

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DEL PAVIMENTO, EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES DE LOS VEHÍCULOS

¿Cuánto más combustible consume un vehículo cuando circula por una carretera en mal estado de conservación?

¿Cuántas emisiones extra genera un vehículo?

¿Qué diferencia hay entre las emisiones de un vehículo ligero y uno pesado en estas circunstancias?

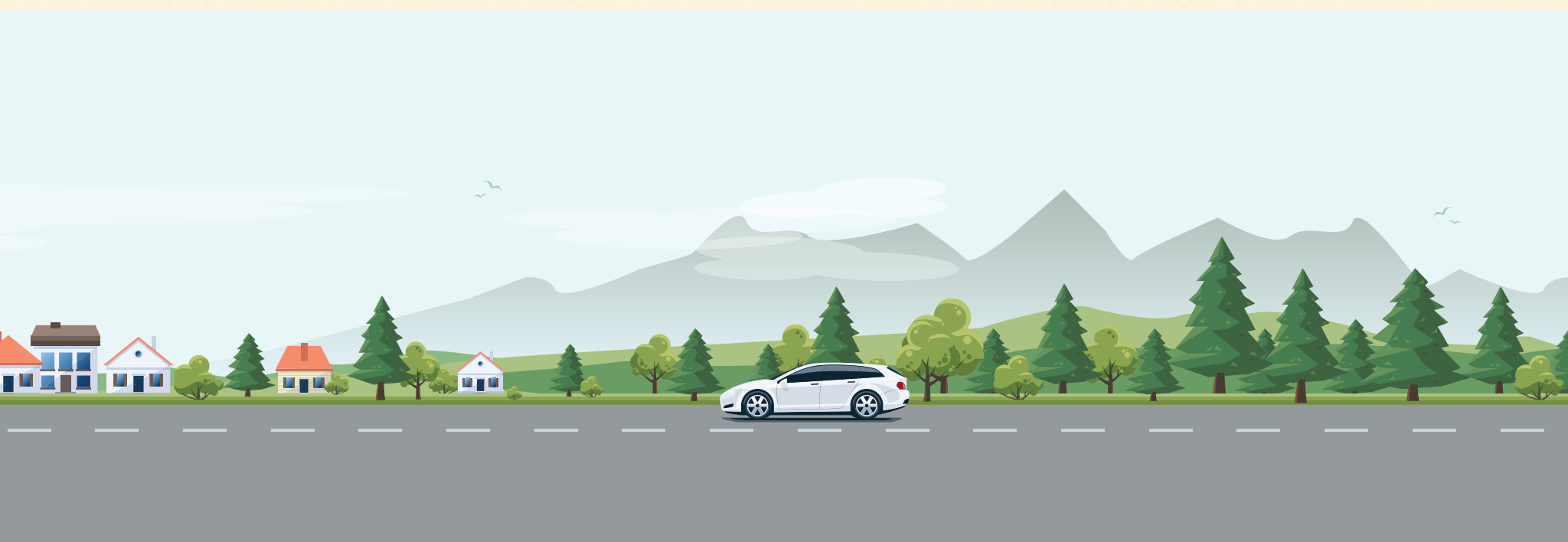
Un estudio de



en colaboración con



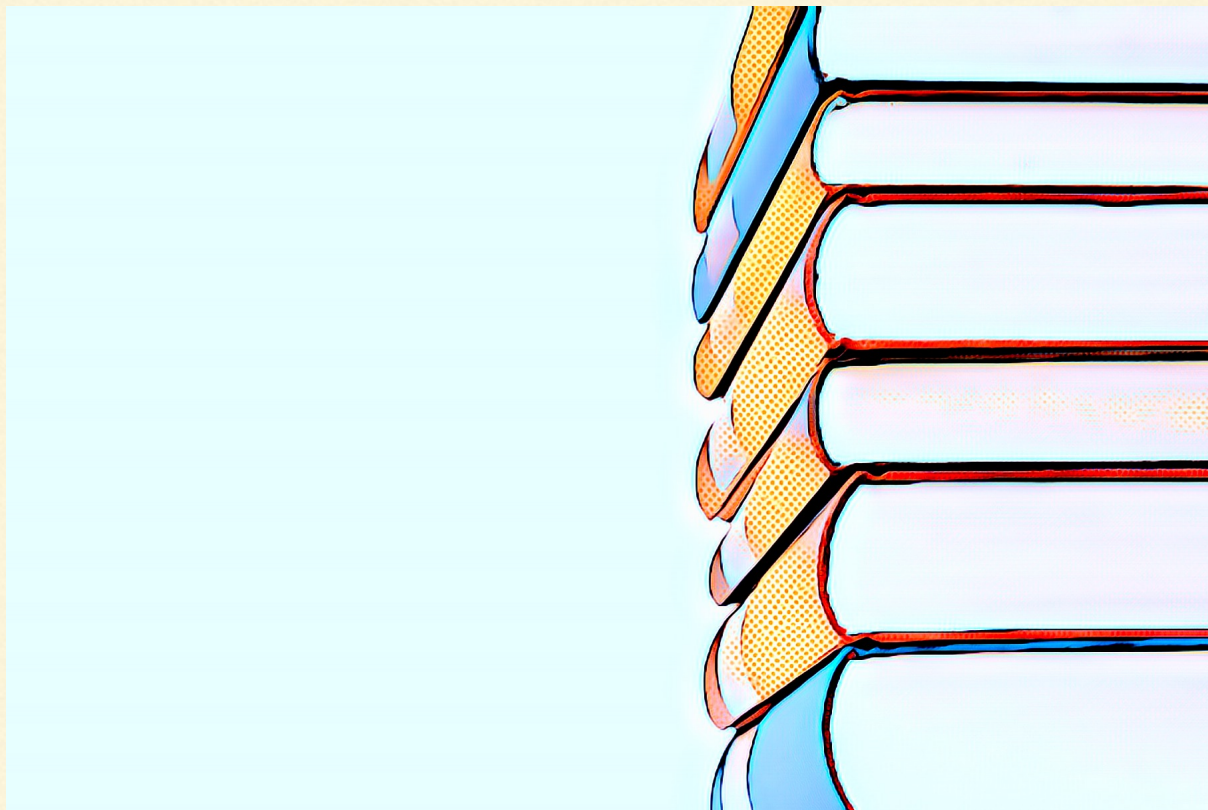
Mercedes-Benz



Índice



1. ANTECEDENTES.....	2	5.2.3. Resumen de estimaciones de reducción de consumo de combustible.....	16
2. OBJETIVO.....	4	5.3. Emisiones.....	16
3. PRUEBAS REALIZADAS.....	5	5.3.1. Estimaciones de la reducción de emisiones en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales.....	16
3.1. Vehículos.....	5	5.3.2. Estimaciones de la reducción de emisiones en la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells.....	17
3.2. Tramo de estudio.....	6	5.3.3. Resumen de estimaciones de reducción de emisiones.....	18
3.3. Mediciones de consumo de combustible.....	6	6. OTROS IMPACTOS DERIVADOS DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS CARRETERAS.....	19
3.4. Valoración del efecto del estado de la carretera en el consumo de combustible.....	7	7. CONCLUSIONES.....	21
3.5. Valoración del efecto del estado de la carretera en las emisiones de los vehículos.....	8	8. REFERENCIAS.....	23
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	9		
5. EXTRAPOLACIÓN A LA RED DE CARRETERAS ESPAÑOLA..	11		
5.1. Hipótesis de partida.....	11		
5.2. Consumo de combustible.....	13		
5.2.1. Estimaciones de la reducción de consumo de combustible en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales.....	14		
5.2.2. Estimaciones de la reducción de consumo de combustible en la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells.....	15		



1

Antecedentes

Existen varios estudios internacionales que ponen de manifiesto que una carretera con un pavimento en buen estado de conservación contribuye a reducir el consumo de combustible y las emisiones de los vehículos; entre ellos, cabe destacar las siguientes:

