

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

CURSO 2015/2016

ALUMNO: MAURO MANUEL GIL BORREGUERO

TUTOR: DR. SALVADOR CAPUZ RIZO

ÍNDICE

1. DESARROLLO SOSTENIBLE	2
1.1. POBLACIÓN MUNDIAL	4
1.2. RECURSOS UTILIZADOS	6
1.3. DESIGUALDAD SOCIAL.....	9
2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA Y ECOEFICIENCIA.....	11
2.1. DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ACV.....	12
2.2. ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA	13
2.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA.....	14
2.3.1. <i>Categorías de impacto e indicadores de impacto</i>	15
2.3.2. <i>Clasificación</i>	16
2.3.3. <i>Caracterización</i>	16
2.3.4. <i>Normalización</i>	16
2.4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	16
2.5. ECO-EFICIENCIA.....	16
3. IMPACTO AMBIENTAL EN AUTOMÓVILES.....	19
3.1. FASES DEL CICLO DE VIDA DEL AUTOMÓVIL Y ESTRATEGIAS PARA MINIMIZAR EL IMPACTO.....	19
3.2. PERIODO DE VIDA DE LOS GASES CONTAMINANTES	21
3.2.1. <i>Compuestos con periodo de vida corto:</i>	21
3.2.2. <i>Compuestos con periodo de vida largo:</i>	21
3.3. EL EFECTO INVERNADERO.....	22
3.4. NORMATIVA SOBRE EMISIONES.....	23
3.4.1. <i>Monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC)</i>	24
3.4.2. <i>Óxidos de nitrógeno (NO_x)</i>	27
3.4.3. <i>Partículas de hollín (PM):</i>	30
3.4.4. <i>Óxido de azufre (SO₂):</i>	31
3.4.5. <i>Dióxido de Carbono (CO₂):</i>	32
4. CICLO DE VIDA DEL AUTOMÓVIL	35
4.1. EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE LAS MATERIAS PRIMAS.....	35
4.2. FABRICACIÓN DEL VEHÍCULO.....	36
4.3. USO Y REPARACIONES	39
4.3.1. <i>Uso del vehículo</i>	39
4.3.2. <i>Reparaciones</i>	41
4.4. FIN DE VIDA Y TRATAMIENTO COMO RESIDUO	42
4.4.1. <i>Proceso de los VFU</i>	44
5. PRODUCT SERVICE SYSTEM (PSS).....	45
5.1. ELEMENTOS Y CRITERIOS QUE COMPONEN EL PSS.....	46
5.1.1. <i>Elementos</i>	46
5.1.2. <i>Criterios para la factibilidad del PSS</i>	47
5.2. CLASIFICACIÓN DE LOS PSS	48
5.3. REUTILIZACIÓN DE EQUIPAMIENTOS (REMANUFACTURING).....	48
5.3.1. <i>Factores a tener en cuenta en la refabricación</i>	50
5.4. EJEMPLO DE REMANUFACTURING: NEUMÁTICOS	51
5.5. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL CAR-SHARING	52
5.5.1. <i>Car Sharing y patrón de consumo</i>	52
5.5.2. <i>Características de los usuarios de Car Sharing</i>	52

5.5.3.	<i>Uso del vehículo privado</i>	54
6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL VEHÍCULO PRIVADO EN ESPAÑA	56
6.1.	KILÓMETROS MEDIOS RECORRIDOS	56
6.1.1.	<i>Kilómetros recorridos por tipo de combustible y sexo</i>	56
6.1.2.	<i>Kilómetros recorridos por edad y tipo de combustible</i>	57
6.1.3.	<i>Kilómetros recorridos por sexo y antigüedad del vehículo</i>	57
6.2.	PORCENTAJE DE VEHÍCULOS	58
6.2.1.	<i>Antigüedad del vehículo</i>	58
6.2.2.	<i>Lugar de aparcamiento</i>	60
6.3.	PARQUE AUTOMOVILÍSTICO	61
6.3.1.	<i>Porcentaje de vehículos de turismo, furgoneta y moto</i>	61
6.3.2.	<i>Parque de vehículos y número de habitantes</i>	62
6.3.3.	<i>Parque de vehículos de turismo por edad y sexo</i>	63
7.	ANÁLISIS DE COSTES ECONÓMICOS DEL VEHÍCULO PRIVADO	65
7.1.	COSTE FINANCIERO	65
7.2.	COSTES FIJOS ANUALES	66
7.2.1.	<i>Coste del seguro</i>	67
7.2.2.	<i>Coste de la plaza de garaje</i>	68
7.2.3.	<i>Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica</i>	69
7.2.4.	<i>Impuesto de matriculación</i>	70
7.2.5.	<i>Inspección Técnica de Vehículos (ITV)</i>	71
7.2.6.	<i>Coste del autolavado</i>	73
7.3.	COSTES VARIABLES ANUALES	75
7.3.1.	<i>Consumo de combustible</i>	75
7.3.2.	<i>Coste de las revisiones de mantenimiento</i>	77
7.3.3.	<i>Coste de los neumáticos</i>	78
7.3.4.	<i>Costes Fijos y Costes Variables</i>	80
7.3.5.	<i>Resumen de Costes</i>	84
8.	PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTES DE LAS EMPRESAS DE CAR SHARING EN ESPAÑA	86
8.1.	EMPRESA BLUEMOVE	86
8.2.	EMPRESA RESPIRO CAR SHARING	86
8.3.	EMPRESA AVANCAR	87
8.4.	EMPRESA CAR2GO	87
8.5.	ANÁLISIS DE COSTES DEL USO DE CAR SHARING	89
8.6.	CONSIDERACIONES PREVIAS	89
8.7.	MÉTODO DE CÁLCULO	94
8.8.	EMPRESA BLUEMOVE	95
8.9.	EMPRESA RESPIRO CAR SHARING	97
8.10.	EMPRESA AVANCAR	99
8.11.	COMPARATIVA	100
9.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE COSTES ECONÓMICOS	101
9.1.	COSTES ECONÓMICOS DEL VEHÍCULO PRIVADO	101
9.2.	COSTES ECONÓMICOS DE CAR SHARING	103
9.3.	COMPARATIVA: VEHÍCULO PRIVADO VS VEHÍCULO COMPARTIDO	105
9.3.1.	<i>Coste vehículo privado sin coste financiero respecto car sharing</i>	106
9.3.2.	<i>Coste máximo del vehículo privado respecto car sharing</i>	107

9.3.3.	<i>Coste mínimo del vehículo privado respecto car sharing</i>	107
9.3.4.	<i>Conclusión del análisis de sensibilidad de costes económicos</i>	108
10.	ANÁLISIS DE COSTES AMBIENTALES	109
10.1.	PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL ANÁLISIS AMBIENTAL.....	109
10.2.	MÉTODO DE OBTENCIÓN DE LAS EMISIONES	111
10.3.	IMPACTO AGRUPADO POR CATEGORÍAS DE IMPACTO.....	114
10.4.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL IMPACTO EN CAR SHARING	118
11.	RELACIÓN IMPACTO AMBIENTAL Y COSTE ECONÓMICO	119
11.1.	IMPACTO AMBIENTAL Y COSTE ECONÓMICO POR TIPO DE COMBUSTIBLE	121

1. DESARROLLO SOSTENIBLE

El concepto Desarrollo Sostenible se consolidó en 1987 en el informe *Nuestro Futuro Común* desarrollado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

En dicho informe se define Desarrollo Sostenible como “Aquél que satisface las necesidades presentes sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras.” Posteriormente se ha definido Desarrollo Sostenible como el área en la que convergen los aspectos Económicos, Ecológicos y Sociales del diseño (Öberg, 2005).

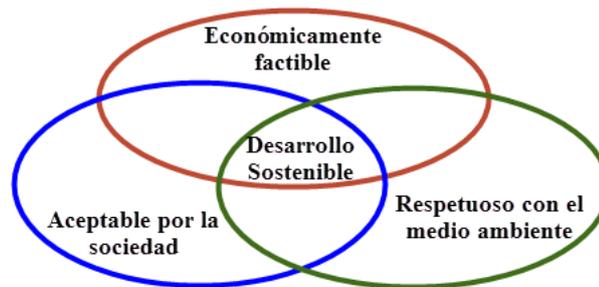


Figura 1: Desarrollo sostenible. Fuente: (Öberg, 2005)

Las diferentes definiciones de sostenibilidad se apoyan en tres criterios, elementos o pilares, como por ejemplo la sostenibilidad basada en criterios. Éstos son de tipo Económico, Humano y Ambiental.

- Económico: Realizable con tecnología adecuada
- Humano: Socialmente aceptada y deseada
- Ambiental: Ecológicamente no degradante

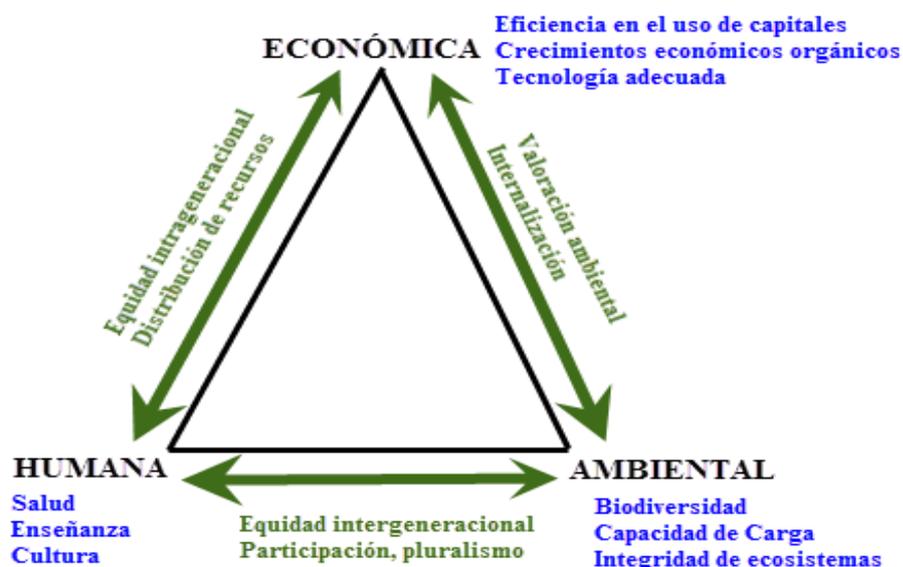


Figura 2: Sostenibilidad basada en criterios. Fuente: (Xercavins, Cayuela, Cervantes, & Sabater, 2005)

Todas las definiciones proponen un cambio de paradigma ya que con la actividad humana se han desarrollado los factores económicos y humanos a expensas de los factores ambientales, se ha confundido el concepto de Desarrollo Sostenible con el concepto de Crecimiento Económico, cuyo indicador es el incremento de la producción de bienes y servicios, en perjuicio de los recursos naturales, que son limitados.

Estos tres aspectos afectan a la capacidad de carga de la Tierra, que es el número máximo de humanos que el planeta puede soportar de forma sostenida en el tiempo. Se trata de un concepto complejo pues según las necesidades que se consideren satisfechas, los recursos utilizados y la tecnología disponible, la capacidad de carga varía.

Desde principio del siglo XX se observa que se están alcanzando los límites de la capacidad de carga del planeta. Estos límites dependen fundamentalmente de tres factores básicos, relacionados con los aspectos del Desarrollo Sostenible:

- La población mundial, cuyo número se ha duplicado por 6 durante el último siglo
- Los recursos utilizados en la producción industrial, que da lugar a los problemas de escasez y generación de cada vez mayor cantidad de residuos
- La distribución de la renta, que genera cada vez mayores desequilibrios sociales

Según el informe de 1972 “Los Límites del Crecimiento”, encargado por el Club de Roma a un grupo de investigadores del MIT, si se mantienen los ritmos de crecimiento de población, contaminación ambiental y agotamiento de recursos a causa de la industrialización, el planeta alcanzará su límite de crecimiento dentro de los próximos 100 años, lo que dará lugar según dicha publicación a un descenso brusco de población. En dicho informe se analizan 5 variables y se hace una predicción de cada una de ellas: Población, cantidad de alimentos en referencia a la producción agrícola, producción industrial, la contaminación y las reservas de recursos no renovables.

Para dicho análisis se creó un programa informático llamado World3, que realiza una simulación de la evolución de las 5 variables en un periodo entre 1900 y 2100. En 2004 se realizó una revisión de la publicación llamada “Los Límites del Crecimiento: 30 años después”, utilizando los datos existentes hasta esa fecha con el mismo programa, dando lugar a un resultado similar en ambos casos, como se observa en la figura siguiente:

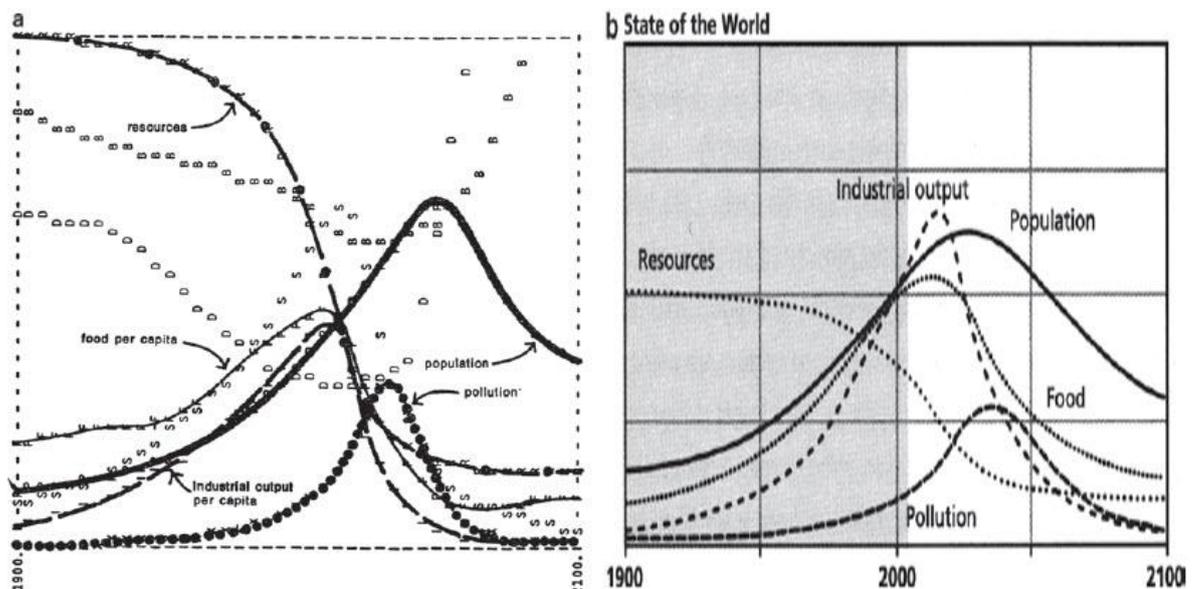


Figura 3: Resultados de la simulación del modelo en 1972 y en 2004 respectivamente. Fuente: (Bardi, 2011)

Según la simulación, en ambos casos se aprecia una fuerte caída de la disponibilidad de recursos, lo que origina una disminución de la producción industrial, que daría como resultado una gran caída de la disponibilidad de alimento y finalmente una caída de la población a partir de 2050.

