice el estado de las infraestructuras.

10. DISCUSIONES Y CONCLUSIÓN

10 Discusiones y conclusión

La decisión de incrementar sucesivamente los límites de peso permitidos a los camiones ha sido todo un éxito. Sin embargo, mientras siempre ha existido un acuerdo tanto a nivel político como de operadores y expertos de transporte de las ventajas de la consolidación de cargas, no ha sido así sobre sus implicaciones medioambientales.

Del estudio se concluye que hay una serie de aspectos que mejoran claramente si se permite la circulación de vehículos de 60 Toneladas.

En primer lugar, se mejoraría no solamente la movilidad de las mercancías por carretera, sino la movilidad general de las mercancías a nivel nacional. Esta ganancia del sector de transporte de mercancías por carretera supondría una **bajada del precio** en las toneladas – km transportadas por este tipo de vehículos **superior al 22%**. Se **mejoraría**, por tanto, la **productividad y eficiencia** del sector.

Esta importante bajada de costes repercutiría en el precio final del consumidor, que tendría un mayor poder adquisitivo, activando así la demanda nacional y muy probablemente influyendo de forma más positiva en el total de la economía que con la reducción de empleos. Se mejoraría, aunque de forma leve, la productividad de la economía española.

Además, supone una nueva oportunidad de negocio para el sector, al mejorar notablemente su competitividad y flexibilidad. Estas dos mejoras, se traducen en la mejora de las exportaciones, y por lo tanto, redundan en un claro beneficio para la economía española.

Resulta necesario añadir que se trata de una **medida de mejora medioambiental**, aumentando notablemente la eficiencia energética de la movilidad de las mercancías por carretera. Anualmente se ahorrarían las emisiones de **305.781 Toneladas de CO₂**, **8.057 Toneladas de NOx** y **254 Toneladas de PM₁₀**.

Todas estas mejoras, se traducirían en un **beneficio para la sociedad española** cercano a **700 Millones de Euros anuales**. Se puede afirmar que se trata de una **medida positiva para el conjunto de la sociedad española**.

En el desarrollo del estudio se han detectado una serie de aspectos que deben ser analizados en el futuro con mayor profundidad.

En primer lugar, sería necesario desarrollar un nuevo marco normativo en el que se permitiese vehículos con las medidas apropiadas (25,25 metros y 60 Toneladas). Igualmente, la velocidad de estos vehículos no debe ser superior a cierto límite, por ejemplo 85 Km/h, para evitar un mayor consumo de combustible y facilitar las maniobras de adelantamiento por parte de conductores más inexpertos o con ciertas reticencias a la hora de superar a estos vehículos. Además, habría que estudiar las posibles limitaciones en la circulación que deben existir, a fin de evitar las puntas de demanda provocadas por el tráfico ligero. También resulta necesario un estudio más específico de cada uno de los corredores para determinar si las estructuras necesitan algún tipo de refuerzo o no, de las rotondas y de los accesos a los distintos nodos logísticos.

Finalmente, sería recomendable un proyecto piloto, en el que se comprobasen los efectos previstos tanto económicos como sociales o ambientales por los vehículos de mayores dimensiones y tonelaje.