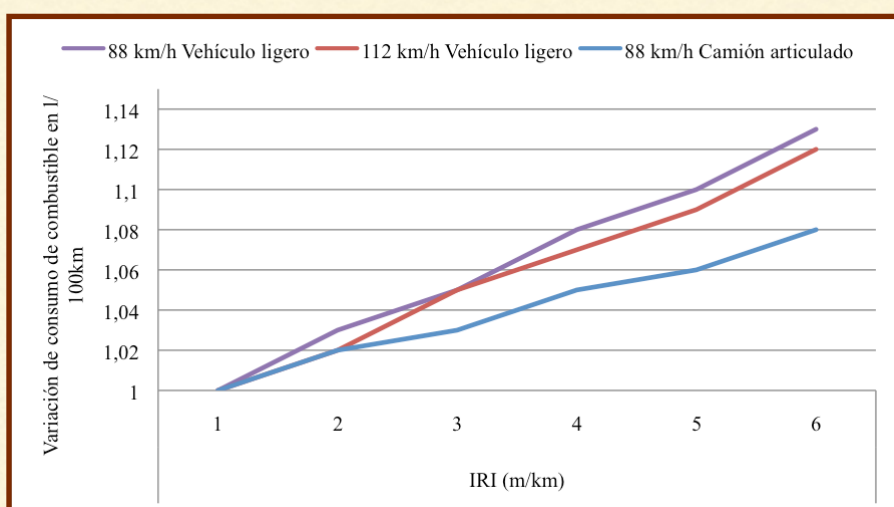
- National Cooperative Highway Research Programme – Report 720 Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating costs, Transport Research Board, 2012.
- Road Pavement Industries highlight huge CO₂ savings offered by maintaining and upgrading roads. EAPA, EUPAVE and FEHRL, 2015.
- Sime, M., et al., WesTrack Roughness, Fuel consumption, and Maintenance Costs, Tech Brief published by Federal Highway Administration, Washington, DC., 2000.
- Evolution and harmonization of evenness evaluation techniques, Bjarne Schmidt, Danish Road Institute, Report 94, 1999.
- Li, Q. et al. How the roadway pavement roughness impacts vehicle emissions?. Environment Pollution and Climate Change, 2017. DOI: 1.4172/2573-458X.1000134.

Las principales conclusiones de estas investigaciones figuran a continuación, en términos de reducción consumo de combustible y emisiones de CO₂, si bien es cierto que existen otros gases contaminantes que son igualmente perjudiciales:

- La mejora del firme puede reducir hasta un 5% las emisiones de CO₂.
- El efecto de la reducción del Índice de Regularidad Internacional (IRI) por cada 1 m/km supone un ahorro en el consumo de combustible de hasta el 3% en vehículos ligeros y el 1-2 en vehículos pesados, dependiendo de la velocidad de circulación.
- El incremento de consumo de combustible en carreteras en muy mal estado (IRI: 6 m/km), comparado con carreteras en muy buen estado (IRI 1 m/km) puede suponer:

- Hasta +13% (vehículo ligero).
- Hasta +8% (vehículo pesado).

El siguiente gráfico, elaborado a partir de los datos de la publicación “Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating costs” de National Cooperative Highway Research Programme en 2012, evidencia la variación de emisiones asociada a la circulación de un vehículo ligero y pesado en distintos valores del IRI (el origen de la gráfica se configura en IRI = 1 m/km, donde se establece el punto de partida del consumo en l/100 km con valor 1):



Gráfica 1: Variación del consumo de combustible asociado a distintos valores de IRI (fuente: elaboración propia a partir de datos del estudio “Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating costs” NCHRP, 2012)

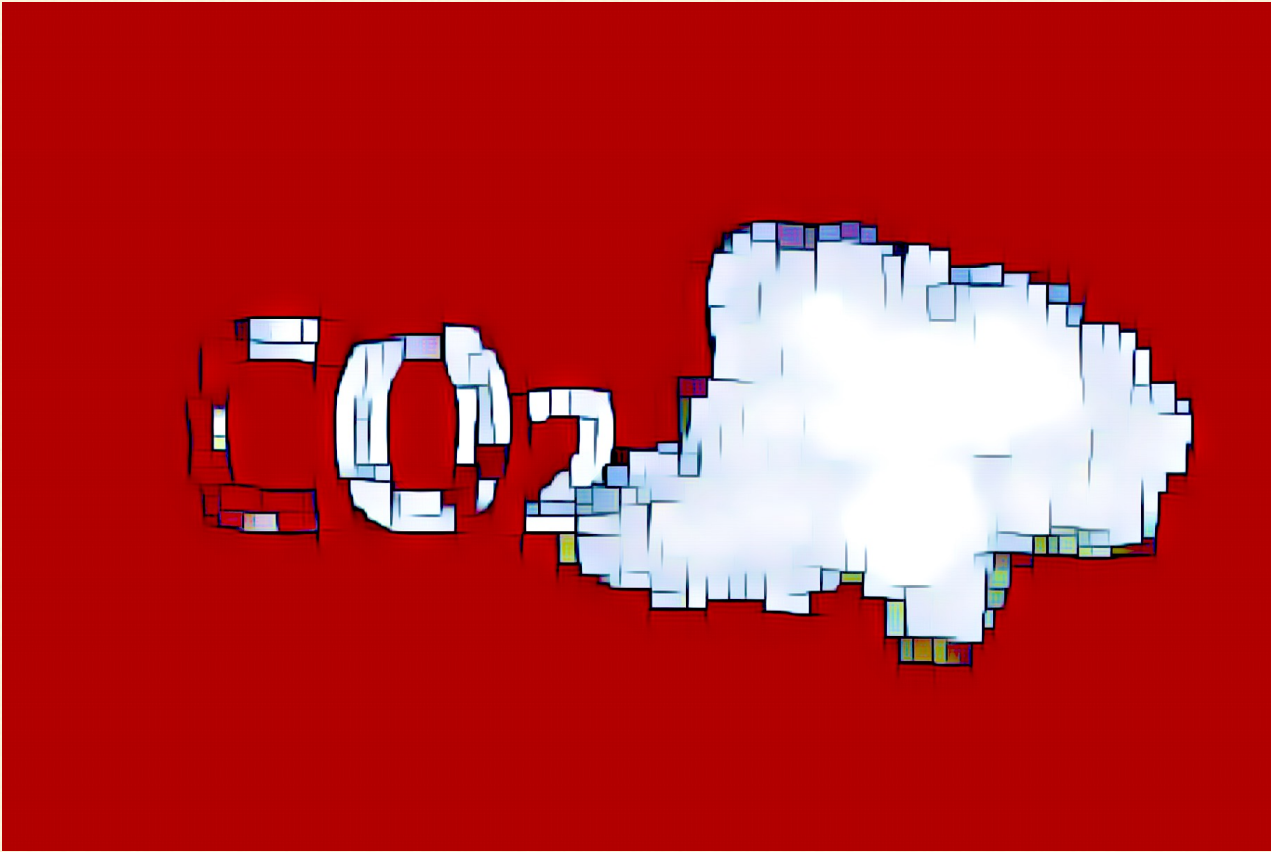
Se puede observar que para un vehículo ligero, el consumo de combustible, proporcional a las emisiones, varía de la siguiente manera:

- Reducción de un 3% al pasar de un IRI de 2 m/km a un IRI de 1 m/km (88 km/h).
- Reducción de un 2% al pasar de un IRI de 2 m/km a un IRI de 1 m/km (112 km/h).
- Reducción de un 5% al pasar de un IRI de 3 m/km a un IRI de 1 m/km (88 km/h y 112 km/h).

De igual manera, para un vehículo pesado que se puede asimilar a un camión articulado que circula a 88 km/h, el consumo de combustible y emisiones varía de la siguiente manera.

- Reducción de un 2% al pasar de un IRI de 2 m/km a un IRI de 1 m/km.

Reducción de un 3% al pasar de un IRI de 3 m/km a un IRI de 1 m/km.



2

Objetivo

Se plantea la realización de un estudio con pruebas reales en una carretera antes y después de operaciones de repavimentación con los siguientes objetivos:

- Poner de manifiesto la implicación del estado de conservación de los pavimentos en el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en España.
- Valorar la variación del consumo de combustible de un vehículo cuando circula en una carretera en mal / buen estado de conservación.
- Cuantificar la variación de emisiones de CO₂.
- Realizar una valoración global de las posibilidades de reducción de emisiones de CO₂ con una red de carreteras en buen estado de conservación.