Los detractores del modelo sostienen que esta simulación tiene fuertes simplificaciones. No se han modelizado los flujos de materiales entre naciones, ni la contribución de los océanos a la alimentación, los datos de los diferentes recursos no renovables se promediaron como un solo recurso y solamente se consideró un tipo de contaminación ambiental (Nalder, 1993).

1.1. Población Mundial

La figura siguiente muestra una estimación del crecimiento de la población a lo largo del tiempo, desde el 10.000 A.C. hasta el año 2.000 D.C.

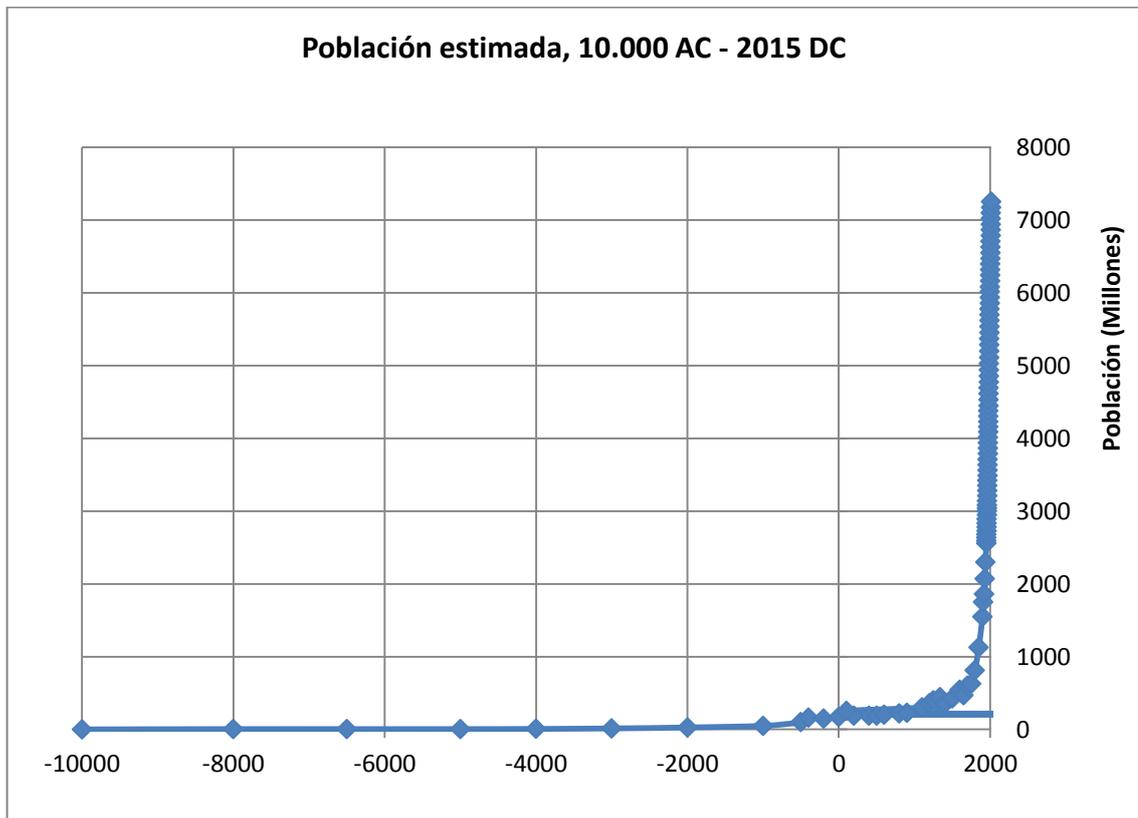


Figura 4: Crecimiento de la población desde el Neolítico hasta la actualidad. Fuente: (U.S. Census Bureau)

En dicha gráfica vemos que se producen dos saltos trascendentales: El primer salto demográfico se da en torno al 10.000 A.C., y se debe al descubrimiento de la agricultura y la domesticación de animales. El hombre deja de depender de los ecosistemas para sobrevivir y comienza a producir recursos en cantidad muy superior a la que se producía en la naturaleza, lo que se conoce como Revolución Neolítica. En términos de capacidad de carga expresada como magnitud de densidad (habitantes/km²), la superficie de cultivo necesaria de los primeros agricultores se redujo enormemente respecto a la que necesitaba un mismo colectivo de cazadores-recolectores para sobrevivir, es decir, se produjo un salto de productividad de la tierra que dio pie a un aumento de la población.

De la misma manera, con la explotación de los combustibles fósiles, primero carbón y después el petróleo debido a la invención de la máquina de vapor en primer lugar y posteriormente al motor de combustión interna, se produjo la Revolución Industrial y con ello comenzó a sustituirse el trabajo humano y el transporte de tiro animal por máquinas, fundamentalmente en la industria textil y en el ferrocarril respectivamente, dando de nuevo un salto de productividad que originó un gran aumento demográfico, primero en Inglaterra y poco después en los países europeos que se fueron industrializando. Mientras que durante el siglo XIX la población en Europa aumentó en más del doble, en el resto de continentes la población apenas aumentó en un 20% (Cameron, 2000).

Sin embargo el aumento más espectacular es el del periodo 1960-2000:

	POBLACIÓN ESTIMADA (MILLONES DE PERSONAS)						
	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2012
OCEANIA	15,8	19,7	23	27	31,2	36,7	37,8
EUROPA	605,5	657,4	694,5	723,2	729,1	740,3	742
AMERICA DEL NORTE	204,4	231,4	254,8	282,3	315,4	346,5	352,5
AMERICA LATINA	220,4	287,6	364,2	445,2	526,3	596,2	609,8
AFRICA	285,3	366,5	478,5	630	808,3	1031,1	1083,5
ASIA	1694,6	2128,6	2634,2	3213,1	3717,4	4165,4	4254,5
TOTAL MUNDO	3026	3691,2	4449,2	5320,8	6127,7	6916,2	7080,1

Tabla 1: Estimación de la población mundial, 1960-2012. Elaboración propia a partir de:(U.S. Census Bureau)

Como se aprecia en la tabla 1, la población ha pasado de 3000 millones a más de 7000 millones de personas en 50 años. Pero este aumento de población no se ha producido en la misma medida en todas las regiones del planeta sino que en Europa y América del Norte, en el periodo 1960-2012 el incremento de población ha sido del 22,5% y 72,5% respectivamente, mientras que en Asia y África, el aumento ha sido del 151,1% y el 279,8%. En la figura siguiente se aprecia con mayor claridad la diferencia entre los ritmos de crecimiento de cada continente.

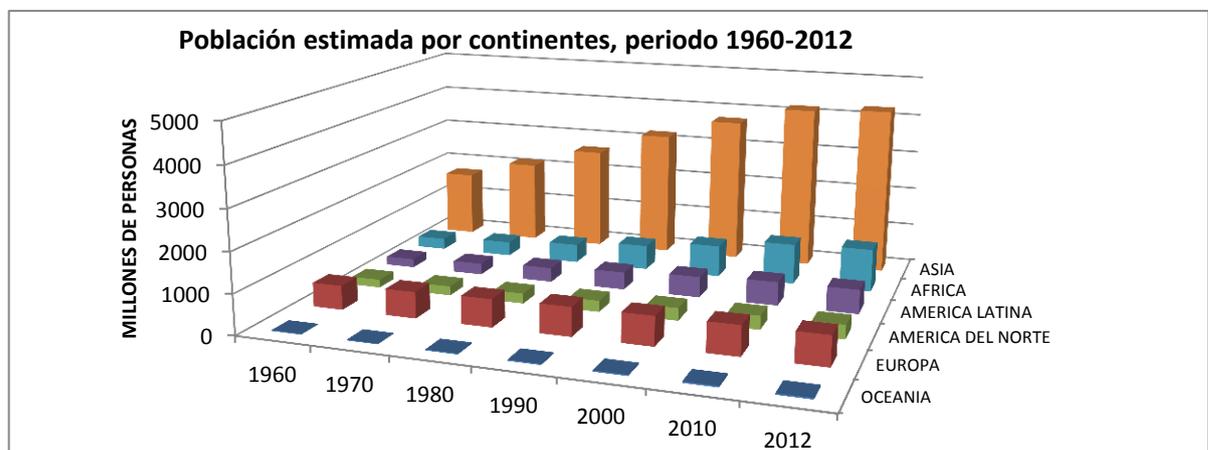


Figura 5: Población estimada por continentes. Elaboración propia a partir de: (U.S. Census Bureau)

Este enorme aumento de población se debe en parte al fenómeno del baby boom tras la segunda guerra mundial en Europa y América del Norte, pero sobre todo es debido al fenómeno de la transición demográfica en los países en vías de desarrollo, ya que en estos países ha disminuido la tasa de mortalidad por la mejora de la sanidad e higiene, aunque se sigue manteniendo una tasa de natalidad elevada. El desequilibrio entre la tasa de natalidad y mortalidad es lo que provoca el aumento de población.

1.2. Recursos utilizados

Los recursos que utiliza el hombre se pueden clasificar de manera básica en tres tipos: Renovables, no renovables y potencialmente renovables.

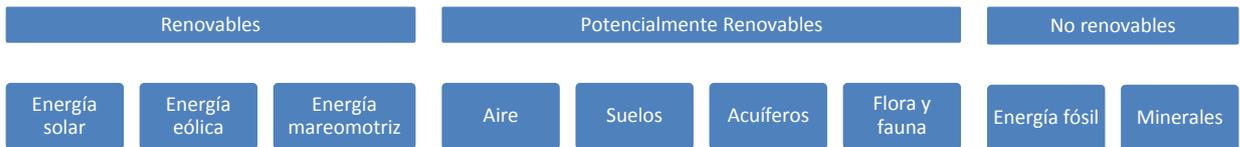


Figura 6: Clasificación de los recursos. Fuente: (biología sur)

Los recursos renovables son aquellos cuyo stock puede regenerarse mediante procesos naturales (Deacon, 1997). Los recursos renovables también son llamados inagotables, como por ejemplo la energía solar, eólica o mareomotriz. Los recursos potencialmente renovables son aquellos que se pueden regenerar en un periodo corto de tiempo, inferior a una vida humana. Por ejemplo el aire, el suelo, los acuíferos y la biodiversidad, aunque se trata de una clasificación relativa, ya que algunos acuíferos se recargan tan lentamente que podría considerarse como un recurso no renovable. Por último, los recursos no renovables o bien no pueden regenerarse, o de hacerlo necesitan periodos de tiempo muy largos. Éste es el caso de la energía fósil. En un año se consume la misma energía fósil que la generada por la naturaleza en medio millón de años (Korswagen & Räuchle, 2000).

Para los recursos renovables y potencialmente renovables, la cuestión que se plantea es la posibilidad de utilizarlos de forma equitativa y a un ritmo de consumo no superior al de su reposición, mientras que para los recursos no renovables la problemática es la del tiempo estimado en agotarse las reservas frente al tiempo requerido para sustituir dicho recurso por uno renovable.

Se puede hacer una estimación de la duración en años que se podrán seguir consumiendo los recursos no renovables al ritmo de consumo actual mediante el cociente entre las reservas conocidas de estos recursos, dividido por el consumo anual. En la figura siguiente se aprecia la evolución de dicho ratio entre 1968 y 1988.

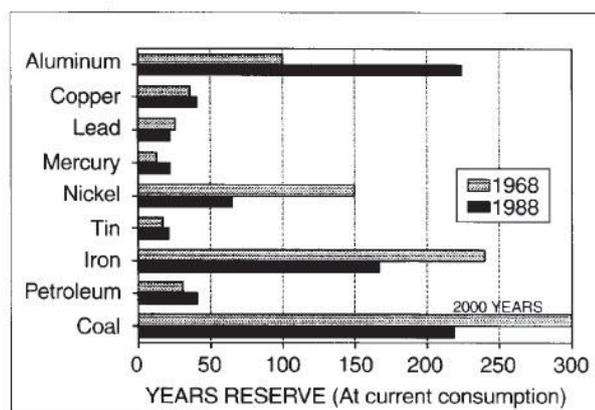


Figura 7: Ratio Reservas/Consumo de los años 1968 y 1988. Fuente: (Nalder, 1993)

Se observa que mientras que para el petróleo las reservas estimaban una esperanza de 50 años, las reservas de carbón eran de más de 200 años al ritmo de consumo de 1988.

Actualmente, a través de la publicación anual de BP "Statistical Review of World Energy" se pueden obtener los datos anuales tanto de reservas como de consumo de cada tipo de energía:

		Reservas			Consumo			Ratio R/C (años)		
		1993	2003	2013	1993	2003	2013	1993	2003	2013
Gas Natural (Billones de m ³)	Norteamérica	8761,6	7400	11700	640	767,2	899,1	14	10	13
	Sudamérica	5446,4	6800	7700	95	119,4	176,4	57	57	44
	Europa	40492,8	42700	56600	960	1000,5	1032,9	42	43	55
	Oriente medio	44400	72400	80300	130	264,1	568,2	342	274	141
	África	10064	13900	14200	93	148,2	204,3	108	94	70
	Asia y pacífico	9235,2	12700	15200	120	322	489	77	39	31
	Total	118400	155900	185700	2038	2621,4	3369,9	58	59	55
Carbón (Millones de toneladas)	Norteamérica	250443	257927	245088	495	602,3	488,4	506	428	502
	Sudamérica	10392	21658	14641	17	19,2	29,2	611	1128	501
	Europa	412555	355388	310538	630	538,1	508,7	655	660	610
	África	62351	57098	32936	7,5	9,1	103,8	8313	6275	317
	Asia y pacífico	303441	292383	288328	1130	1353,5	2696,5	269	216	107
	Total	1039181	984453	891531	2279,5	2522,2	3826,6	456	390	233
	Petróleo (Miles de Barriles)	Norteamérica	1,2E+08	2,3E+08	2,3E+08	5,2E+06	5,2E+06	6,1E+06	23	44
Sudamérica		8,1E+07	1,0E+08	3,3E+08	1,3E+06	2,4E+06	2,7E+06	63	41	124
Europa		7,8E+07	1,2E+08	1,5E+08	5,3E+06	6,2E+06	6,3E+06	15	19	24
Oriente medio		6,6E+08	7,5E+08	8,1E+08	7,7E+06	8,6E+06	1,0E+07	86	87	78
África		6,1E+07	1,1E+08	1,3E+08	2,9E+06	3,1E+06	3,2E+06	21	35	40
Asia y pacífico		3,9E+07	4,1E+07	4,2E+07	3,0E+06	2,9E+06	3,0E+06	13	14	14
Total		1,0E+09	1,3E+09	1,7E+09	2,5E+07	2,8E+07	3,2E+07	41	47	53

Tabla 2: Reservas probadas y consumo anual de combustibles fósiles Gas Natural, Carbón y Petróleo. Elaboración propia a partir de los datos de BP (BP, 2014)

Como se aprecia en la figura 8, en las últimas décadas se mantiene relativamente constante la relación reservas/consumo ya que aunque la demanda aumenta, el “aumento” de las reservas lo hace en la misma medida gracias a los avances de la tecnología de extracción, incentivados por la subida de los precios. Para el carbón la ratio disminuye durante las últimas décadas debido a que en Asia se ha producido un incremento muy importante en su consumo.