11. REFERENCIAS

11 Referencias

1. Ministerio de Fomento (2007, 2009). Informe los transportes y los servicios postales. Madrid. (MFO, 2007, 2009) MFO. 2009a. Transport and postal services. 2008 Annual Report (Los transportes y los servicios postales. Informe anual 2008). Madrid: Publications Center, General Technical Secretariat, Ministry of Development (Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento).
2. Ministerio de Fomento. Plan Nacional de Infraestructuras (PNI, 2009)
3. PÉREZ-MARTÍNEZ, P.J., MONZÓN DE CÁCERES, A., 2010. La eficiencia energética y ambiental de los modos de transporte en España. Actas del XVI Congreso Panamericano de Transporte, ISBN: 978-989-96986-2-8. Extracto del trabajo realizado por TRANSyT para el Consejo Superior de Cámaras de Comercio. Madrid. (CSC, 2010)
4. EEA, (2009). Informe TERM. Copenhagen, European Environment Agency, EEA. (EEA, 2009)
5. Ministerio de Medio Ambiente (2008). Inventario de Gases de Efecto Invernadero de España-Edición 2008 (serie 1990-2007), sumario de resultados. Madrid. (MMA, 2008)
6. Ministerio de Fomento (1997, 2006, 2008, 2009). Encuesta Permanente del Transporte de Mercancías por Carretera. Madrid. (MFO, 1997, 2006, 2008, 2009) MFO. 2009c. Continuing survey of road freight transport 2008 (Encuesta permanente de transporte de mercancías por Carretera 2008). Madrid: Publications Center, General Technical Secretariat, Ministry of Development (Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento).
7. PÉREZ-MARTÍNEZ, P.J., MONZÓN DE CÁCERES, A., 2010. Transport energy use and emission trends in Spain. In Highway and Urban Environment: Proceedings of the 9th Highway and Urban Environment Symposium. Series: Alliance for Global Sustainability Bookseries, Vol. 17. Edited by G. Morrison, S. Rauch and A. Monzón. Dordrecht: Springer Science.
8. EUROSTAT. Datos de economía y transporte (EUROSTAT, 2009)
9. Instituto Nacional de Estadística. Encuesta de Población Activa (EPA, INE, 2009)
10. Ministerio de la Vivienda. Estadística de Visados de Dirección de Obra (Ministerio de la Vivienda, 2009)
11. Ministerio de trabajo. Encuesta de Coyuntura Laboral (ECL, Ministerio de Trabajo, 2009)
12. Instituto Nacional de Estadística (INE). Contabilidad Nacional de España: Valor Añadido Bruto a Precios Básicos: Precios Corrientes. Madrid, Spain, 2009. Instituto Nacional de Estadística. Contabilidad Nacional (INE, 2009)
13. Roth, A. and T. Kaberger. "Making transport systems sustainable." Journal of Cleaner Production 10 (2002): 361-71. (Roth y Kaberger, 2002)
14. Böge, S (1995). The well-travelled yoghurt pot: Lessons for new freight transport policies and regional production. World transport-Policy & Practice, 1, 7-11. (Böge, 1995)

15. PÉREZ-MARTÍNEZ, P.J., 2009. The vehicle approach for freight road transport energy and environmental analysis in Spain. *European Transport Research Review*, 1 (2), 75-85.
16. Aparicio, F.; Burón, J. M.; Páez, F. J.; López, J. M.; Alegre, J. A.; Gómez, A.; Arenas, B.; López, I.; Izquierdo, O.; Galán., P. 2005. Impact of freight transport on the environment and energy consumption (Impacto del Transporte de mercancías sobre el medio ambiente y el consumo energético). *Estudios de Construcción y Transportes*, 103, pp. 63-96.
17. Pasi, S. Trends in Road Freight Transport 1999–2005. *Transport Statistics in Focus*, Eurostat, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, Belgium, 2007.
18. McKinnon, A.C.; Piecyk, M.I. 2009. Measurement of CO2 emissions from road freight transport: A review of UK experience. *Energy Policy*, 37, pp. 3733-3742.
19. PÉREZ-MARTÍNEZ, P.J., 2010. Freight transport, energy use and emission trends in Spain. *Transport Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2191, 16-22.
20. Leyes de carreteras de los años: 1857, 1859 y 1903.
21. Reglamento de Policía y conservación de Carreteras. 1910
22. Reglamento para la circulación de vehículos con motor mecánico por las vías públicas de España. 1926
23. Código de circulación. 1934
24. Instrucción de carreteras. 1939.
25. Decretos: 496/1962 y 1216/67
26. Reales Decretos 2029/1986; 1317/1991; 1467/1995; 490/1997 y 2822/1998.
27. Orden PRE/3298/2004
28. Directivas: 96/53/CE y 2002/7/CE.
29. Oficemen, 2009: 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.
30. TRL desk based research, 2008. Knight, I., Newton, W., McKinnon, A. et al., Longer and/or Longer and Heavier Goods Vehicles (LHVs) – a Study of the Likely Effects if Permitted in the UK: Final Report, TRL study for the UK DfT, June 2008.
31. Belgian Road Research Center, 2007. Working Group on Longer and Heavier goods Vehicles (LHVs): a multidisciplinary approach to the issue.
32. Jacob y Bereni, 2009. A look into the likely consequences of adapting weights and dimensions of heavy commercial vehicles in Europe.
33. ISI, 2008. Long-term Climate Impacts of the Introduction of Mega-Trucks, ISI Fraunhofer study for the Community of European Railway and Infrastructure Companies (CER), final draft report, July 2008.
34. Aurell, 2007. Aurell, J., Wadman, T., Vehicle combinations based on the modular concept, Committee 54: Vehicles and Transport, Report 1/2007, Nordic Road Association, 2007.
35. Arcadis, 2006. Monitoringsonderzoek vervolproef Izv resultaten van de vervolproef met langere of langere en zwaardere voertuigcombinaties op de Nederlandse wegen, ARCADIS, May 2006.