Para ello se han realizado pruebas reales de consumo de combustible de vehículo ligero y pesado y se han considerado los datos del estudio “Necesidades de Inversión en Conservación” (1) publicado por la Asociación Española de la Carretera en julio de 2018.

(1)<https://www.aecarretera.com/sala-de-prensa/comunicados/comunicados-2018/2888-las-carreteras-espanolas-a-examen>



3

Pruebas realizadas

Desde la Asociación Española de la Carretera se ha realizado un estudio específico para cuantificar la diferencia de emisiones de un vehículo ligero y otro pesado al circular por una carretera en mal estado, respecto a la que se produce cuando ésta está en un buen estado de conservación. Los datos se han obtenido de pruebas reales realizadas en carreteras españolas.

El trabajo consistió en la realización de diversos recorridos en tramos de la A-5 en condiciones mejorables en cuanto al estado del pavimento y tras su repavimentación; en cada recorrido se registraron numerosos parámetros relativos al funcionamiento y consumo del vehículo, así como a las condiciones externas bajo las cuales se realizaron las pruebas.

3.1. Vehículos

Se realizaron ensayos con un vehículo ligero y otro pesado, con las siguientes características:

Tabla 1: Características de los vehículos (fuente: elaboración propia)

MARCA	MERCEDES BENZ	MERCEDES BENZ
MODELO	220 CDI COUPE	ACTROS 1846
AÑO	2018	2017
POTENCIA (KW/CV)	140/190	338/460
PESO (Kg)	1.735	42.000
PRESIONES (bar)	Delantero 2,5 Trasero 2,5	9,0

3.2. Tramo de estudio

El itinerario de estudio, objeto de una rehabilitación del pavimento, se encuentra en la autovía A-5, en los siguientes tramos:

- Del punto kilométrico 144 al 168,1 en sentido creciente.
- Del punto kilométrico 168,1 al 146 en sentido decreciente.

En total, se trata de un tramo de 46,2 kilómetros de longitud.



Ilustración 1. Autovía A-5. Fuente: AEC

Los recorridos iniciales (RECORRIDO 1) se realizaron cuando la carretera se encontraba en condiciones mejorables, en junio de 2018. Posteriormente, una vez finalizados los trabajos de repavimentación en el tramo, se procedió a repetir el trabajo de campo (RECORRIDO 2) en noviembre de 2018.

Los recorridos totales realizados tienen una longitud de 199 kilómetros en el caso del vehículo ligero y de 215 kilómetros en el caso del vehículo pesado, puesto que se realizaron varias pasadas por el mismo tramo. El recorrido completo de los vehículos ligero y pesado fue diferente, puesto que para el vehículo pesado fue necesario realizar el cambio de sentido en un enlace que disponía de mayor espacio y facilitaba la maniobrabilidad.

Los datos de mediciones del IRI realizados antes de la operación de repavimentación muestran valores medios próximos a 2 m/km que se sitúan en valores de 1 m/km tras las obras de repavimentación.

3.3. Mediciones de consumo de combustible

A lo largo de los recorridos realizados, se registraron las siguientes mediciones para el vehículo ligero:

Tabla 2: Comparación de mediciones entre el Recorrido 1 (antes de pavimentar) y el Recorrido 2 (después de pavimentar) para el vehículo ligero (fuente: elaboración propia)

	Recorrido 1 (antes de pavimentar)	Recorrido 2 (después de pavimentar)
Longitud recorrida	199	199
CONSUMO MEDIO Ord. De a bordo (l/100 km)	5,50	5,40
TIEMPO TEST	1h 53'36"	1h 47'46"
VEL. MEDIA (km/h)	107,00	110,00
CONSUMO TOTAL (l)	11,63	11,22
CONSUMO MEDIO (l/100 km)	5,84	5,64
PESO (Kg)	1735	1735
TEMP MAXIMA/MEDIA. (°C)	30,2 / 25	17,1/14,8
PRESION (mbar)	978	956
VIENTO (km/h)	0,00	15/31 Dirección Este

En el caso del vehículo ligero, se pueden observar diferencias del consumo medio de combustible, que disminuyen en torno al 3,5% en la situación de carreteras recién pavimentadas.

En el caso del vehículo pesado, las mediciones realizadas figuran en la siguiente tabla:

Tabla 3: Comparación de mediciones entre el Recorrido 1 (antes de pavimentar) y el Recorrido 2 (después de pavimentar) para el vehículo pesado (fuente: elaboración propia)

	Recorrido 1 (antes de pavimentar)	Recorrido 2 (después de pavimentar)
Longitud recorrida	215,1	215,4
CONSUMO MEDIO Ord. De a bordo (l/100 km)	25,41	24,36
TIEMPO TEST	2h 39'50"	2h 40'02"
VEL. MEDIA (km/h)	80,7	80,7
CONSUMO TOTAL (l)	54,7	52,5
CONSUMO MEDIO (l/100 km)	25,43	24,37
PESO (Kg)	42000	42000
TEMP MAXIMA/MEDIA. (°C)	32,9 / 23,2	12°/10°
PRESION (mbar)	978	980
VIENTO (km/h)	0,00	14,7/25 Dirección Este

En el caso del vehículo pesado, se pueden observar diferencias del consumo medio de combustible, que disminuyen en torno al 4% en la situación de carreteras recién pavimentadas.

1.1. Valoración del efecto del estado de la carretera en el consumo de combustible.

Como conclusión del apartado anterior, se puede ver que el consumo de combustible aumenta en una situación de mal estado de conservación del pavimento, según figura en la siguiente tabla:

Conclusión

El consumo de combustible aumenta en una situación de mal estado de conservación del pavimento

3.4. Valoración del efecto del estado de la carretera en el consumo de combustible.

Como conclusión del apartado anterior, se puede ver que el consumo de combustible aumenta en una situación de mal estado de conservación del pavimento, según figura en la siguiente tabla:

Tabla 4: Consumo de combustible en los Recorridos 1 y 2 (fuente: elaboración propia)

	Vehículo ligero	Vehículo pesado
Consumo de combustible en el Recorrido 1 (litros)	11,63	54,7
Consumo de combustible en el Recorrido 2 (litros)	11,22	52,5
Diferencia de consumo de combustible entre los Recorridos 1 y 2 (litros)	0,41	2,20
Diferencia de consumo de combustible en un tramo de 46.2 km (tramo objeto de estudio) (litros)	0,095	0,473
Diferencia de consumo de combustible entre los Recorridos 1 y 2 (litros por kilómetro)	0,002	0,010

Puede verse que el consumo de combustible en el recorrido 2 (pavimentado) son un 3,5% inferiores en el caso del vehículo ligero y un 4% inferiores para el vehículo pesado, en relación al recorrido 1 (en mal estado).

El tramo objeto de estudio (de 46.2 kilómetros de longitud) tiene una Intensidad Media Diaria de 18.000 vehículos, con un 14% de vehículos pesados, lo que supone una media de 15.480 vehículos ligeros y 2.520 pesados, según datos del Mapa de Tráfico de 2017 que publica el Ministerio de Fomento. En la siguiente tabla se resumen los datos de ahorro combustible en este tramo, considerando los mencionados datos de tráfico:

Tabla 5: Ahorro de combustible en el tramo objeto de estudio (fuente: elaboración propia).

	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Ahorro en consumo de combustible en el tramo analizado (litros al día)	1.473	1.191
Ahorro en consumo de combustible en el tramo analizado (litros al año)	537.820	434.628

En total, se estima que en el tramo objeto de estudio se han ahorrado, tras repavimentar, un total de 972.447 litros de combustible anuales.