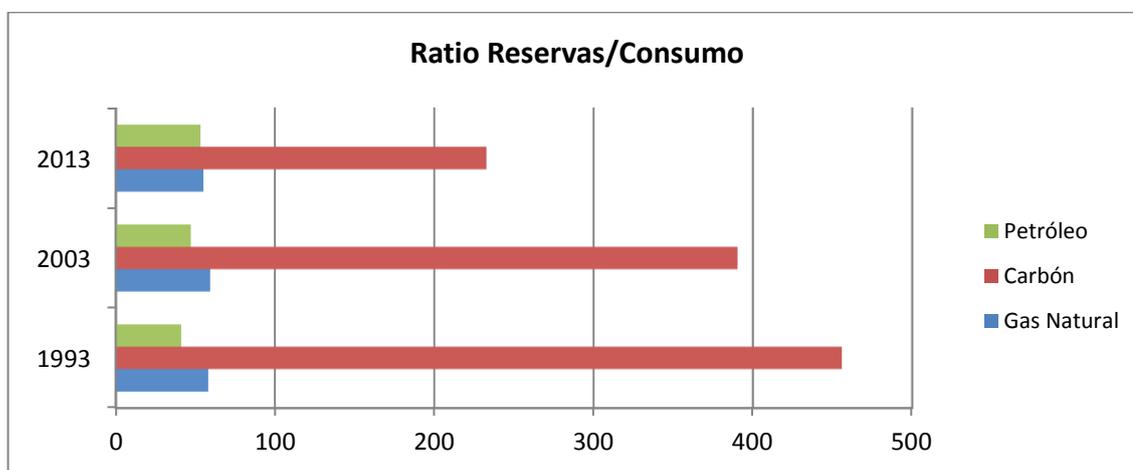


Figura 8: Ratio Reservas/Consumo de combustibles fósiles. Elaboración propia a partir de los datos de BP (BP, 2014)

El aumento de consumo observado en la Tabla 2 da como resultado una emisión de dióxido de carbono cada vez mayor. Como se refleja en los datos que ofrece el Consejo Mundial de la Energía, las emisiones per cápita son más elevadas en los países más desarrollados como EEUU, Canadá, Rusia, Australia, los países de Europa Central y los países Nórdicos.

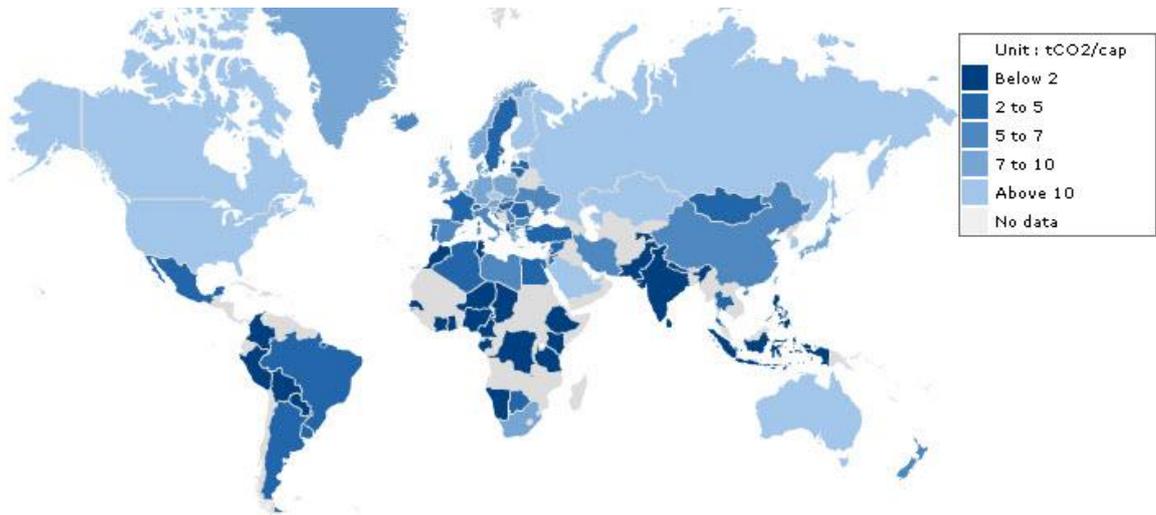


Figura 9: Toneladas de CO₂ per cápita emitidas en el 2011. Fuente: (WEC)

Sin embargo, si se agrupan los datos en regiones, se aprecia una clara tendencia creciente en las emisiones de Asia, Oriente Medio, Sudamérica, y en menor medida en África, mientras que en Europa, Norteamérica y Pacífico, las emisiones se reducen. Las emisiones per cápita de CO₂ de los países en vías de desarrollo son insostenibles al nivel al que emiten actualmente los países desarrollados.

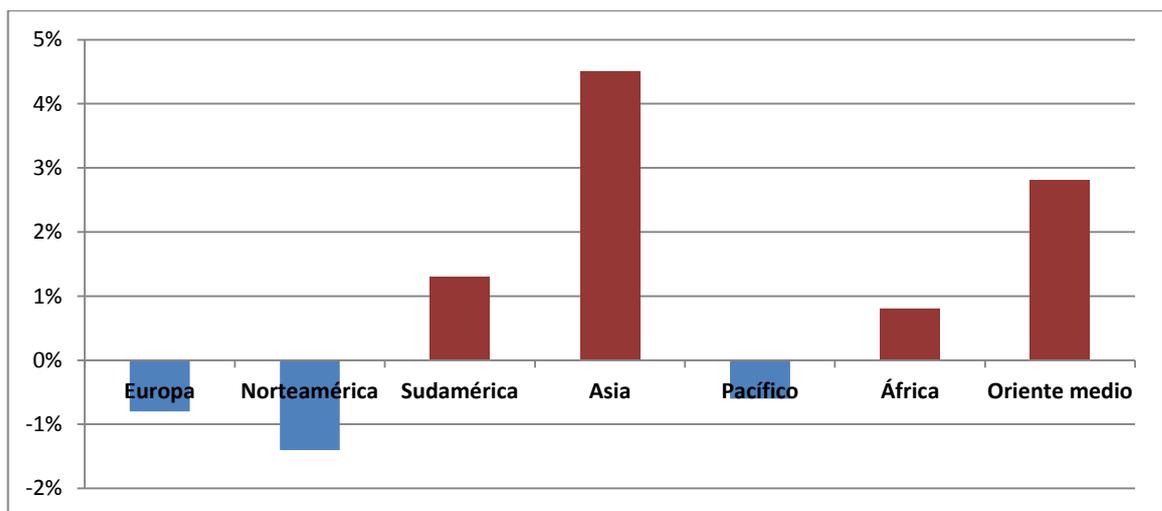


Figura 10: Tasa de incremento anual de la emisión de CO₂ per cápita durante el periodo 2000-2011. Elaboración propia a partir de los datos de (WEC)

1.3.Desigualdad Social

El objetivo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) es el de promover el progreso social y mejorar las condiciones de vida, además de mantener la paz y seguridad internacional.

Con el fin de erradicar la pobreza y que el crecimiento económico fuera equitativo y sostenido, la ONU creó en 1965 el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

El PNUD tiene cuatro áreas de acción:

- Reducción de la pobreza
- Gobernabilidad democrática
- Prevención y recuperación de la crisis
- Medio ambiente y desarrollo humano sostenible

El criterio para la clasificación que se ha venido realizado habitualmente para medir el grado de desarrollo de los países utilizaba como indicador fundamental el PIB per cápita, pero claramente había países como Venezuela o Kuwait, con un alto PIB per cápita por la riqueza en hidrocarburos y que sin embargo no podían considerarse desarrollados, porque dicho indicador no refleja el bienestar de toda la población.

Desde 1990, el PNUD publica anualmente el Informe sobre el Desarrollo Humano. En dicho informe se elaboran distintos indicadores utilizando datos sobre renta per cápita, alfabetización, nivel de vida y respeto por los derechos de las mujeres, entre otros. Uno de estos indicadores es el Índice de Desarrollo Humano.

El Índice de Desarrollo Humano es un valor entre 0 y 1 que intenta medir los logros alcanzados por un país según 3 parámetros ponderados:

Parámetro del IDH	Dato utilizado
Una vida larga y saludable	Esperanza de vida al nacer
Conocimiento	Tasa de alfabetización de adultos
Nivel de vida digno	PIB per cápita

Tabla 3: Parámetros del Índice de Desarrollo Humano y datos utilizados. Elaboración propia.

En la tabla 4 aparece el Índice de Desarrollo Humano agrupado por regiones y su crecimiento anual promedio:

	INDICE DE DESARROLLO HUMANO (IDH)									CRECIMIENTO ANUAL PROMEDIO		
	1980	1990	2000	2005	2008	2010	2011	2012	2013	1980-1990	1990-2000	2000-2013
ESTADOS ARABES	0,492	0,551	0,611	0,644	0,664	0,675	0,678	0,681	0,682	1,14	1,05	0,85
ASIA ORIENTAL Y PACÍFICO	0,457	0,517	0,595	0,641	0,671	0,688	0,695	0,699	0,703	1,23	1,42	1,29
EUROPA Y ASIA CENTRAL	---	0,651	0,665	0,7	0,716	0,726	0,733	0,735	0,738	---	0,21	0,8
LATINOAMÉRICA Y CARIBE	0,579	0,627	0,683	0,705	0,726	0,734	0,737	0,739	0,74	0,79	0,87	0,62
SUR DE ASIA	0,382	0,438	0,491	0,533	0,56	0,573	0,582	0,586	0,588	1,37	1,16	1,39
AFRICA	0,382	0,399	0,421	0,452	0,477	0,488	0,495	0,499	0,502	0,44	0,52	1,37
MUNDO	0,559	0,597	0,639	0,667	0,685	0,693	0,698	0,7	0,702	0,66	0,67	0,73

Tabla 4: Índice de Desarrollo Humano por regiones. Fuente: (PNUD, 2014)

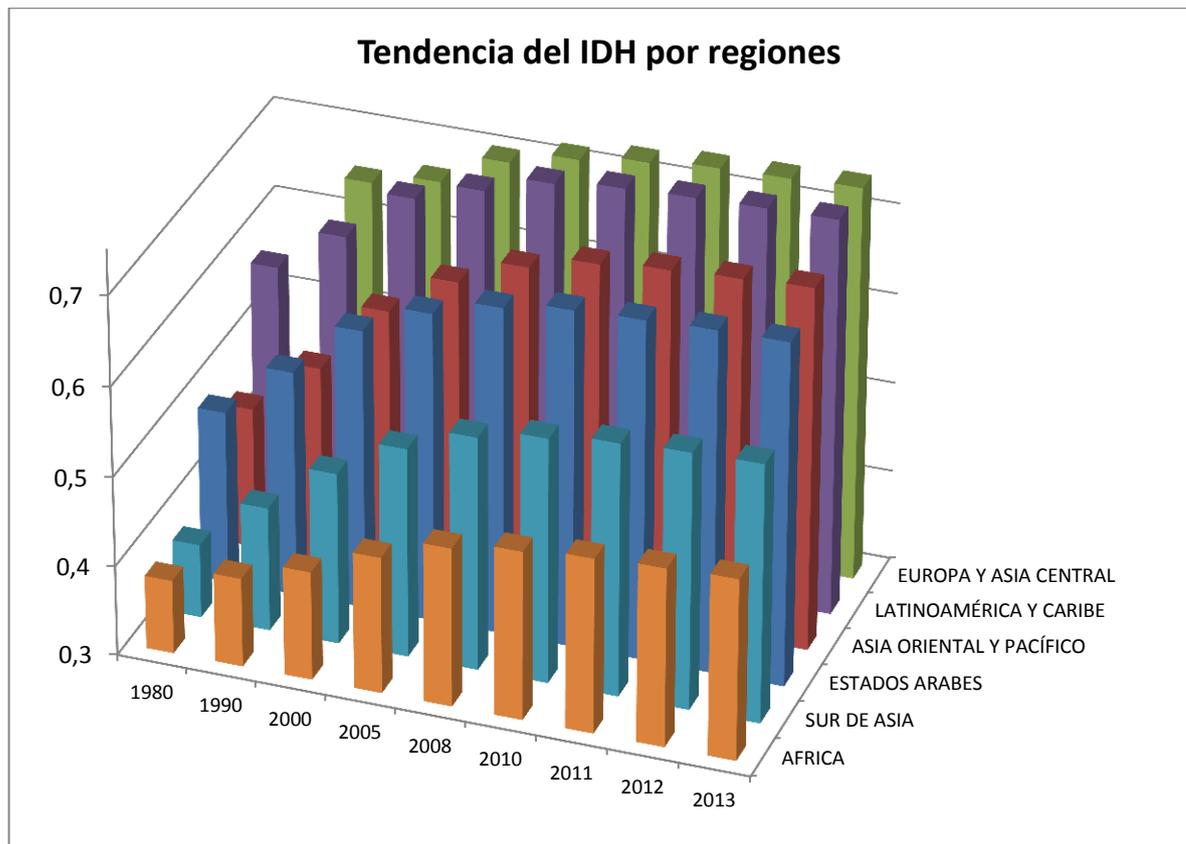


Figura 11: Tendencia del IDH por regiones. Elaboración propia a partir de: (PNUD, 2014)

Vemos que en todas las regiones se produce un crecimiento de dicho índice aunque a una tasa de crecimiento diferente, debido a la cooperación internacional, las mejoras sanitarias y la industrialización de los países en desarrollo.

Si sigue incrementando la población al ritmo al que está previsto y aumentan las demandas de recursos naturales de los países emergentes, solamente se alcanzaría una situación de desarrollo sostenible si las tecnologías empleadas son 10 veces más eco-eficientes de lo que lo son actualmente, fenómeno también conocido como Factor 10. En otras palabras, podemos considerar sólo como sostenibles aquellos sistemas productivos que emplean un 90% menos de entrada de materiales por unidad de producto o servicio que los sistemas productivos de la actualidad (Vezzoli & Manzini, 2008).

Como se ha visto en este capítulo el desarrollo sostenible está sustentado sobre tres aspectos: Económico, Medioambiental y Social. Puesto que la finalidad del presente Trabajo Fin de Máster es la de realizar una comparativa Económica y Ambiental, no se profundiza en el aspecto Social más allá de lo expuesto en el presente capítulo.

2. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA Y ECOEFICIENCIA

El análisis del ciclo de vida es según la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) “Un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando tanto el uso de materia y energía como las emisiones al entorno, para determinar el impacto de este uso de recursos y estas emisiones, y para evaluar y llevar a la práctica estrategias de mejora ambiental. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de: Extracción, procesado de materias primas, producción, transporte, distribución, uso, reutilización, mantenimiento, reciclado y disposición final.”