36. Bast, 2006. Effects of new vehicle concepts on the infrastructure of the federal truck road network, Final Report, Federal Highway Research Institute (Bast), November 2006.
37. UBA, 2007. Longer and Heavier on German Roads. Do Megatrucks Contribute Towards Sustainable Transports? Umwelt Bundes Amt (UBA), August, 2007.
38. Hewitt et al. ,1999. Julie Hewitt, Jerry Stephens, Kristen Smith y Nate Menuez. Infrastructure and Economic Impacts of changes in truck weight regulations in Montana. Transportation Research Record 1653, Paper No. 99- 0851.
39. McCullough, Gerard. 2003. Trucking efficiency versus transportation efficiency . An economic evaluation of TRB Special Report 267. Transportation Research Record 1833, Paper No. 03-3438.
40. JRC European Commision. 2009. Introducing Mega-Trucks. A review for policy makers.
41. UIC Communications Deparment, 2007. Mega-trucks versus Rail Freight? What the admission of Mega-Trucks would really mean for Europe Facts and arguments. Paris, 2007.
42. Fomento, 2010. El tráfico en las autopistas de peaje, año 2008. Dirección General de Carreteras.
43. Kraemer et al. 2004. Carlos Kraemer, José María Pardillo, Sandro Rocci, Manuel G. Romana, Víctor Sánchez Blanco y Miguel Ángel del Val. Ingeniería de carreteras (McGraw Hill, 2004).
44. IAP. 1998. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.
45. Real Decreto 635/06.
46. Orden Circular 28/2009 sobre barreras de seguridad.
47. www.carreteros.org
48. <http://www.nomegatrucks.eu/>
49. Freight Transport Association – FTA, 1996 – 2004
50. Fomento. Encuesta Permanente del transporte de mercancías por carretera. 1997, 2006 y 2008.
51. Janic,M.: 2007, ‘Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network’, Transportation Research Part D: Transport and Environment. 12, 33-44.
52. McKinnon,A.C.: 2005, ‘The economic and environmental benefits of increasing maximum truck weight: the British experience’, Transportation Research Part D: Transport and Environment. 10, 77-95.
53. Schipper,L., Scholl,L. and Price,L.: 1997, ‘Energy use and carbon emissions from freight in 10 industrialized countries: an analysis of trends from 1973 to 1992’, Transpn Res. -D. 2, 57-76.
54. Vasallo,J.M. and Fagan,M.: 2008, ‘Nature or nurture: why do railroads carry greater freight share in the United States than in Europe?’, Transportation. 34, 177-193.
55. Pickrell, D., Lee, D., 1998. Induced Demand for Truck Services from Relaxed Truck Size and Weight Restrictions, US Department of Transportation, Cambridge, Mass.

56. Comisión de Transporte Integrado, 2000. Commission for Integrated Transport, 2000. Interim Report: Permitting 44 tonne Lorries for General Use in the UK, Commission for Integrated Transport, London. (<http://www.cfit.gov.uk/reports/44tonne/pdf/44tonne.pdf>).
57. Departamento Británico de Transporte y Medio Ambiente de las Regiones, 1998b. Department of the Environment, Transport and the Regions, 1998b. Department of the Environment, Transport and the Regions, 1998b. Non-car Traffic: Modelling and Forecasting, National Road Traffic Forecasts (Great Britain) 1997 Working Paper No. 3, Department of the Environment, Transport and the Regions, London.
58. Alcotran, 2009. Asistente para el cálculo de costes del transporte de mercancías por carretera. Versión 2.3.1. Ministerio de Fomento, Madrid.
59. Delft, 2008. Manual de costes externos de la comisión europea. Maibach M, Schreyer C, Sutter D, van Essen H P, Boon B H, Smokers R, Schroten A, Doll C, Pawlowska B, Bak M. 2008. Handbook on estimation of external costs in the transport sector. Brussels: European Commission.
60. Vassallo et al. 2010. Memoria del proyecto Destino sobre externalidades.
61. REPLICA, 2010. Memoria del proyecto Replica sobre externalidades.
62. Vassallo, J.M. 2009. Informe sobre la evolución de las subidas de los precios del transporte de mercancías por ferrocarril en España.
63. Comisión Europea, 2007. Comunicado de la Comisión. Plan de acción para la logística del transporte de mercancías. COM, 2007, 607 Final.
64. SPIM, 2009. Estudio de costes del transporte mercancías por carretera. Año 2008. Ministerio de Fomento, Madrid.
65. Vassallo, JM, López, E, Pérez, PJ, 2011. Are charges to heavy goods vehicles in the European Union efficient? Application to the case of Spain. Road and Transport Research, en revisión.
66. RENFE. 2008. Annual report. Madrid: Dirección de Comunicación Corporativa y Relaciones Externas.