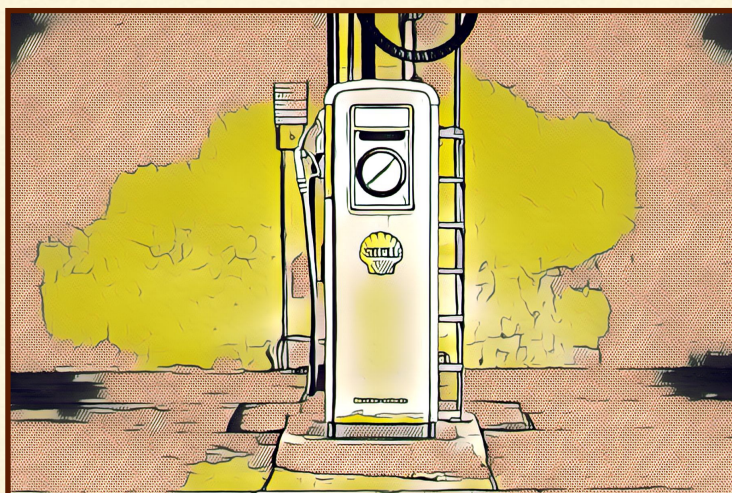


Ilustración 2: Gasolinera.
Fuente: Pixabay



Ahorro

Se estima que en el tramo objeto de estudio se han ahorrado, tras repavimentar, 2.556 Toneladas de CO₂ anuales

3.5. Valoración del efecto del estado de la carretera en las emisiones de los vehículos

Tomando como referencia que un motor diésel emite como valor medio 2.63 kg de CO₂ por cada litro de combustible, se pueden realizar los siguientes cálculos:

Tabla 6: Emisiones estimadas en los Recorridos 1 y 2 (fuente: elaboración propia)

	Vehículo ligero	Vehículo pesado
Emisiones en el Recorrido 1 (kg de CO ₂)	30,6	143,9
Emisiones en kg de CO ₂ en el Recorrido 2 (kg de CO ₂)	29,5	138,1
Diferencia de emisiones entre los Recorridos 1 y 2 (kg de CO ₂)	1,1	5,7
Diferencia de emisiones en kg de CO ₂ en un tramo de 46.2 km (tramo objeto de estudio) (kg de CO ₂)	0,250	1,241
Diferencia de emisiones en kg de CO ₂ entre los Recorridos 1 y 2 (kg de CO ₂ por kilómetro)	0,0054	0,0269

Puede verse que las emisiones en el recorrido 2 (pavimentado) son un 3,5% inferiores en el caso del vehículo ligero y un 4% inferiores para el vehículo pesado, en relación al recorrido 1 (en mal estado), dado que son proporcionales al consumo de combustible.

En la siguiente tabla se resumen los datos de ahorro de emisiones de CO₂ en este tramo, calculados a partir de los datos de tráfico en el tramo a los que se ha hecho referencia anteriormente:

Tabla 7: Ahorro de emisiones en el tramo objeto de estudio (fuente: elaboración propia).

	Vehículo ligero	Vehículo pesado
Ahorro de emisiones en el tramo analizado (kg de CO ₂ al día)	3.875	3.127
Ahorro de emisiones en el tramo analizado (kg de CO ₂ al año)	1.414.465	1.141.479
Ahorro de emisiones en el tramo analizado (toneladas de CO ₂ al año)	1.414	1.141



4

Discusión de resultados

Las mediciones realizadas en las pruebas reales de consumo de combustible y emisiones de CO₂ permiten extraer las siguientes conclusiones, asumiendo como hipótesis que el IRI en el tramo de estudio pasa de 2 m/km (antes de repavimentar) a 1 m/km (después de la operación de repavimentación):

- Las mediciones realizadas arrojan resultados de reducción de consumo de combustible y emisiones del 3,5% en vehículo ligero y 4% en vehículo pesado, que superan los datos registrados en la publicación “Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating costs” (National Cooperative Highway Research Programme, 2012); el citado estudio constaba reducciones de emisiones del 2% asociado a un cambio en el IRI de 2 m/km a 1 m/km, tanto para vehículo ligero (a 88 km/h y a 112 km/h) como pesado (a 88 km/h).

Las diferencias entre ambas investigaciones se registran en la siguiente tabla, donde figuran los resultados de las pruebas obtenidas y las hipótesis realizadas:

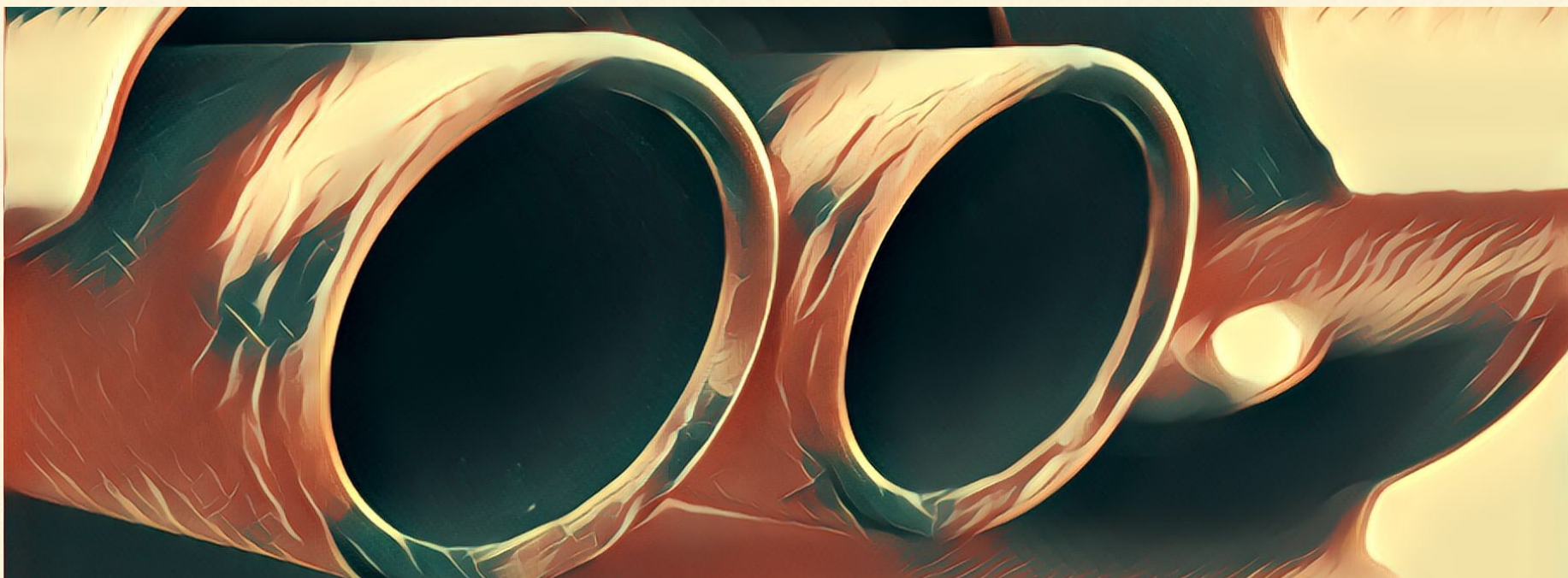


Tabla 8: Comparativa de reducción de consumo de combustible y emisiones en función del IRI (fuente: elaboración propia y datos del estudio “Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating costs” NCHRP, 2012)

		Reducción del consumo de combustible / emisiones	
		“Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating costs” (National Cooperative Highway Research Programme, 2012)	Datos e hipótesis de la Asociación Española de la Carretera ⁽²⁾
Vehículo ligero (112 km/h)	De IRI 2 m/km a 1 m/km	2%	3.5% (datos de pruebas reales)
	De IRI 3 m/km a 1 m/km	5%	8.75 % (hipótesis)
	De IRI 4 m/km a 1 m/km	7%	12.25% (hipótesis)
Vehículo ligero (88 km/h)	De IRI 2 m/km a 1 m/km	3%	5.25% (hipótesis)
	De IRI 3 m/km a 1 m/km	5%	8.75 % (hipótesis)
	De IRI 4 m/km a 1 m/km	8%	14% (hipótesis)
Vehículo pesado (88 km/h)	De IRI 2 m/km a 1 m/km	2%	4% (datos de pruebas reales)
	De IRI 3 m/km a 1 m/km	3%	6% (hipótesis)
	De IRI 4 m/km a 1 m/km	5%	10% (hipótesis)

- La reducción de consumo de combustible y emisiones de los vehículos ligeros y pesados que genera una mejora del estado de conservación del pavimento podría ser superior a la que se establece en estudios internacionales, según las pruebas realizadas por la Asociación Española de la Carretera.
- El IRI del tramo objeto de estudio, con valores próximos a 2 m/km, no refleja un mal estado de conservación del pavimento, por lo que las reducciones de emisiones registradas al repavimentar tramos que se encuentran en un muy mal estado de conservación (IRI superior a 3 m/km) arrojarían reducciones significativamente mayores que no es posible estimar con el estudio que se ha realizado. Sería necesario ampliar el ámbito de esta investigación para poder aportar más datos en este sentido.