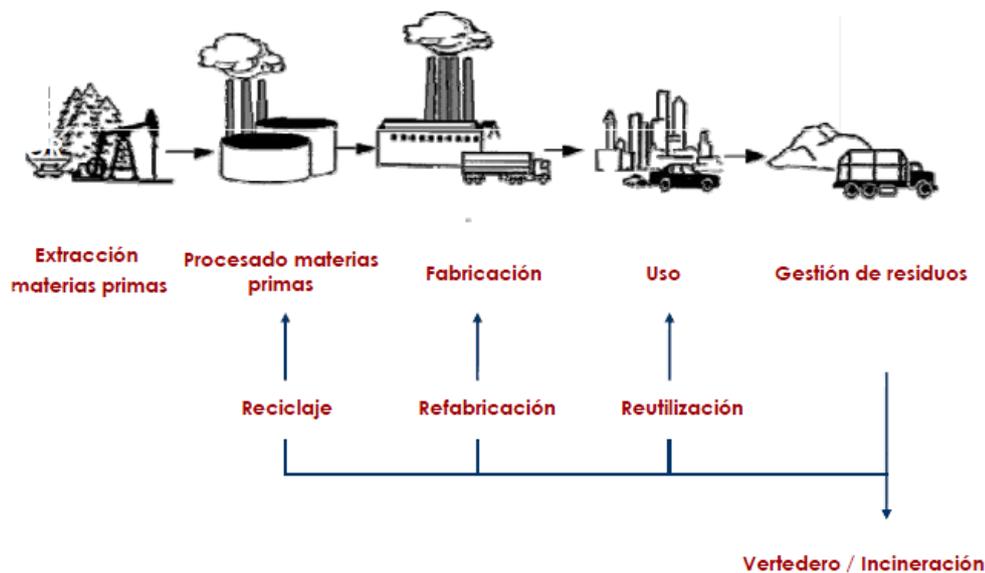


Figura 12: Fases del ciclo de vida. Fuente: (Capuz Rizo & Gómez Navarro, 2002)

En la Norma ISO 14040:2006 se define el ciclo de vida y el análisis del ciclo de vida de la manera siguiente:

- **Ciclo de Vida:** “Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.”
- **Análisis del Ciclo de Vida (ACV):** “Recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida.”

Los objetivos que persigue un ACV son:

- Identificar oportunidades de mejora en el desempeño ambiental del producto o servicio para cada una de las etapas de su ciclo de vida.
- Ofrecer información ambiental para la correcta toma de decisiones a nivel estratégico, como el rediseño de productos o procesos.
- Aportar indicadores cuantitativos de desempeño medioambiental y técnicas de medición.
- Opcionalmente, añadir elementos de marketing que dan más valor al producto o servicio como por ejemplo implementando un esquema de etiquetado ambiental, elaborando una reivindicación ambiental, o una declaración ambiental de producto.

Según la Norma, el Análisis del Ciclo de Vida se efectúa en cuatro fases:

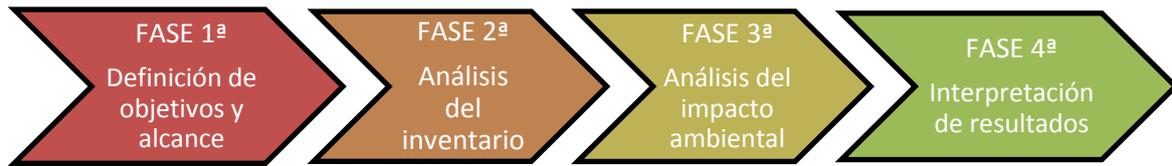


Figura 13: Fases del Análisis del Ciclo de Vida. Fuente: (ISO 14040, 2006)

A continuación se desarrollan las tareas que componen cada una de estas fases:

2.1. Definición de objetivos y alcance del ACV

- **Objetivo del ACV:** debe ser coherente con la aplicación pretendida, razones para realizarlo y el público objetivo al que va dirigido el resultado del estudio.
- **Alcance del estudio:** Debe definirse con un nivel de profundidad y detalle compatible con el objetivo marcado. Es importante determinar correctamente los límites del sistema y la unidad funcional. En la definición de alcance, hay que definir claramente:
 - **Funciones del sistema del producto:** Un producto puede tener varias funciones, pero dependiendo del objetivo del ACV se pueden estudiar una o varias funciones del producto.
Ejemplo de función del producto: Aunque el secado de manos se puede realizar tanto con toallas de papel como con una máquina de aire caliente, la función es el secado de manos.
 - **Unidad funcional:** Es una unidad física relativa a funciones que realizan los productos. Este concepto es importante ya que para que dos ACV sean comparables, deben tener la misma unidad funcional, aunque se estén evaluando sistemas diferentes.
Ejemplo de unidad funcional: Cantidad de pares de manos secadas en una semana, ya sea por toallas de papel o con aire caliente.
 - **Flujos de referencia:** En relación a los flujos de entrada y salida asociados al sistema. Como flujos de entrada pueden ser la utilización de materias primas, energía y agua, y como flujos de salida son las emisiones al aire, los vertidos al agua y al suelo y los residuos.
Ejemplo de flujo de referencia: Para las toallas de papel, el flujo de referencia sería el papel consumido mientras que para la máquina de aire caliente sería el volumen de aire caliente necesario para secar las manos.
 - **Límites del sistema:** Dependiendo de la aplicación prevista del estudio, se determinan qué procesos unitarios han de incluirse. También se tienen en cuenta límites geográficos y temporales.
 - **Metodología de evaluación de impacto seleccionado:** Existen diferentes metodologías de evaluación de impactos, por lo que se debe indicar cuál se va a utilizar y por qué.

- **Procedimientos de asignación:** Consideración de subproductos y coproductos.
- **Requisitos y calidad de los datos:** Tipos de fuentes de información directa o indirecta, antigüedad de los datos y variabilidad.
- **Formato del informe:** Formato de presentación del informe, tipo de difusión y si se realiza soporte informático.

2.2. Análisis del Inventario del Ciclo de Vida

Implica la recopilación de los datos de entrada/salida en relación con el sistema bajo estudio, tanto de consumo de materias primas y energía como de emisiones al medio ambiente, en cada una de las fases del ciclo de vida, y los procedimientos de cálculo para cuantificar estas entradas y salidas.

El análisis de inventario es un proceso iterativo. A medida que se recopilan los datos, se pueden identificar nuevos requisitos o limitaciones que requieran cambios en los procedimientos de recopilación de datos, o bien una revisión del objetivo o del alcance del estudio.

Se puede utilizar la matriz MET para recopilar la información de entrada de una manera cualitativa.

	MATERIALES	ENERGÍA	EMISIONES
MATERIA PRIMA			
PRODUCCIÓN			
DISTRIBUCIÓN			
USO			
FIN DE VIDA			

Tabla 5: Matriz MET: Materiales, Energía, Emisiones. Fuente: (REMAR: Red Energía y Medio Ambiente, junio 2011)

2.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida

Según la SETAC, la evaluación del impacto ambiental “es un proceso cuantitativo y/o cualitativo para la caracterización y evaluación de los efectos de las cargas ambientales identificadas en la fase de inventario”.

El objetivo de la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida es proporcionar información adicional para ayudar a evaluar los resultados obtenidos en la fase anterior, a fin de comprender mejor su importancia ambiental.

Los impactos que se consideran son impactos potenciales, ya que el ACV trata de sistemas no localizados en un lugar concreto y de consumos y emisiones que se producen a lo largo del tiempo.

Esta la fase de Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida se puede desglosar en tres etapas según ciertos autores, éstas etapas son: Clasificación, Caracterización y Normalización, aunque según la Norma ISO 14.040:2006 existe además una etapa previa obligatoria, que es en la que se seleccionan las categorías de impacto, los indicadores de impacto y el modelo de caracterización, mientras que para dicha Norma, la fase de Normalización es optativa.

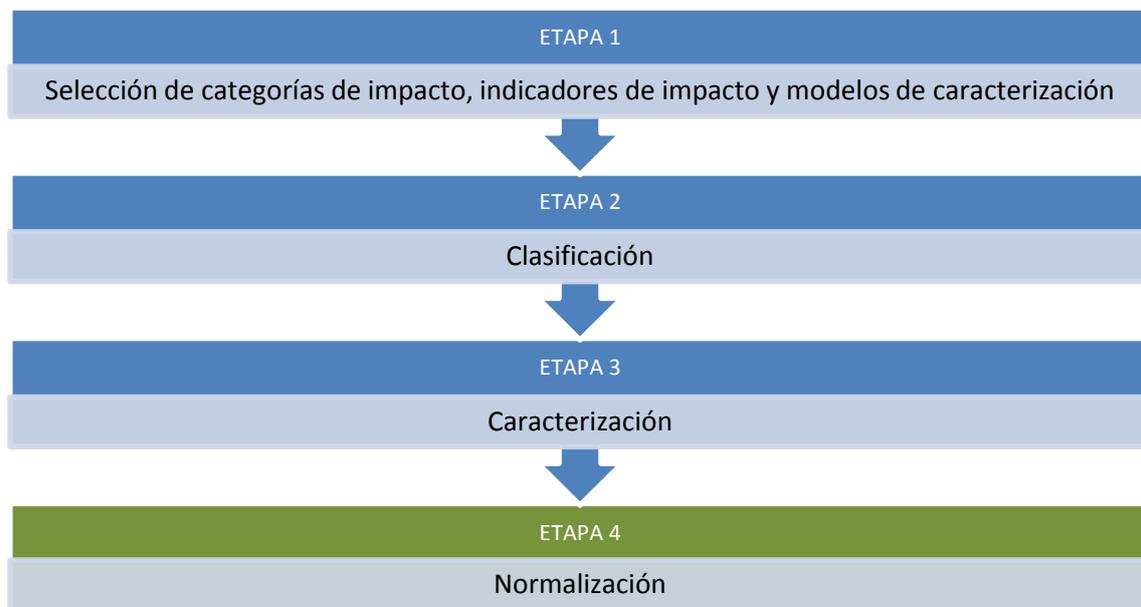


Figura 14: Elementos obligatorios (en azul) y optativos (en verde) de la fase de EICV. (UNE-EN ISO 14044, 2006)

La Norma ISO 14.044:2006 pone como ejemplo de los términos utilizados anteriormente:

Término	Ejemplo
Categoría de impacto	Cambio climático
Modelo de caracterización	Modelo de línea de base 100 años del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
Indicador de categoría	Radiación infrarroja (W/m^2)
Factor de caracterización	Potencial de calentamiento global para cada gas de efecto invernadero (kg CO_2 equivalentes /kg gas)
Resultado de indicador de categoría	Kg de CO_2 equivalentes por unidad funcional

Tabla 6: Ejemplos de términos. Fuente: (UNE-EN ISO 14044, 2006)

2.3.1. Categorías de impacto e indicadores de impacto

Se suele obviar este paso ya que normalmente se utilizan programas informáticos que cuentan con bases de datos de eco-indicadores. Según el Manual práctico de Ecodiseño de IHOBE del año 2000, “los eco-indicadores son números que expresan el impacto ambiental total de un proceso o producto”. A mayor valor del indicador, mayor impacto ambiental. Los eco-indicadores son cifras sin dimensión, generalmente la magnitud utilizada para considerar daños ambientales son los milipuntos (mPt). Un punto (Pt) equivale a la centésima parte de la carga ambiental anual de un ciudadano europeo medio, aunque como comenta el manual, el valor absoluto no es muy relevante sino que el objetivo es comparar la puntuación obtenida entre productos similares.

Existen varias bases de datos de eco-indicadores. Cada una de ellas clasifica los eco-indicadores en distintas categorías de impacto.

Categorías de impacto:

En el ecoindicador’99 se consideran 3 categorías de impacto:

- A la salud humana: cambio climático, disminución de la capa de ozono, efectos cancerígenos y respiratorios y radiación ionizante. La unidad de medida es el DALY (“Disability Adjusted LifeYears”) o Años de Vida Sometidos a una Discapacidad.
- A la calidad del medio ambiente: ecotoxicidad, acidificación, eutrofización y el uso del suelo. La unidad de medida es el PDF*m² al año, (“Potentially Disappeared Fraction”), o Fracción Desaparecida Potencial de especies por m² al año.
- A los recursos: necesidad extra de energía requerida en el futuro para extraer minerales y recursos fósiles. La unidad de medida es el MJ de energía.

Indicadores de impacto:

Se consideran habitualmente los siguientes (Doménech Quesada, 2007):

- Emisiones acidificantes
- Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles
- Emisiones nitrificantes (eutrofización)
- DBO y DQO en efluentes
- Emisiones de Compuestos Orgánicos Persistentes (COP)
- Emisiones de metales pesados prioritarios
- Uso del suelo

Para la SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) los principales indicadores de impacto son los siguientes:

CATEGORIA DE IMPACTO AMBIENTAL	UNIDAD DE REFERENCIA	FACTOR DE CARACTERIZACION	
CALENTAMIENTO GLOBAL	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas	Kg. Eq. CO ₂	Potencial de Calentamiento Global (PCG)
CONSUMO DE RECURSOS ENERGÉTICOS	Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.	MJ	Cantidad Consumida
REDUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	Kg. Eq. CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)
EUTROFIZACIÓN	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.	Kg. Eq. de NO ₃	Potencial de Eutrofización (PE)
ACIDIFICACIÓN	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera	Kg. Eq. SO ₂	Potencial de Acidificación (PA)
CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza.	Tm	Cantidad Consumida

Figura 15: Principales indicadores de impacto según la SETAC. Fuente: (IHOBE, 2009)

2.3.2. Clasificación

Se trata de agrupar las diferentes cargas ambientales asociadas al ciclo de vida del producto en cada una de las categorías de impacto consideradas. Debe determinarse cuáles están relacionadas con una sola o con varias categorías de impacto, y si se dan en paralelo o en serie, o de manera indirecta.

2.3.3. Caracterización

En esta etapa se cuantifica el impacto que genera cada una de las cargas ambientales que han sido previamente clasificadas por categorías de impacto. De esta manera se agregan los impactos dentro de cada categoría, obteniendo un perfil de impactos, y a continuación se multiplica la cantidad de emisión por un factor de ponderación dependiendo del tipo de carga ambiental, que tienen las mismas unidades físicas en cada categoría. La ponderación se obtiene relativizando el impacto a unas sustancias prefijadas. Por ejemplo se toma el CO₂ para el calentamiento global, el CFC-11 para la disminución de ozono...

2.3.4. Normalización

Por último se ponderan los resultados de cada una de las categorías de impacto y se suman sus valores para obtener un resultado único final, de esta manera pueden compararse dos productos de forma sencilla. Ésta es la fase más compleja y menos desarrollada del ACV porque implica cierta subjetividad, ya que al ponderar las categorías de impacto se decide cuál de ellas es más o menos perjudicial que las demás.