(2) Los datos marcados como “hipótesis” son estimaciones realizadas de acuerdo a los datos obtenidos en las pruebas reales (factor multiplicador de 1,75 en el caso de vehículos ligeros y de 2 en el caso de los pesados).



5

Extrapolación a la red de carreteras española

Considerando los datos reflejados anteriormente, en este capítulo se realiza una extrapolación a la red de carreteras española, a partir de los datos que se obtuvieron en el estudio de la Asociación Española de la Carretera “Necesidades de Inversión en Conservación” mencionado anteriormente.

5.1. Hipótesis de partida

Los datos de partida hacen referencia al estado de conservación de la Red de Carreteras del Estado y de las Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales (un total de 101.700 kilómetros de red viaria), objeto del estudio:

- A partir de los datos de una muestra de 3.000 tramos de carreteras, se ha podido extrapolar que hay un total de 35.500 kilómetros de vías que presentan un deterioro estructural notable (superior a la tercera parte del total de la superficie de la vía); esto supone un 34% de la red viaria analizada. De ellos, la mayor parte son vías convencionales (aproximadamente 34.300 km), aunque algunas vías de gran capacidad presentan deterioros de este tipo (aproximadamente 1.200 km).
- Además, se han detectado otros 18.500 km de carreteras que, aunque no presentan deterioros estructurales graves, adolecen de deterioros superficiales que afectan negativamente a la conducción (superior a la mitad de los tramos analizados); esto supone un 19% de la red viaria analizada. De ellos, la

mayor parte son vías convencionales (aproximadamente 15.300 km), aunque algunas vías de gran capacidad presentan deterioros de este tipo (aproximadamente 3.200 km).

- Así, en este estudio se asume que el 53% de la red de carreteras de las Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales se encuentra en un mal estado de conservación, sin tener en cuenta el 47% restante; se trata, por tanto de una hipótesis de trabajo conservadora, puesto que el resto de la red necesitaría también, al menos en una parte, trabajos de repavimentación.

La siguiente tabla resume las hipótesis consideradas relativas al estado de la red viaria:

Tabla 9: Hipótesis de partida para la estimación de las posibilidades de reducción de consumo de combustible y emisiones asociada a una mejora del estado del pavimento (fuente: elaboración propia)

	Red de Carreteras del Estado, Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales (basado en datos de AEC)			Hipótesis de reducción de consumo de combustible y emisiones asociada a una mejora del pavimento
	Red de gran capacidad	Red convencional	Total	
Km de red con notable deterioro estructural	1.200 km	34.300 km	35.500 km	-8.75% (vehículos ligeros) -6% (vehículos pesados)
Km de red con notable deterioro superficial ³	3.200 km	15.300 km	18.500 km	-3.5% (vehículos ligeros, 112 km/h) -5.25% (vehículos ligeros, 88 km/h) -4% (vehículos pesados)

En los cálculos que se desarrollan a continuación se asumirá que los datos relativos a los vehículos ligeros circulando a 112 km/h se asimilan a la movilidad en vías de gran capacidad, mientras que los datos de 88 km/h son propios de circulación en carreteras convencionales. Para los vehículos pesados, se considerarán los datos relativos a 88 km/h.

En relación a los niveles de tráfico, se han considerado los valores medios extraídos del Anuario Estadístico del Ministerio de Fomento que figuran a continuación (4):

Tabla 10: Valores medios de tráfico (fuente: Anuario Estadístico del Ministerio de Fomento 2017)

	Intensidad Media Diaria total	% de vehículos pesados
Vías de gran capacidad (red del Estado y red autonómica)	25.000	13%
Vías convencionales (red del Estado y red autonómica)	4.000	8%

Por otro lado, aunque las redes de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells (63.900 km) no se consideraran en el estudio de la Asociación Española de la Carretera “Necesidades de Inversión en Conservación”, se puede asumir que el estado de conservación presenta una situación parecida por lo que, considerando los mismos porcentajes de red en mal estado que se han identificado previamente en la red del Estado, Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales, se podría asumir:

- El 34% de la red de Diputaciones, Cabildos y Consells presentaría deterioros estructurales graves, afectando a 21.700 km de red.
- Un 19% adicional de la red de Diputaciones, Cabildos y Consells presentaría deterioros superficiales graves, afectando a 12.100 km de red.

Cabe recordar que se trata, nuevamente, de una hipótesis de trabajo conservadora, puesto que se está asumiendo que el 47% restante de la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells se encontraría en buenas condiciones de conservación.

Así, en este estudio se asume que el 53% de la red de carreteras de las Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales se encuentra en un mal estado de conservación, por lo que no se están considerando las necesidades del 47% restante.

(3) Kilómetros que no están incluidos en la fila anterior

(4) Se asumen los datos de tráfico de la Red de Carreteras del Estado



La siguiente tabla resume las hipótesis consideradas relativas al estado de la red provincial:

Tabla 11: Hipótesis de partida para la estimación de las posibilidades de reducción de emisiones asociadas a una mejora del estado del pavimento en la red provincial

	Red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells (estimado)	Hipótesis de reducción de emisiones asociada a una mejora del pavimento
Km de red con notable deterioro estructural	21.700 km	-8.75% (vehículos ligeros) -6% (vehículos pesados)
Km de red con notable deterioro superficial ⁵	12.100 km	-3.5% (vehículos ligeros, 112 km/h) -5.25% (vehículos ligeros, 88 km/h) -4% (vehículos pesados)

De cara a la consideración de los niveles de tráfico, se asumen los siguientes valores medios extraídos del Anuario Estadístico del Ministerio de Fomento:

Tabla 12: Valores medios de tráfico en la red provincial (Fuente: Anuario Estadístico del Ministerio de Fomento 2017)

Vías de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells	Intensidad Media Diaria total	% de vehículos pesados
	600	8%

5.2. Consumo de combustible

De acuerdo con las hipótesis de partida, se asumen los siguientes datos relativos a la reducción de consumo de combustible que se puede alcanzar por kilómetro recorrido de vehículo ligero y pesado:

Ahorro de combustible

La mejora del estado de conservación del pavimento en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales permitiría ahorrar un total de 556.192.762 litros de combustible al año



Tabla 13: Estimaciones de reducción de emisiones en las hipótesis consideradas (fuente: elaboración propia)

	Hipótesis de reducción de consumo de combustible asociada a una mejora del pavimento	Consumo de combustible tras repavimentar (l/km)	Reducción de consumo de combustible (l/km)
Km de red con notable deterioro estructural	-8.75% (veh. ligeros, 112 km/h)	0,0564	0,0054
	-8.75% (veh. ligeros, 88 km/h)	0,0564	0,0054
	-6% (veh. pesados)	0,2441	0,0156
Km de red con notable deterioro superficial ⁶	-3.5% (veh. ligeros, 112 km/h)	0,0564	0,0020
	-5.25% (veh. ligeros, 88 km/h)	0,0564	0,0031
	-4% (veh. pesados)	0,2440	0,0102

5.2.1. Estimaciones de la reducción de consumo de combustible en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales

Aplicando las hipótesis anteriores a la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales, se pueden obtener los siguientes resultados relativos a la reducción de consumo de combustible asociada a la mejora del estado del pavimento:

Red de carreteras con un notable deterioro estructural. Hipótesis de reducción de consumo de combustible del 8,75% en vehículos ligeros y del 6% en vehículos pesados.

Tabla 14: Estimación de reducción de consumo de combustible anual con un notable deterioro estructural (red del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales) (Fuente: elaboración propia)

Reducción de consumo de combustible en vías de gran capacidad (litros al año)			Reducción de consumo de combustible en red convencional (litros al año)			Reducción de consumo de combustible total (litros al año)
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	
49.616.362	21.363.694	70.980.056	249.137.089	62.426.340	311.563.429	382.543.486

Red de carreteras con un notable deterioro superficial. Hipótesis de reducción de consumo de combustible del 3,5% en vehículos ligeros en vías de gran capacidad, del 5,25% en vehículos ligeros en carreteras convencionales y del 4% en vehículos pesados en cualquier tipo de vía.

Tabla 15: Estimación de reducción de consumo de combustible anual con un notable deterioro superficial (red del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales) (Fuente: elaboración propia)

Reducción de consumo de combustible en vías de gran capacidad (litros al año)			Reducción de consumo de combustible en red convencional (litros al año)			Reducción de consumo de combustible total (litros al año)
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	
52.241.866	38.821.286	91.063.151	64.366.159	18.219.965	82.586.124	173.649.276

Por lo tanto, la mejora del estado de conservación del pavimento en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales permitiría ahorrar un total de 556.192.762 litros de combustible al año.



5.2.2. *Estimaciones de la reducción de consumo de combustible en la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells*

Aplicando las hipótesis anteriores a la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells, se pueden obtener los siguientes resultados relativos a la reducción de consumo de combustible asociada a la mejora del estado del pavimento:

Red de carreteras con un notable deterioro estructural. Hipótesis de reducción de consumo de combustible del 8,75% en vehículos ligeros y del 6% en vehículos pesados.

Tabla 16: Estimación de reducción de consumo de combustible en tramos con un notable deterioro estructural (red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells) (Fuente: elaboración propia)

Reducción de consumo de combustible (litros al año)		
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total
23.637.777	5.922.924	29.560.701

Red de carreteras con un notable deterioro superficial. Hipótesis de reducción de consumo de combustible del 3,5% en vehículos ligeros en vías de gran capacidad, del 5,25% en vehículos ligeros en carreteras convencionales y del 4% en vehículos pesados en cualquier tipo de vía.

Tabla 17: Estimación de reducción de consumo de combustible en tramos con un notable deterioro superficial (red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells) (Fuente: elaboración propia)

Reducción de consumo de combustible (litros al año)		
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total
7.616.180	2.155.893	9.772.072

Estimación

Un buen estado de conservación del pavimento permitiría reducir el consumo de combustible un mínimo de 595.525.535 litros al año



Se puede observar que la mejora del estado de conservación del pavimento en la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells, según las estimaciones realizadas, permitiría ahorrar un total de 39.332.773 litros de combustible al año.

5.2.3. Resumen de estimaciones de reducción de consumo de combustible

Los apartados anteriores ponen de manifiesto que un buen estado de conservación del pavimento permitiría reducir el consumo de combustible un mínimo de 595.525.535 litros al año.

5.3. Emisiones

De acuerdo con las hipótesis de partida, se asumen los siguientes datos relativos a la reducción de emisiones que se puede alcanzar por kilómetro recorrido de vehículo ligero y pesado:

Tabla 18: Estimaciones de reducción de emisiones en las hipótesis consideradas (fuente: elaboración propia)

	Hipótesis de reducción de emisiones asociada a una mejora del pavimento	Emisiones tras repavimentar (kg CO ₂ /km)	Reducción de emisiones (kg CO ₂ /km)
Km de red con notable deterioro estructural	-8.75% (veh. ligeros, red de gran capacidad)	0,1483	0,01422
	-8.75% (veh. ligeros, red convencional)	0,1483	0,01422
	-6% (veh. pesados)	0,6410	0,0409
Km de red con notable deterioro superficial ⁷	-3.5% (veh. ligeros, red de gran capacidad)	0,1483	0,0054
	-5.25% (veh. ligeros, red convencional)	0,1483	0,0082
	-4% (veh. pesados)	0,6410	0,0268

5.3.1. Estimaciones de la reducción de emisiones en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales

Aplicando las hipótesis anteriores a la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales, se pueden obtener los siguientes resultados relativos a la reducción de emisiones asociada a la mejora del estado del pavimento:

- Red de carreteras con un notable deterioro estructural. Hipótesis de reducción de emisiones del 8,75% en vehículos ligeros y del 6% en vehículos pesados.

Tabla 19: Estimación de reducción de emisiones con un notable deterioro estructural (red del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales (Fuente: elaboración propia)

Reducción de emisiones en vías de gran capacidad (T CO ₂ al año)			Reducción de emisiones en red convencional (T CO ₂ al año)			Reducción de emisiones total (emisiones)
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	
130.448	56.090	186.537	655.231	163.953	819.183	1.005.721



Ahorro de CO2

La mejora del estado de conservación del pavimento en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales permitiría ahorrar un total de 1.463.815 Toneladas de CO2 al año.

- Red de carreteras con un notable deterioro superficial. Hipótesis de reducción de emisiones del 3,5% en vehículos ligeros en vías de gran capacidad, del 5,25% en vehículos ligeros en carreteras convencionales y del 4% en vehículos pesados en cualquier tipo de vía.

Tabla 20: Estimación de reducción de emisiones con un notable deterioro superficial (red del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales (Fuente: elaboración propia)

Reducción de emisiones en vías de gran capacidad (T CO ₂ al año)			Reducción de emisiones en red convencional (T CO ₂ al año)			Reducción de emisiones total (emisiones)
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total	
138.419	102.534	240.953	169.288	47.853	217.142	458.094

Por lo tanto, la mejora del estado de conservación del pavimento en la red de carreteras del Estado y de Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales permitiría ahorrar un total de 1.463.815 Toneladas de CO2 al año.

5.3.2. Estimaciones de la reducción de emisiones en la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells

Aplicando las hipótesis anteriores a la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells, se pueden obtener los siguientes resultados relativos a la reducción de emisiones asociada a la mejora del estado del pavimento:

- Red de carreteras con un notable deterioro estructural. Hipótesis de reducción de emisiones del 8,75% en vehículos ligeros y del 6% en vehículos pesados.

Ahorro de CO2

La mejora del estado de conservación del pavimento en la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells, según las estimaciones realizadas, permitiría ahorrar un total de 103.416 Toneladas de CO2 al año



Tabla 21: Estimación de reducción de emisiones con un notable deterioro estructural (red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells) (Fuente: elaboración propia)

Reducción de emisiones (T CO ₂ al año)		
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total
62.167	15.556	77.723

- Red de carreteras con un notable deterioro superficial. Hipótesis de reducción de emisiones del 5,25% en vehículos ligeros en carreteras convencionales y del 4% en vehículos pesados en cualquier tipo de vía.

Tabla 22: Estimación de reducción de emisiones con un notable deterioro superficial (red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells) (Fuente: elaboración propia)

Reducción de emisiones (T CO ₂ al año)		
Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Total
20.031	5.662	25.693

Se puede observar que la mejora del estado de conservación del pavimento en la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells, según las estimaciones realizadas, permitiría ahorrar un total de 103.416 Toneladas de CO₂ al año.

5.3.3 Resumen de estimaciones de reducción de emisiones

Los apartados anteriores ponen de manifiesto que un buen estado de conservación del pavimento permitiría reducir un mínimo de 1.567.231 Toneladas de CO₂ al año; es decir, prácticamente un millón de toneladas de CO₂ al año.



6

Otros impactos derivados del estado de conservación de las carreteras

Además de los datos anteriormente citados, existen otros impactos en derivados del mal estado de conservación de las carreteras en la circulación, que presentan dificultades en su medición. A continuación se citan algunos de ellos:

- Seguridad de la circulación.

Si bien no ha sido posible cuantificar la relación entre el estado de conservación del pavimento y la seguridad de la circulación, parece claro que una carretera en buen estado proporciona una mayor comodidad para sus usuarios, que pueden centrarse en la conducción, en la presencia de otros usuarios y en procesar la información que les proporciona la señalización y otros elementos del equipamiento viario. De esta manera, se proporciona un entorno adecuado para la reducción de la accidentalidad.