2.4. Interpretación de resultados

En esta fase se resumen y discuten los resultados obtenidos en las fases de Inventario de Ciclo de Vida y de la Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida anteriores para elaborar las conclusiones, recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con los objetivos y alcance que se definieron en la primera fase del ACV.

Se puede incluir un análisis de sensibilidad, donde se estudia de qué manera cambiarían los resultados si cambian algunos datos del Inventario o las hipótesis de partida. En esta fase influyen los condicionantes tecnológicos en los atributos del producto.

2.5. Eco-Eficiencia

El concepto de eficiencia tiene varias acepciones. En física, la eficiencia de una máquina térmica es la relación entre la energía útil para realizar un trabajo respecto de la energía suministrada. En economía es la relación entre los inputs y outputs, esto es, capital invertido y materias primas, frente a beneficios o productos terminados.

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (World Business Council for Sustainable Development) definen la eco-eficiencia como: *“La eco-eficiencia se alcanza mediante la provisión de bienes y servicios, a precios competitivos, que satisfagan las necesidades humanas y aporten calidad de vida, a la vez que se reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de recursos a lo largo de su ciclo de vida hasta un nivel conforme, al menos, con el de capacidad de carga de la Tierra”*.

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible ha identificado 7 parámetros a seguir en las empresas para alcanzar la ecoeficiencia(WBCSD, 1996):

1. Reducir el consumo de materiales de los bienes y servicios
2. Reducir el consumo energético en bienes y servicios
3. Reducir la dispersión tóxica

4. Mejorar la reciclabilidad de los materiales
5. Maximizar el uso sostenible de recursos renovables
6. Aumentar la durabilidad de los productos
7. Aumentar la intensidad de los servicios

Teniendo en cuenta la definición del WBCSD y el concepto de eficiencia, podemos decir que la eco-eficiencia consiste en la creación de valor a la vez que se disminuye el impacto ambiental. La ecoeficiencia es por tanto el cociente entre impacto ambiental frente al valor económico (Huppes & Ishikawa, 2007). La ecoeficiencia es tanto un término cualitativo como cuantitativo. De manera cuantitativa se puede expresar mediante la ecuación propuesta por Schaltegger & Sturm:

$$ecoeficiencia = \frac{(efectos\ deseados + externalidades\ positivas)}{daño\ creado}$$

Donde numerador y denominador se expresan en las mismas unidades, que son unas unidades de daño hipotético, para que el valor de la eco-eficiencia sea un número adimensional.

La ecuación de la ecoeficiencia de forma simplificada es la siguiente:

$$ecoeficiencia = \frac{Valor\ añadido}{Impacto\ Ambiental}$$

Donde el numerador se expresa en unidades monetarias, es la diferencia entre ingresos obtenidos por la venta del producto y los costes de los inputs necesarios.

Por otra parte, el denominador se evalúa mediante un ACV, mediante una serie de medidas o categorías de impacto, expresadas en diferentes unidades físicas. Se hace necesario realizar una agregación para obtener una única medida de impacto ambiental. Por ello, para realizar esta agregación se deben asignar pesos a cada categoría de impacto. Una metodología de ponderación es el Eco-indicador 99, que permite integrar categorías de impacto a través de diferentes perspectivas (igualitaria, individualista y jerárquica), empleando para ello funciones de daño. La función de daño trata de recoger la relación entre impacto y daño a la salud humana o al ecosistema.

De todos modos, mejorar la ecoeficiencia no implica garantizar la sostenibilidad. Aunque se logre un nivel de impacto ambiental bajo en relación al valor económico obtenido, en valor absoluto, el impacto ambiental puede exceder la capacidad del ecosistema.

Por lo tanto para aumentar la eco-eficiencia de una organización se debe disminuir su impacto ambiental, o aumentar el valor añadido de sus productos, o bien ambas. Otros autores proponen que según el objetivo perseguido en la ecoeficiencia, ya sea la creación de valor o la mejora ambiental, se puedan invertir los elementos del numerador y del denominador.

	OBJETIVO PERSEGUIDO	
	MEJORA DEL PRODUCTO	MEJORA MEDIOAMBIENTAL
$\frac{Economía}{Medio\ ambiente}$	Valor del producto por unidad de impacto ambiental → Productividad medioambiental	Coste por unidad de mejora medioambiental → Coste de mejora medioambiental
$\frac{Medio\ ambiente}{Economía}$	Impacto ambiental por unidad de producto → Intensidad medioambiental	Mejora medioambiental por unidad de coste → Efectividad del coste medioambiental

Tabla 7: Las cuatro variantes básicas de la ecoeficiencia. Fuente: (Huppes & Ishikawa, 2007)

Para alcanzar la eco-eficiencia existen varias estrategias, como por ejemplo:

- Utilizar menos materia prima y energía en los procesos productivos
- Minimizar los residuos generados para reducir el impacto sobre la naturaleza
- Ofrecer más valor a los productos o servicios, satisfaciendo las necesidades de los clientes

En las empresas, los procesos productivos son ineficientes porque son sistemas abiertos ya que generan residuos, al contrario de los ecosistemas naturales que son sistemas cerrados.

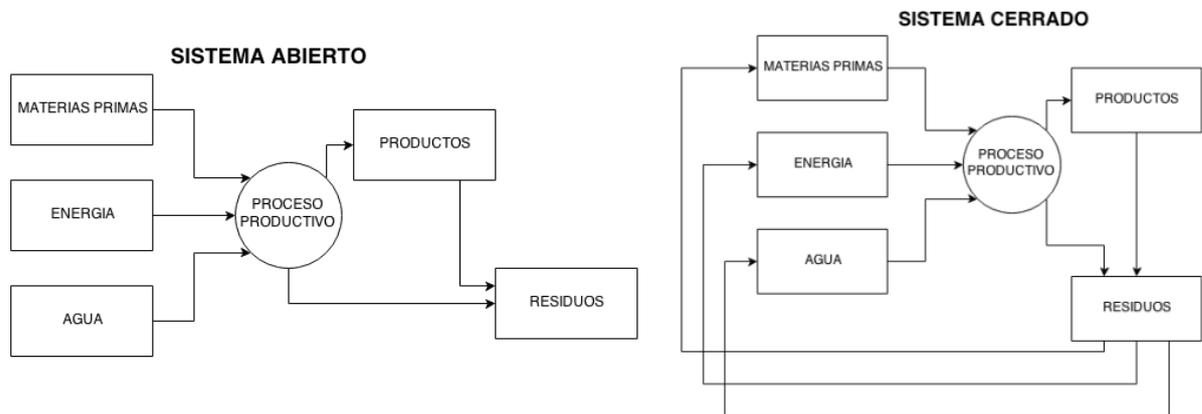


Figura 16: Sistema productivo abierto y cerrado. Elaboración propia.

En esto es en lo que se basa la ecología industrial, en la imitación por parte de la industria de los ecosistemas naturales, que son muy eficientes en el reciclaje de los desechos. Un ejemplo famoso del reciclaje y reutilización en la industria es el del clúster industrial de Kalundborg, en Dinamarca. Dicho clúster tiene una refinera petrolífera, una estación generadora de electricidad, una planta de fermentación farmacéutica y una fábrica de placas de yeso laminado. Estas instalaciones intercambian sus residuos que de otro modo serían desechos. La red de intercambios ha sido bautizada como “simbiosis industrial” ya que en biología se denomina simbiosis a las relaciones que son mutuamente beneficiosas. En marketing se llamaría estrategia win-win, porque cada una de las partes sale beneficiada.

Este concepto de ecología industrial está en armonía con el concepto de capacidad de carga del planeta. De esta manera, los sistemas económicos no se ven como algo aislado de los sistemas que le rodean, sino en concierto con ellos.

Formalmente, la ecología industrial se puede definir como “el estudio de los flujos de materiales y energía en las actividades industriales y de consumo, de los efectos de estos flujos en el medio ambiente, y de las influencias en los factores económicos, políticos, normativos y sociales en el flujo, uso y transformación de dichos recursos.” (Suh, 2009).

3. IMPACTO AMBIENTAL EN AUTOMÓVILES

En la norma ISO 14031:2000 se define Impacto Ambiental como “Cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante en todo o en parte de las actividades, productos y servicios de una organización”. La misma norma define medio ambiente como “Entorno en el cual una organización opera, incluyendo el aire, el agua, la tierra, los recursos naturales, la flora, la fauna, los seres humanos y sus interrelaciones”. La Constitución de 1978 habla del medio ambiente en el Artículo 45.1: “Todos tienen el derecho a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo”.

3.1. Fases del Ciclo de Vida del Automóvil y estrategias para minimizar el impacto

En cada una de las fases del Ciclo de Vida de un automóvil se producen impactos ambientales de diferente naturaleza. Clásicamente las fases del ciclo de vida son:

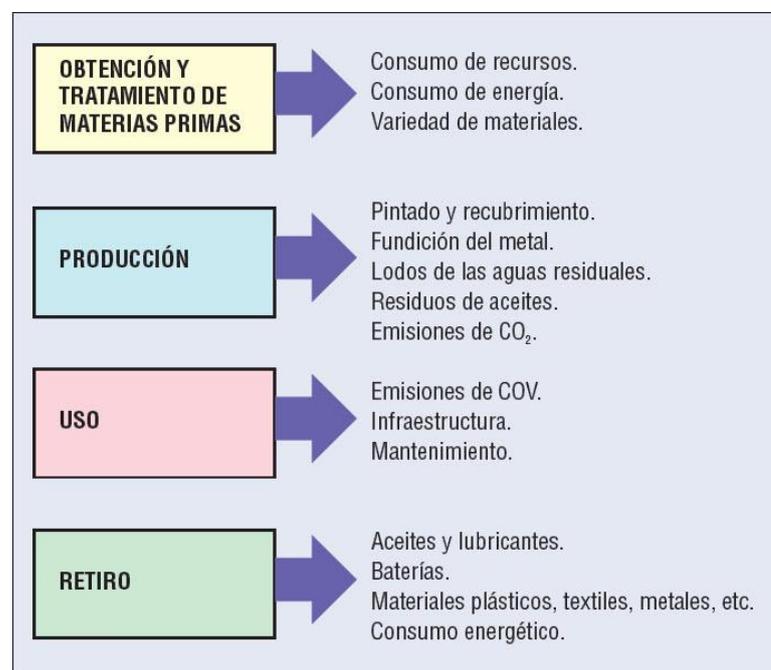


Figura 17: Fases del ciclo de vida del automóvil. Fuente: (Viñoles Cebolla R. , Bastante Ceca, López García, Vivancos Bono, & Capuz Rizo, 2004)

- **OBTENCIÓN Y TRATAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS:** Los principales impactos se producen por el consumo de recursos no renovables y la energía utilizada en los procesos de obtención. Por ello las principales estrategias son:
 - Reducir la cantidad de materiales utilizados o utilizar materiales más ligeros o de bajo impacto
 - Utilizar materiales reciclables y reducir la complejidad de construcción
- **PRODUCCIÓN:** El principal impacto es la emisión de gases de efecto invernadero, donde el 56% de todas las emisiones son causadas en las operaciones de pintado y recubrimiento del vehículo (Viñoles Cebolla R. , Bastante Ceca, López García, Vivancos Bono, & Capuz Rizo, 2004). Las estrategias a seguir para minimizar el impacto son:
 - Minimizar la producción de residuos
 - Reducir el consumo energético
 - Reducir las emisiones de COV
- **USO:** En esta fase se producen la mayor parte de emisiones de CO, CO₂ y COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) que serán estudiados con mayor profundidad en el apartado siguiente. Las

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

estrategias para reducir el impacto van dirigidas o bien a la utilización del vehículo o al mantenimiento del mismo:

- Menor consumo de combustible y menor peso del vehículo para tener menor nivel de emisiones
- Mejor gestión de los aceites usados, empleo de pintura con base acuosa
- **RETIRO:** El impacto en esta fase depende en gran medida de los materiales que fueron utilizados en la fabricación del vehículo, debiendo cumplirse la Directiva 2000/53/CE
 - Retirada del vehículo en uno de los centros autorizados de la Red de tratamiento
 - Porcentaje de eliminación en vertedero inferior al 5%, el 95% del vehículo debe ser reciclado o valorizado adecuadamente

La figura 18 incluye las medidas que deben tomarse para mejorar los impactos en cada fase del ciclo de vida de un automóvil, incluyendo en este caso la fase de distribución de los vehículos:

	MMP	Producción	Distribución	Uso	Retiro
ACV	X	X	X	X	X
Reducción de materiales	X		X		X
Materiales reciclables	X		X		X
Materiales renovables	X				
Identificación y etiquetado de materiales		X			X
Piezas de plástico coloreadas		X			
MTD's		X			
Eliminación de materiales peligrosos	X	X			X
Menor consumo de agua		X			
Reducción del peso del vehículo	X			X	
Mejor rendimiento del motor				X	
Mejor calidad del combustible	X			X	
Nuevos sistemas de propulsión				X	
Vehículos eléctricos				X	
Conducción inteligente				X	
Sistemas GPS				X	
Infraestructura adecuada para el desensamblaje					X
Compatibilidad de materiales					X
Reutilización de piezas	X	X			X

Figura 18: Medidas para mejorar los impactos en cada fase del ciclo de vida de un automóvil. Fuente: (Viñoles Cebolla R., Bastante Ceca, López García, Vivancos Bono, & Capuz Rizo, 2003)

3.2. Periodo de vida de los gases contaminantes

La atmósfera terrestre está compuesta por un 21% de oxígeno y un 78% de nitrógeno, siendo el resto formado por otros gases como argón, dióxido de carbono y vapor de agua. Esta composición es el resultado de un equilibrio entre distintos procesos naturales, que se ven afectados por la acción del hombre debido a la emisión de gases a la atmósfera procedentes de la industria y del transporte.

Según el periodo de vida de los gases emitidos hacia la atmósfera, se distinguen los de periodo corto con una duración que oscila entre horas y semanas, y los compuestos con un periodo de vida largo, que puede variar desde años hasta incluso siglos.

3.2.1. Compuestos con periodo de vida corto:

Se trata del monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos, y el monóxido y dióxido de nitrógeno (NO y NO₂). Influyen negativamente en la calidad del aire y en la salud de las personas, siendo tóxicos o mortales a partir de una cierta determinada concentración. Se localizan en los focos de emisión: En el caso de la emisión debida a los automóviles su concentración aumenta en las ciudades.