En el caso de los usuarios vulnerables (ciclistas y motociclistas), el estado del pavimento es fundamental en su seguridad, puesto que se pueden generar accidentes con consecuencias muy graves debidos a la presencia de baches, agrietamientos, roderas, etc.



Ilustración 3. Grieta en el pavimento. Fuente: Pixabay

IRI

La mejora en el IRI trae consigo reducciones del desgaste de los neumáticos, así como de los daños en el vehículo

- Desgaste de los neumáticos.

Algunos estudios citan una reducción del desgaste de los neumáticos del 3% al pasar de un IRI de 3 m/km a 1 m/km para vehículos ligeros y del 2% para vehículos pesados.



Ilustración 4. Neumático. Fuente: Pixabay

- Daños en el vehículo.

Asimismo, se han documentado reducciones de daños en el vehículo asociados a un buen estado del pavimento, que comienzan a manifestarse cuando se pasa de IRI igual o superior a 4 m/km a IRI de 1 m/km.

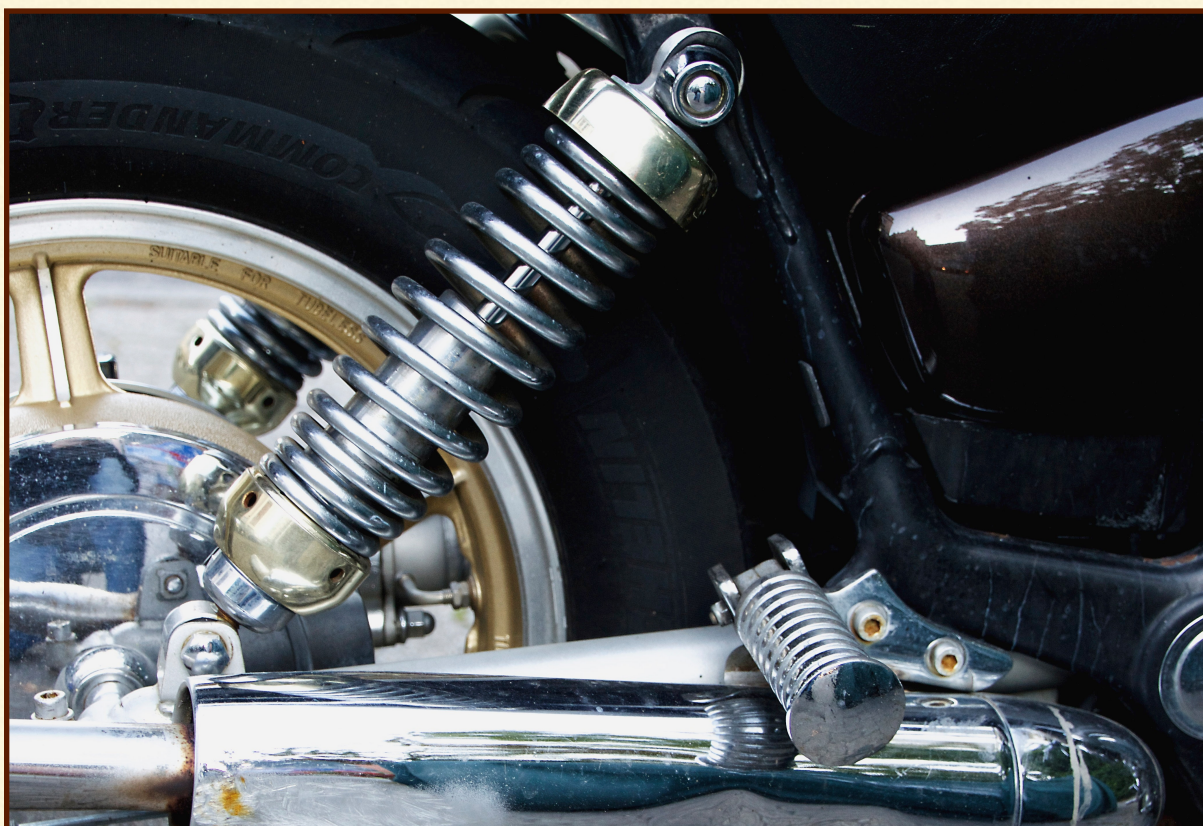
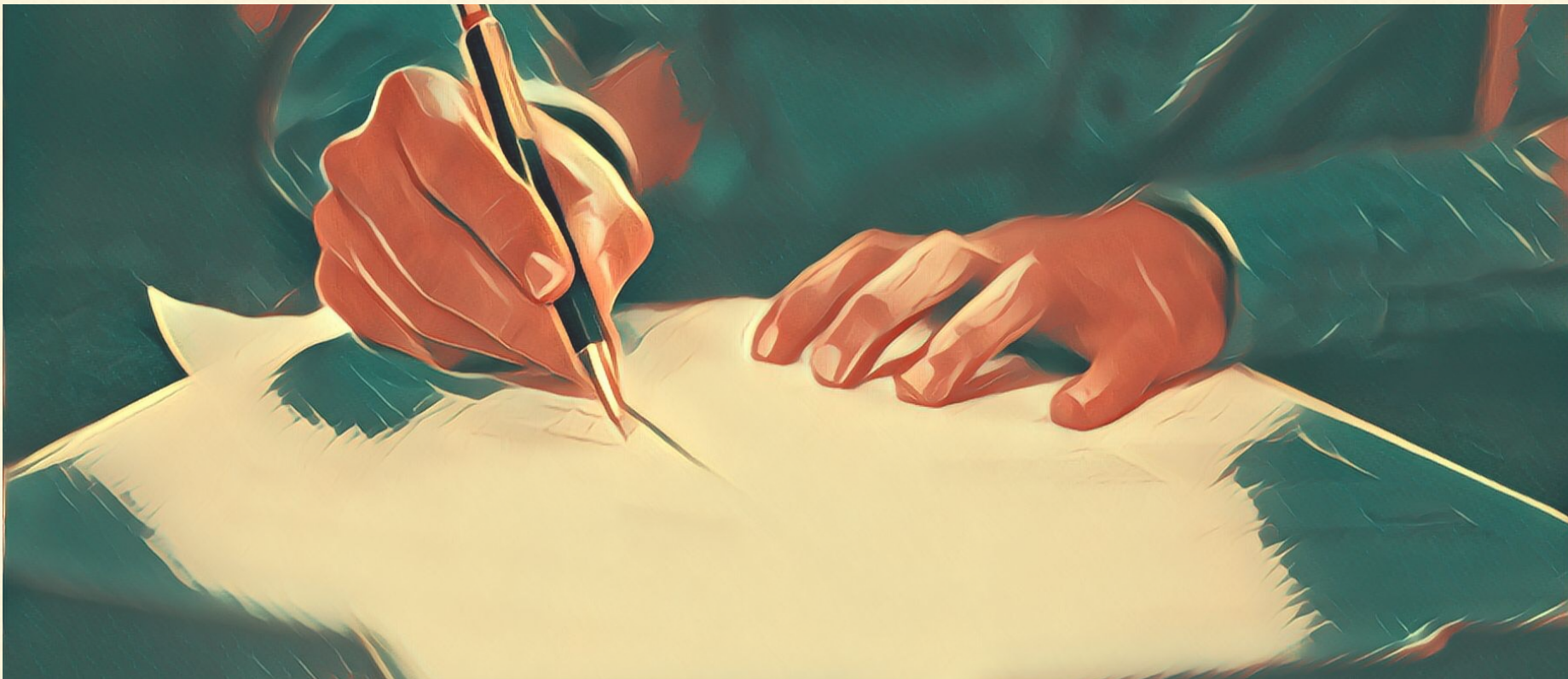