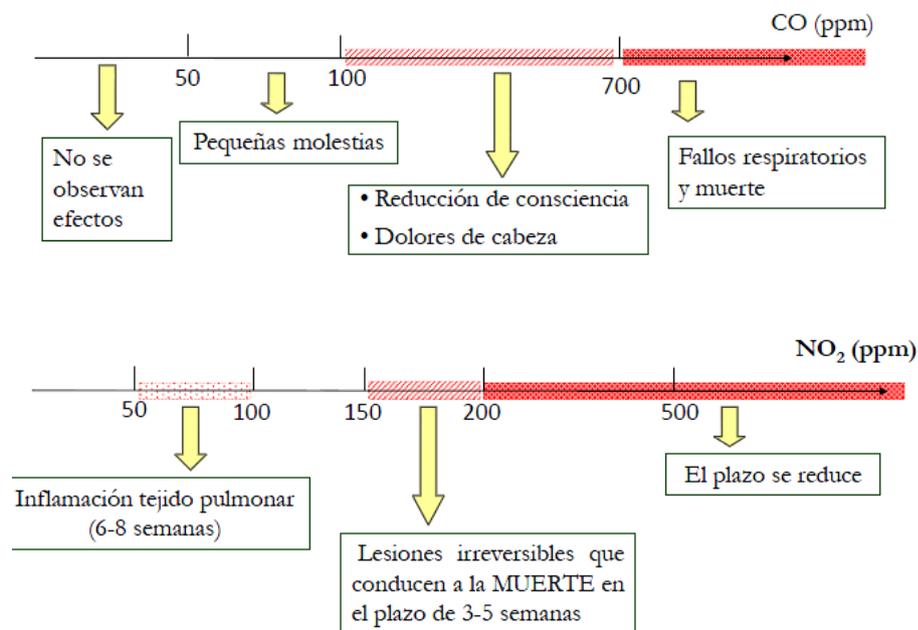


Figura 19: Concentración de CO y NO₂ y efectos sobre la salud. Fuente: (Peidró Barrachina & Ruiz Rosales, 2007)

3.2.2. Compuestos con periodo de vida largo:

Son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Estos compuestos una vez emitidos se mezclan y distribuyen de forma homogénea en la atmósfera, y su influencia es a escala global, contribuyendo todos ellos al efecto invernadero.

En 1997 se celebró en Kyoto la tercera conferencia internacional sobre medio ambiente, debido al incremento de la concentración de CO₂ ambiental y su incidencia sobre el cambio climático. Para limitar el efecto invernadero, se decidió reducir la emisión de los siguientes 6 gases, aunque el más importante es el CO₂ debido a su gran incremento:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Metano (CH₄)
- Hidrofluorcarbonados (HFCs)
- Perfluorcarbonados (PFCs)
- Sulfohexafluorados (SF₆)

Entre los acuerdos alcanzados figuran la reducción de un 5% global emisiones de estos gases para el período 2008-2012 en los países industrializados. Además se estableció el comercio de los derechos de emisión. Los países que no alcancen el nivel de emisión permitido podrían vender su cupo a aquellos que excedan los límites de emisión. Mediante esta actuación se pretendía que no se disparasen las emisiones de CO₂ y que el mercado favoreciese a las empresas más eficientes.

3.3.El efecto invernadero

El efecto invernadero es un proceso natural gracias al cual la temperatura media de la Tierra es de 15°C. Si no se produjese este efecto, la temperatura media de la tierra sería de -18°C y probablemente no habría vida en la tierra.

La energía absorbida por la tierra procedente de la radiación solar es en su mayor parte luz del espectro visible por el ojo humano, ya que la radiación ultravioleta es absorbida por el ozono de la troposfera. Esta absorción provoca que la superficie terrestre se caliente, irradiando energía hacia el exterior en la banda infrarroja. Parte de esta energía irradiada por la Tierra es absorbida por gases presentes de manera natural en la atmósfera como el CO₂, CH₄ y N₂O de manera homogénea, que hacen que la temperatura de la atmósfera sea la adecuada para la vida. Por lo tanto un aumento en la concentración de estos gases acentuará el efecto invernadero, aumentando la temperatura terrestre debido a una disminución en la emisión de energía al espacio.

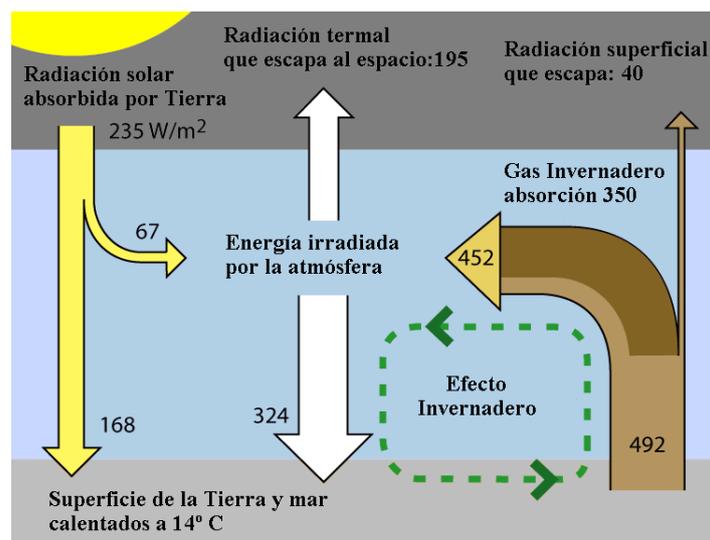


Figura 20: Esquema del efecto invernadero como balance entre la energía absorbida y emitida. Fuente: (Observatorio Industrial del Sector Fabricantes de Automóviles y Camiones)

Influencia del Dióxido de Carbono

Se trata de un gas que no se descompone en las capas altas de la atmósfera por lo que puede permanecer inerte.

Aunque otros gases como el metano atrapan 21 veces más calor que el CO₂, la importancia de este último es mucho mayor debido a que se ha producido un gran aumento de emisiones. Mientras se emiten cada año entre 350 y 500 millones de toneladas de metano, se emiten entre 600 y 1000 millones de toneladas de CO₂(López Martínez, 2007)

Como se observa en la figura inferior, la combustión de combustibles fósiles incrementa la concentración de dióxido de carbono atmosférico, lo cual desequilibra el efecto invernadero, acentuando la absorción de energía procedente del Sol.

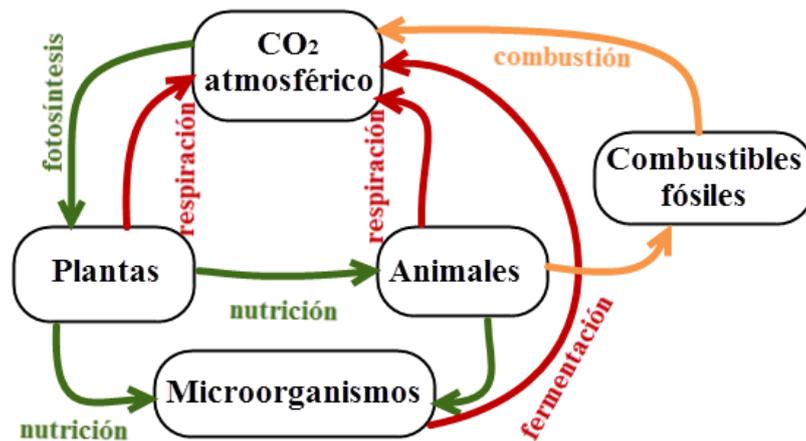


Figura 21: El ciclo del CO₂. Elaboración propia.

Como el CO₂ se distribuye de forma homogénea en la atmósfera a escala global, basta con tomar datos sobre su concentración en algunas estaciones de medición en todo el planeta. Se tienen datos desde marzo de 1958 en el observatorio de Mauna Loa en Hawái. La línea de color rojo es el valor mensual donde se aprecia una clara estacionalidad, mientras que la línea negra es la de tendencia anual, que indica un incremento en la concentración de CO₂, por el consumo creciente de combustibles fósiles a la vez que disminuye la absorción de CO₂ mediante la fotosíntesis de las plantas a causa de la deforestación.

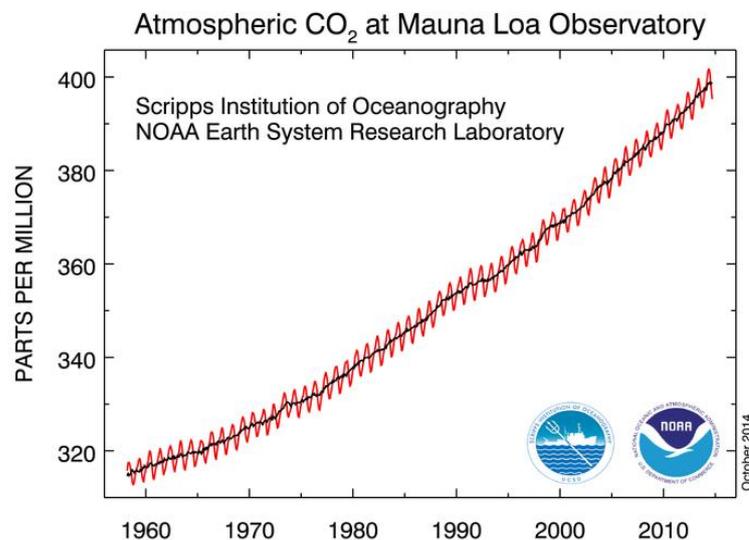


Figura 22: Tendencia del CO₂ atmosférico desde el observatorio de Mauna Loa. Fuente: (NOAA, 2014)

3.4. NORMATIVA SOBRE EMISIONES

La Unión Europea fija valores límite para las siguientes sustancias nocivas:

- Monóxido de carbono (CO)
- Hidrocarburos (HC)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Partículas (PM)

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

En las normas Euro 1 y Euro 2 se sumaban los valores límite de HC y NO_x, pero desde la norma Euro 3 además del valor límite de (HC + NO_x), también se añade una limitación por separado para las emisiones de NO_x. A lo largo del tiempo la norma sobre emisiones es cada más estricta como se puede ver en la tabla, y además fija unos valores máximos cada vez más similares entre gasolina y Diésel.

	FECHA ENTRADA EN VIGOR	CO (g/km)		HC (g/km)		NO _x (g/km)		HC + NO _x (g/km)		PM	
		GASOLINA	DIESEL	GASOLINA	DIESEL	GASOLINA	DIESEL	GASOLINA	DIESEL	GASOLINA	DIESEL
EURO 1	01/1992	2,72	3,16	-	-	-	-	0,97	1,13	-	0,14
EURO 2	01/1996	2,20	1,00	-	0,15	-	0,55	0,50	0,70	-	0,08
EURO 3	01/2000	2,30	0,64	0,20	0,06	0,15	0,50	-	0,56	-	0,05
EURO 4	01/2005	1,00	0,50	0,10	0,05	0,08	0,25	-	0,30	-	0,025
EURO 5	09/2009	1,00	0,50	0,10	0,05	0,06	0,18	-	0,23	0,005*	0,005
EURO 6	08/2014	1,00	0,50	0,10	0,09	0,06	0,08	-	0,17	0,005*	0,005

Tabla 8: Normas Euro para motores gasolina y diésel. Adaptado de: (NGK) y (lubrizol)

* Para motores de gasolina de inyección directa únicamente

Como vemos en la figura 23, manteniendo en 100 unidades los distintos tipos de emisiones de los motores Diésel como referencia, se observa que la cantidad de sustancias emitidas es muy diferente para un tipo de motor u otro. Esto significa que cumplir con los valores límite que marca la normativa actual es mucho más complejo para los motores Diésel en cuanto a óxidos de nitrógeno y partículas, mientras que para los motores de gasolina la dificultad estriba en minimizar la emisión de monóxido de carbono e hidrocarburos.

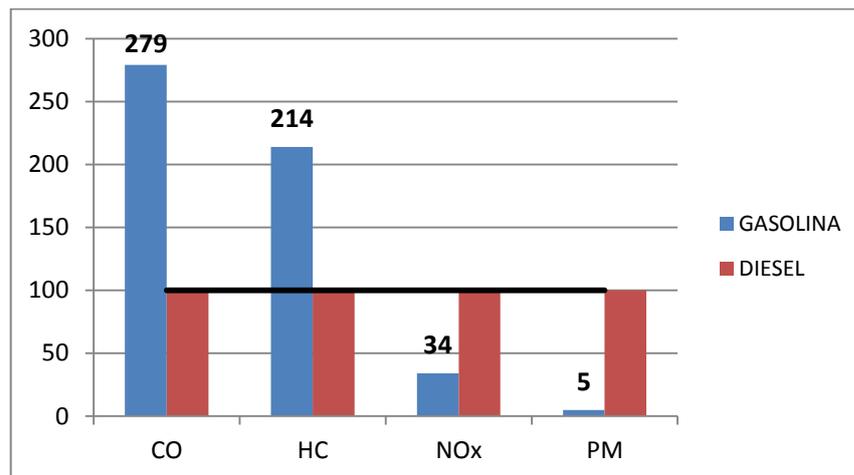


Figura 23: Comparación de emisiones Gasolina-Diésel. Adaptado de (Pardiñas, 2014)

En los sub apartados posteriores se citan los principales métodos empleados en los automóviles para reducir todo lo posible la emisión de estas sustancias:

3.4.1. Monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC)

Motores Diésel:

Las emisiones en los motores Diésel son mucho menores que en los motores de gasolina porque realizan la combustión con un superávit de aire. Por esto la normativa es más estricta para los motores Diésel.

Un parámetro básico para la medición del exceso o déficit de aire es el coeficiente lambda (λ):

$$\lambda = \frac{\text{masa de aire}}{\text{masa de combustible} * \text{relación estequiométrica}}$$

La relación estequiométrica comúnmente aceptada es 14,7:1, esto es, 14,7 partes de aire por cada parte de combustible. Se incluye esta relación en el denominador con el objeto de que una mezcla estequiométrica dé un valor λ igual a 1 y tener así una buena referencia.

- Si $\lambda < 1 \rightarrow$ Déficit de aire, mezcla rica en combustible
- Si $\lambda > 1 \rightarrow$ Superávit de aire, mezcla pobre en combustible

A plena carga los motores sobrealimentados tienen un factor lambda de entre 1,15 y 2,0. Al ralenti el valor puede llegar a ser mayor a 10.

Los motores Diésel también generan monóxido de carbono e hidrocarburos porque a pesar de que siempre funcionan con $\lambda > 1$, éste es un valor promedio. Localmente la mezcla no es homogénea, sino que los valores son $\lambda = 0$ en el interior de la gota inyectada de combustible y $\lambda = \infty$ en la periferia de la cámara de combustión que no se mezcla con el combustible. Por eso es vital en este tipo de motores una buena pulverización del combustible y una estratificación de la inyección.

Por otra parte se produce un aumento de las emisiones de manera transitoria en la fase de regeneración del filtro de partículas diésel (DPF) del que se comenta su funcionamiento en el apartado siguiente.

Motores gasolina:

El monóxido de carbono se genera en motores de gasolina fundamentalmente cuando la mezcla es rica y da lugar a una combustión incompleta, esto ocurriría a menudo en los motores alimentados por carburación. Asimismo, el exceso o carencia de oxígeno genera hidrocarburos parcialmente oxidados, que son cancerígenos.

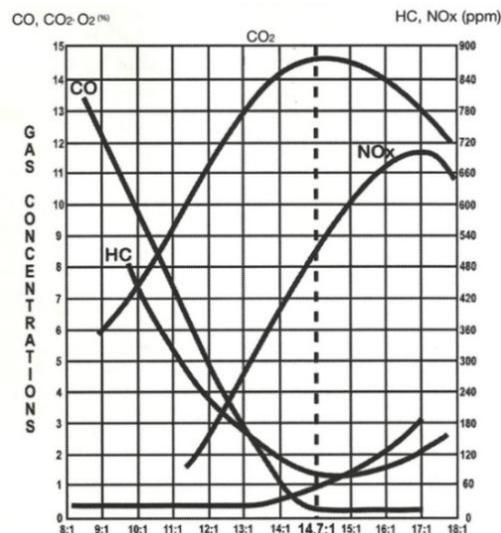
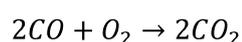


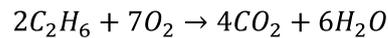
Figura 24: Emisiones de los gases de escape según su coeficiente lambda. Fuente: (mdhmotors)

Los motores de gasolina utilizan catalizadores de tres vías, es decir, ocurren tres reacciones de manera simultánea. Estos catalizadores están formados por un panel cerámico con un recubrimiento de metales preciosos que suelen ser Platino y/o Paladio. Además es necesaria una capa de soporte de este metal formada por óxido de aluminio Al_2O_3 , óxido de cerio CeO_2 y óxido de circonio ZrO_2 , que además aumenta la superficie específica del catalizador hasta 7000 veces. Las tres reacciones que realiza un catalizador de 3 vías son las siguientes:

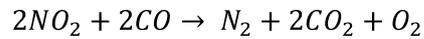
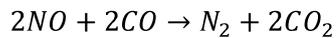
- Oxidación del monóxido de carbono para dar dióxido de carbono:



- Oxidación de hidrocarburos inquemados para dar dióxido de carbono y agua:



- Reducción de los óxidos de nitrógeno para dar dióxido de carbono y oxígeno:



Los óxidos de nitrógeno se reducen mediante el monóxido presente en el gas de escape, mientras que el monóxido de carbono y los hidrocarburos se transforman en dióxido de carbono y agua por oxidación, aprovechando la formación de oxígeno libre que se ha formado en la reacción de reducción. Los catalizadores de 3 vías más modernos disponen una sonda lambda antes del catalizador y otra después del catalizador, de manera que la Unidad de Control Electrónica recibe las dos señales obtenidas en ambos sensores, comprobando que son diferentes para asegurarse que el catalizador está realizando su función correctamente. En el caso en el que se obtuviese una señal demasiado similar, el catalizador estaría defectuoso y aparecería la señal luminosa de fallo del motor en el salpicadero.

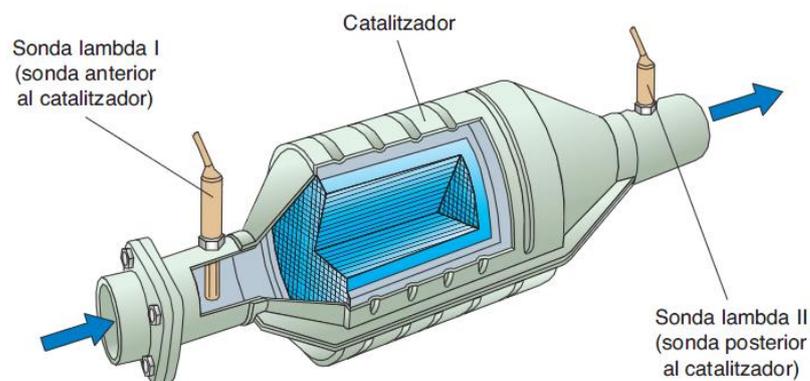


Figura 25: Catalizador de 3 vías y situación de las sondas lambda. Fuente: (Pardiñas, 2014)

En algunos sistemas también se insufla aire directamente al catalizador cuando el motor está frío para mejorar el rendimiento de las reacciones de oxidación hasta que el agua refrigerante del motor alcanza unos 30°C o bien el motor lleva en marcha más de un minuto. Además esta postcombustión hace que el catalizador llegue más rápidamente a la temperatura de funcionamiento, que es de 500°C.

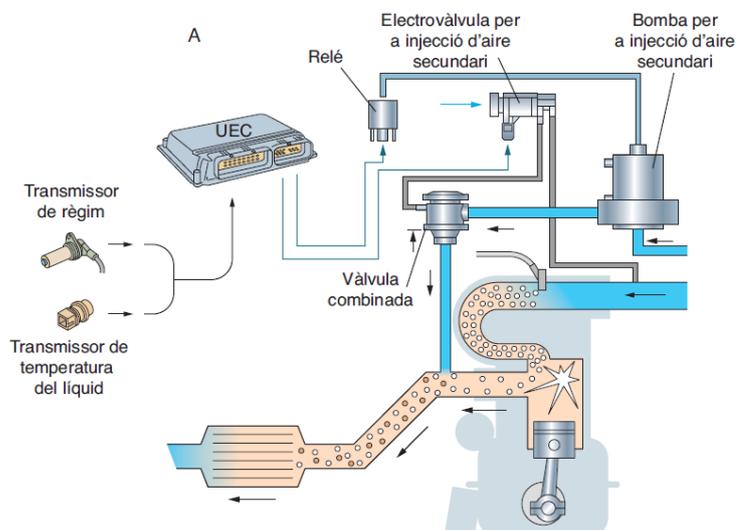


Figura 26: Esquema de la inyección secundaria de aire. Fuente: (Pardiñas, 2014)

Los motores Diésel necesitan además un catalizador-acumulador de NO_x que se monta detrás del catalizador de oxidación y dentro de una sola carcasa, aunque también pueden ir en carcasas diferentes, como se desarrolla en el apartado siguiente.

3.4.2. Óxidos de nitrógeno (NO_x)

Se producen sobre todo en motores Diésel cuando en la combustión se alcanzan altas temperaturas (mayores a 2000 K), porque a diferencia de los motores de gasolina, no son capaces de eliminar los óxidos de nitrógeno simplemente mediante el catalizador de tres vías. Las principales técnicas utilizadas para poder eliminar estos óxidos de nitrógeno son las siguientes:

- Recirculación de los gases de escape:

Es la técnica más efectiva para evitar la emisión de NO_x . Consiste en recircular una parte de los gases de escape hacia el colector de admisión mediante una válvula llamada AGR (**A**bgarückführung) o EGR (Exhaust Gas Recirculation). Esta válvula está equipada obligatoriamente en todos los vehículos Diésel desde la aplicación de la norma Euro 2. La tasa máxima de recirculación es del 65% para motores Diésel y del 25% para motores gasolina.

De esta manera disminuye la temperatura máxima de los gases ya que el gas inerte absorbe parte del calor de la combustión, y disminuye además la presencia de oxígeno libre que pudiera combinarse con el nitrógeno evitando la formación de NO_x .

Los primeros sistemas EGR eran de “alta presión”, es decir, se introducía el gas quemado directamente desde el colector de escape hacia el colector de admisión por medio de la válvula EGR. Este sistema tenía varios inconvenientes:

- El gas se bifurcaba antes de llegar a la turbina del turbocompresor, por lo que se reducía el impulso de la turbina empeorando el llenado.
- El caudal recirculado dependía de la diferencia de presión entre la salida del colector de escape y la del colector de admisión, quedando insuficiente dicho caudal si el motor trabaja a plena carga.
- El gas recirculado entraría muy caliente al colector de admisión y por tanto a muy baja densidad.

Desde la aplicación de la norma Euro 3 se introdujeron los EGR con intercambiador de calor, este intercambio de calor puede realizarse mediante el líquido refrigerante del motor, mediante corriente de aire, o incluso mediante otro líquido distinto al de refrigeración del motor. En la figura siguiente vemos el esquema de funcionamiento de la válvula EGR con intercambio de calor por el líquido refrigerante.

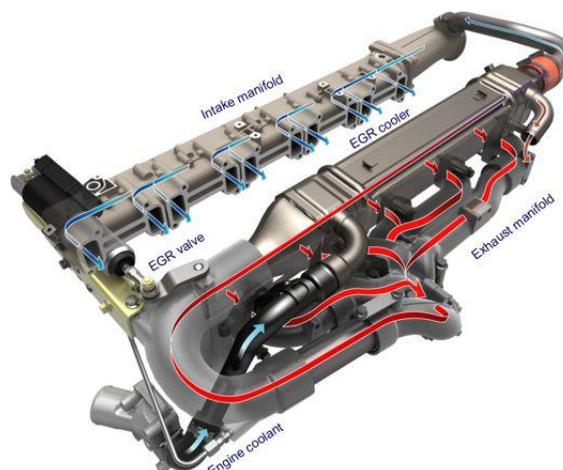


Figura 27: Sistema EGR con intercambio de calor. Fuente: (Scania)

Además desde la implantación de la norma Euro 3 se hace la recirculación a “baja presión”, es decir, la válvula de recirculación de gases se sitúa detrás del catalizador y del filtro de partículas. La figura siguiente muestra de una manera esquemática aunque no muy precisa la diferencia entre la recirculación a alta o baja presión:

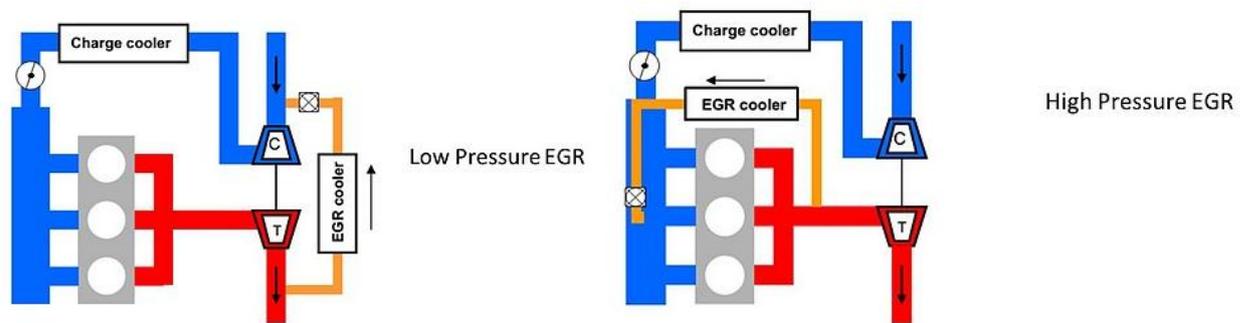


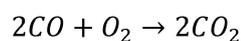
Figura 28: Diferencia entre EGR de baja y alta presión. Fuente: (SAE)

Catalizador-Acumulador de NO_x:

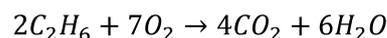
Los motores Diésel utilizan un catalizador de dos vías (o también llamado oxidante) para eliminar monóxido de carbono e hidrocarburos y además un catalizador-acumulador de NO_x, todo ello suele ir montado dentro de una misma carcasa metálica y cerca del colector de admisión ya que la temperatura normal de funcionamiento es entre 250 a 450 °C.

Como los motores Diésel trabajan siempre con exceso de aire ($\lambda > 1$), los catalizadores utilizados aprovechan el oxígeno presente para realizar las siguientes dos reacciones (dos vías):

- Oxidación del monóxido de carbono para dar dióxido de carbono:



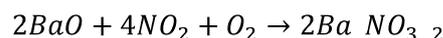
- Oxidación de hidrocarburos inquemados para dar dióxido de carbono y agua:



El catalizador-acumulador de NO_x está recubierto en su superficie de compuestos acumuladores como el óxido de bario (BaO). Su funcionamiento es el siguiente:

- Fase de acumulación:

El óxido de nitrógeno se oxida en el recubrimiento de platino de la superficie convirtiéndose en dióxido de nitrógeno. A continuación el NO₂ reacciona con los compuestos acumuladores del catalizador como el óxido de bario para formar nitrato de bario, que se acumula en la superficie del catalizador:



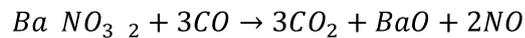
- Fase de regeneración:

Detrás del catalizador-acumulador existe un sensor que mide la concentración de NO_x de los gases de escape que no han sido oxidados, de manera que cuando llega a cierto valor, envía esta información a la Unidad de Control Electrónica, y se realiza la fase de regeneración. Consiste en aumentar la inyección para conseguir una mezcla rica ($\lambda < 1$) y lograr una carencia de aire, de esta manera se consigue aumentar la temperatura además de aumentar la concentración de monóxido de carbono, que es necesario en esta fase.

Mientras que en la fase de acumulación dura unos 300 segundos, la fase de regeneración necesita entre 2 a 10 segundos para completarse. Durante la regeneración tienen lugar dos reacciones químicas:

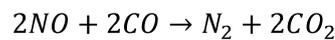
- Descolmatación del catalizador:

En estas condiciones de funcionamiento ($\lambda < 1$) se alcanzan entre 600 a 650 °C, por lo que el monóxido de carbono actúa como agente reductor reduciendo el nitrato de bario y convirtiéndolo en óxido de bario que seguirá fijado al sustrato del catalizador.



- Reducción del óxido de nitrógeno

Por último el monóxido de nitrógeno (NO) formado anteriormente se reduce mediante un último tramo en el acumulador que contiene Rodio en su superficie. El recubrimiento de Rodio reduce el monóxido de nitrógeno y lo convierte en nitrógeno libre y monóxido de carbono, que son compuestos presentes en el aire de manera natural.



- Sistema SCR:

Como se aprecia en la figura, las normas Euro siempre han sido más permisivas para los motores Diésel que los de gasolina en cuanto a la emisión de óxidos de nitrógeno. Con la introducción de la norma Euro 6, la emisión de NO_x prácticamente se iguala en ambos motores, aunque la naturaleza del motor Diésel es la de producir más NO_x porque siempre funciona con un excedente de oxígeno que se combina con el nitrógeno libre generado por la alta temperatura de combustión.

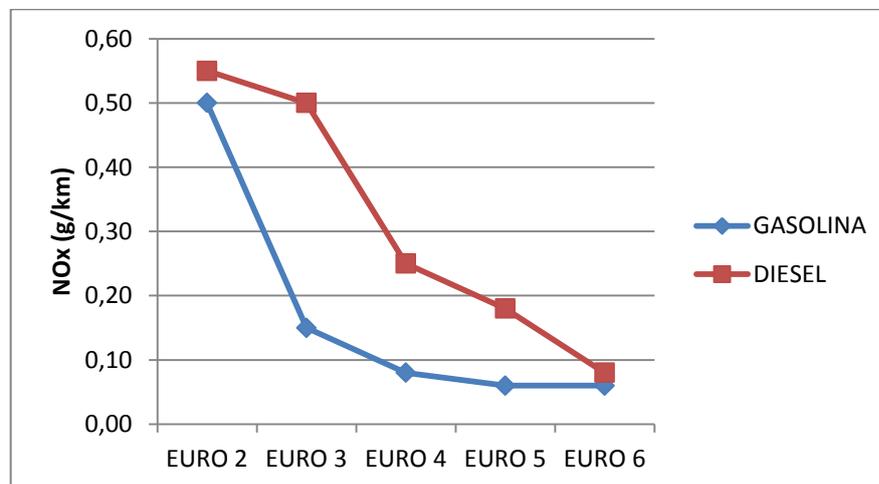
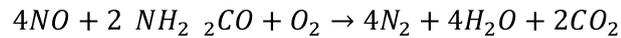


Figura 29: Límite de emisión de NO_x en las normas Euro. Elaboración propia

El sistema SCR (Selective Catalytic Reduction) mejora aún más la reducción de óxidos de nitrógeno, pero tiene el inconveniente de necesitar un depósito por separado de urea al 32% que lo inyecta en el sistema de escape mediante una bomba. La cantidad de urea que cabe en el depósito está calculada para que su llenado coincida con las revisiones de mantenimiento. Además si el sistema detecta que el depósito de urea está vacío, el motor se apaga automáticamente para que no se produzcan emisiones informando del fallo en el salpicadero. La marca comercial de la urea al 32% para automóviles se denomina AdBlue.