Ilustración 5. Amortiguador de motocicleta. Fuente: Pixabay



7

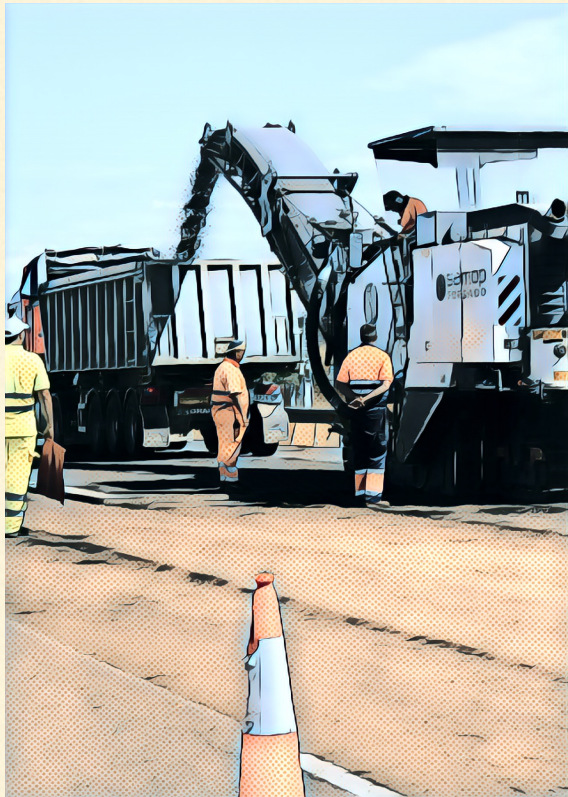
Conclusiones

Como resultado del estudio “Relación entre las emisiones de los vehículos y el estado de conservación del pavimento” se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Mejorar el estado de conservación del pavimento en las redes de carreteras interurbanas de España permitiría a los ciudadanos ahorrar un total de 595.525.535 litros de combustible anuales, según se observa en la siguiente tabla:

Tabla 23: Tabla resumen de potencial reducción de consumo de combustible asociado a la mejora del pavimento (fuente: elaboración propia)

	Estimación de reducción de consumo de combustible (litros al año)
En la red de Carreteras del Estado, Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales	556.192.762
En la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells	39.332.773
Total	595.525.535



- Mejorar el estado de conservación del pavimento en las redes de carreteras interurbanas de España permitiría ahorrar un total de 1.567.231 Toneladas de CO₂ anuales, según se observa en la siguiente tabla:

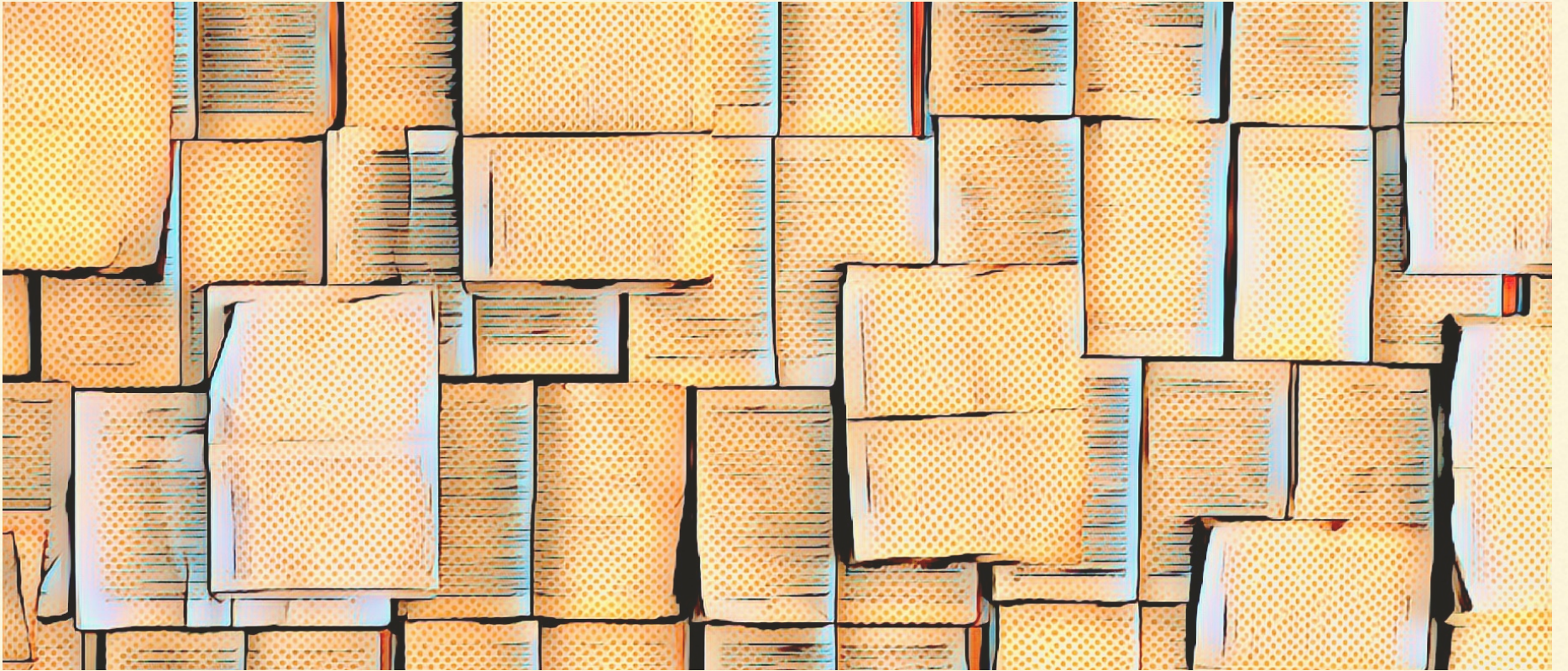
Tabla 24: Tabla resumen de potencial reducción de emisiones de CO₂ asociada a la mejora del pavimento (fuente: elaboración propia)

	Estimación de reducción de emisiones (Toneladas CO ₂ al año)
En la red de Carreteras del Estado, Comunidades Autónomas y Diputaciones Forales	1.463.815
En la red de Diputaciones Provinciales, Cabildos y Consells	103.416
Total	1.567.231

- Las estimaciones realizadas son muy inferiores a lo que se podría obtener, dado que no se ha considerado la potencial reducción de emisiones asociada a un muy mal estado de conservación, por lo que las hipótesis de partida pueden asumirse como conservadoras. Es preciso recordar que se ha asumido que el 47% de la red no necesitaría trabajos de repavimentación.
- Los resultados permiten valorar que la potencialidad de reducción de las emisiones de los vehículos pesados pueden ser superiores a lo que se establece en estudios de referencia internacionales e incluso a las que pueden registrarse para vehículos ligeros, aspecto fundamental en un país como España, con un elevado tráfico de vehículos pesados en toda la red viaria.
- La falta de inversión en conservación de los pavimentos compromete la consecución de los objetivos de reducción de emisiones por parte de España.

El estudio que se presenta en este documento permite abrir nuevas líneas de investigación como las que figuran a continuación, en las que sería necesario profundizar para dar mayor consistencia a los resultados obtenidos:

- Realizar mediciones de consumo de combustible de vehículos ligeros y pesados a distintas velocidades de circulación en distintas condiciones del pavimento, registrando el IRI, de manera que se pudieran valorar las emisiones asociadas a diferentes valores de IRI.
- Aumentar la muestra de mediciones, garantizado la representatividad y repetitividad del estudio.



8

Referencias

- National Cooperative Highway Research Programme – Report 720 Estimating the Effects of Pavement Condition on Vehicle Operating costs, Transport Research Board, 2012.
- Evolution and harmonization of evenness evaluation techniques , Bjarne Schmidt, Danish Road Institute, Report 94, 1999.
- Sime, M., et al., WesTrack Track Roughness, Fuel consumption, and Maintenance Costs, Tech Brief published by Federal Highway Administration, Washington, DC., 2000.
- Road Pavement Industries highlight huge CO₂ savings offered by maintaining and upgrading roads. EAPA, EUPAVE and FEHRL, 2015.
- Li, Q. et al. How the roadway pavement roughness impacts vehicle emissions?. Environment Pollution and Climate Change, 2017. DOI: 1.4172/2573-458X.1000134.
- Anuario Estadístico del Ministerio de Fomento 2017.
- Mapa de Tráfico 2017. Ministerio de Fomento.

Con el patrocinio de:



C/ Goya 23. 4º derecha

28001. Madrid

www.aecarretera.com