Con la entrada de la norma Euro 6 es casi imprescindible la utilización de dicho sistema en motores Diésel, ya que la emisión máxima permitida se reduce en un 56% respecto la norma Euro 5 (de 180 g/km a 80 g/km). Otras alternativas para no incluir sistema SCR en vehículos Diésel suponen disminuir la cilindrada, disminuir el peso del vehículo usando otros materiales o mejorar la aerodinámica.

En los sistemas de SCR el catalizador primario es de oxidación únicamente (de doble vía), su función es la de oxidar el monóxido de carbono y los hidrocarburos pero no reduce el monóxido de nitrógeno presente ya que es necesario este compuesto para reducirse con la urea según la reacción:



Esta reacción tiene la ventaja de producirse a menor temperatura (200°C) que con un acumulador de NO_x, además de que no necesita fase de regeneración para limpiar el catalizador.

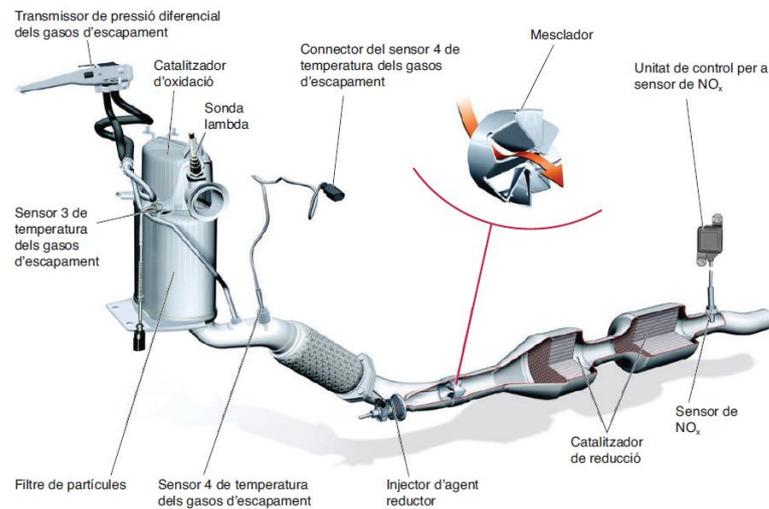


Figura 30: Sistema de escape con inyector de AdBlue. Fuente: (Pardiñas, 2014)

3.4.3. Partículas de hollín (PM):

A partir de la norma Euro 5 es imprescindible incluir filtro de partículas DPF (Dieselpartikelfilter) en los motores Diésel o en los de gasolina mediante inyección directa para poder cumplir el límite que marca la normativa de 0,005 g/km.

Están formados por un panel de carburo de silicio de conductos cuadrados de 0,3 a 0,4 mm de diámetro. Estos conductos están taponados al tresbolillo para que las partículas de hollín queden retenidas y el gas salga a través de los poros de la cerámica como se representa en la figura siguiente:

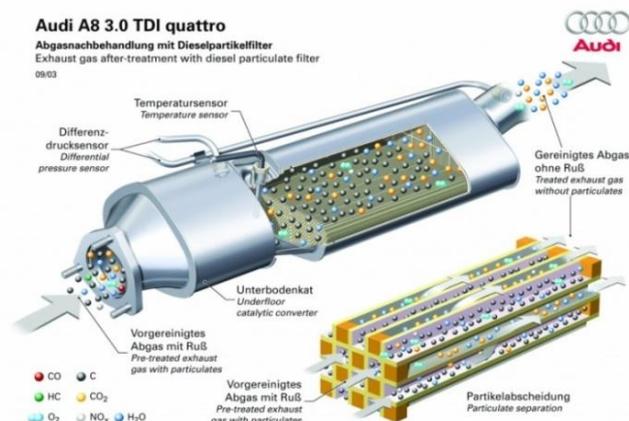


Figura 31: Detalle del panel del filtro de partículas DPF. Fuente: (diesलगrossisten.no)

A medida que se va llenando de hollín, éste queda retenido en la superficie de los conductos y actúa a su vez como un filtro muy eficiente, con una capacidad para retener partículas de entre 10 nm a 1 μm . Finalmente cuando el filtro está muy colmatado empeora la salida del gas de escape, disminuyendo el rendimiento del motor por lo que debe realizarse una regeneración. Un sensor de presión situado antes del DPF y otro después, mide la diferencia de presión de manera que si alcanza un determinado valor se efectúa la regeneración automáticamente. Normalmente se activa cada 500 km aproximadamente y necesita 10 a 15 minutos su limpieza completa. Por ello un uso del vehículo exclusivamente por ámbito urbano y trayectos cortos es desaconsejable ya que provocaría la colmatación del DPF.

Durante la regeneración, la UCE (Unidad de Control Electrónica) realiza una serie de cambios para que aumente la temperatura de los gases de escape hasta que alcancen 600°C dentro del DPF. Algunos de estos cambios son:

- Se desactiva el funcionamiento de la válvula EGR → Mayor temperatura de combustión
- Se realiza una postinyección → Da riqueza a la mezcla y aumenta la temperatura de escape
- Se regula la presión de sobrealimentación para que no varíe el par durante la regeneración

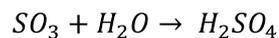
Al aumentar la temperatura, las partículas de hollín (hidrocarburos) se oxidan con el oxígeno del escape transformándose en CO_2 .

3.4.4. Óxido de azufre (SO_2):

El dióxido de azufre se oxida en la combustión generando trióxido de azufre, que está en los gases de escape únicamente si el combustible contiene azufre pero no tiene ninguna utilidad en el proceso de combustión. La reacción de oxidación es:



El azufre está presente en muy pequeñas cantidades en los combustibles, fundamentalmente en el gasóleo, y es muy difícil su eliminación completa. En presencia de agua forma ácido sulfúrico:



El ácido sulfúrico es muy corrosivo para el catalizador y tiene gran impacto medioambiental porque es uno de los compuestos causantes de la lluvia ácida junto con el ácido nítrico. Otro problema asociado es la pérdida de efectividad del acumulador de NO_x , ya que la capa de soporte formada por Al_2O_3 se combina con el óxido de azufre en presencia de oxígeno formando sulfato de aluminio:



El sulfato de aluminio así formado es resistente a las altas temperaturas de la regeneración y no vuelve a pasar a óxido de aluminio.

Por todo ello, las normativas sobre combustibles (EN 590 para gasóleo y EN 228 para gasolina) son cada vez más exigentes en cuanto a la presencia de azufre, sobre todo en gasóleos. Actualmente la Directiva 2009/30/CE exige que tanto el gasóleo como la gasolina deben tener una concentración de azufre menor o igual a 10 partes por millón, o lo que es lo mismo, menos del 0,001%.

NORMA	ENTRADA EN VIGOR	DIESEL (ppm)	GASOLINA (ppm)
EURO 1	01/1992	2000	-
EURO 2	01/1996	500	-
EURO 3	01/2000	350	150
EURO 4	01/2005	50	50
EURO 5	09/2009	10	10
EURO 6	08/2014	10	10

Tabla 9: Normas EN 590 y EN 228. Fuente: (transportpolicy.net)

3.4.5. Dióxido de Carbono (CO₂):

Los vehículos ligeros son los causantes del 12% del total de emisión de CO₂ en la Unión Europea. Tanto los motores de combustión interna producen directamente CO₂ en su funcionamiento, por lo que la única manera de reducir la emisión de CO₂ es reduciendo el consumo de combustible.

En el año 1999 la Directiva europea 1999/94/EC sobre etiquetado de vehículos pretende mantener informados a los compradores del consumo de combustible y emisión de CO₂ del vehículo que adquiere.

Esta directiva se armoniza en el Real Decreto 837/2002. Entre otras cosas establece que deben obtenerse de manera gratuita en los puntos de venta etiquetas que informen del consumo de combustible y las emisiones de CO₂ de todos los automóviles de turismo nuevos:

Marca/modelo:	
Tipo de carburante:	
CONSUMO OFICIAL (SEGÚN LO DISPUESTO EN LA DIRECTIVA 80/1268/CEE)	
Tipo de conducción	L/100 Km.
En ciudad	
En carretera	
Media ponderada	
EMISIONES ESPECÍFICAS OFICIALES DE CO₂ (SEGÚN LO DISPUESTO EN LA DIRECTIVA 80/1268/CEE)	
g/km.	
El consumo de combustible y las emisiones de CO ₂ no sólo dependen del rendimiento del vehículo; también influyen el comportamiento al volante y otros factores no técnicos. El CO ₂ es el principal gas de efecto invernadero responsable del calentamiento del planeta.	

Figura 32: Etiqueta informativa del consumo de combustible y emisiones de CO₂. Fuente: (Real Decreto 837/2002)

También especifica las etiquetas que con carácter voluntario pueden exhibirse sobre consumo de combustible y emisión de CO₂:

Eficiencia Energética	
Marca	
Modelo	
Tipo de Carburante	
Transmisión	
Consumo de Carburante (litros por cada 100 kilómetros)	
Equivalencia (kilómetros por litro)	
Emisión de CO₂ (gramos por kilómetro)	
Comparativa de Consumo (con la media de los coches de su mismo tamaño a la venta en España)	
Bajo consumo	
< -25% A	
-15-25% B	
-5-15% C	
media D	
+5-15% E	E +8,3%
+15-25% F	
> 25% G	
Alto consumo	
* En todos los puntos de venta puede obtenerse gratuitamente una guía sobre el consumo de combustible y emisiones de CO ₂ en la que figuran los datos de todos los modelos de automóviles de turismo nuevos.	
*El consumo de combustible y las emisiones de CO ₂ no sólo dependen del rendimiento del vehículo; también influyen el comportamiento al volante y otros factores no técnicos. El CO ₂ es el principal gas de efecto invernadero responsable del calentamiento del planeta.	

Figura 33: Etiqueta voluntaria de consumo de combustible y emisión de CO₂. Fuente: (Real Decreto 837/2002)

Además, como medida activa para disminuir las emisiones por parte de los fabricantes de vehículos, el Reglamento CE/443/2009 indica que en 2015 la emisión media del parque de vehículos nuevos de cada fabricante debe ser menor a 130 g/km de CO₂, y hacia 2020 debe ser menor de 95 g/km de CO₂. En 2014 la emisión media fue de 123,4 g/km por lo que se superó el objetivo propuesto para 2015. Esto significa que el consumo de combustible fue, en promedio, inferior a 5,6 L/100 km en motores gasolina o bien 4,9 L/100 km en Diésel (European Commission).

Lo que caracteriza a la normativa es que permite que los vehículos de cierta gama emitan más CO₂ que la media en base al peso del mismo, siempre que en promedio del parque de vehículos no se supere el valor límite, para ello los fabricantes deben compensar los vehículos de mayor masa y que por tanto pueden tener mayor emisión de CO₂ con otros vehículos más ligeros de gama baja. Se establece una curva de valor límite de emisión, estableciéndose un valor neutro para los vehículos de 1372 kg de masa en caso de automóviles (y de 1706 para furgonetas).

Según la Directiva 2007/46/EC en el Anexo II define vehículo ligero de sub categoría M₁ como “Vehículos de ocho plazas como máximo (excluida la del conductor) diseñados y fabricados para el transporte de pasajeros”. Además los vehículos de la categoría M son aquellos dedicados al transporte de personas con al menos cuatro ruedas y un peso máximo mayor a 1 tonelada.

Se establece el peso promedio de los vehículos en 1372 kg, correspondiente a una emisión media de 130 g/km CO₂. Sobre este valor bascula una recta cuya función está definida como:

$$\text{Emisión permitida CO}_2 \text{ vehículos } N_1 = 130 + a * (M - M_0)$$

Donde:

a = pendiente de la recta límite de emisión, que es de 0,0457 para automóviles

M = masa del vehículo objeto de estudio

M₀ = masa del vehículo de referencia que es de 1372 kg

A menor pendiente, mayor es el esfuerzo necesario para los vehículos de mayor peso ya que permite unas emisiones de CO₂ comparativamente menores.

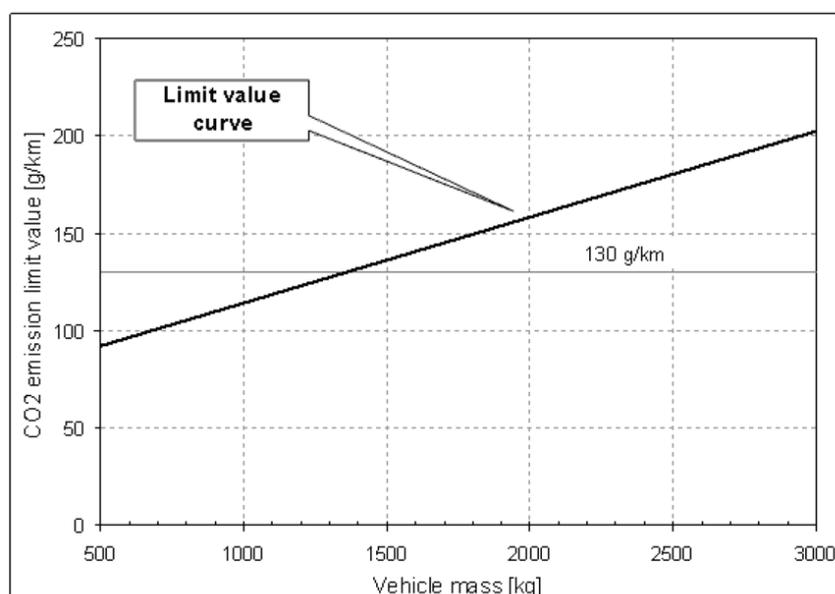


Figura 34: Curva de valor límite de emisión para vehículos ligeros. Fuente: (Reglamento nº 443, 2009)

A los vehículos N_1 que son los de transporte de mercancías de menos de 3500 kg de masa máxima, se establece un peso promedio de 1706 kg, y un objetivo de CO_2 medio de 175 g/km.

$$\text{Emisión permitida } CO_2 \text{ vehículos } N_1 = 175 + a * (M - M_0)$$

En este caso M_0 es 1706 kg y la pendiente "a" es de 0,093. La gráfica siguiente compara ambas rectas:

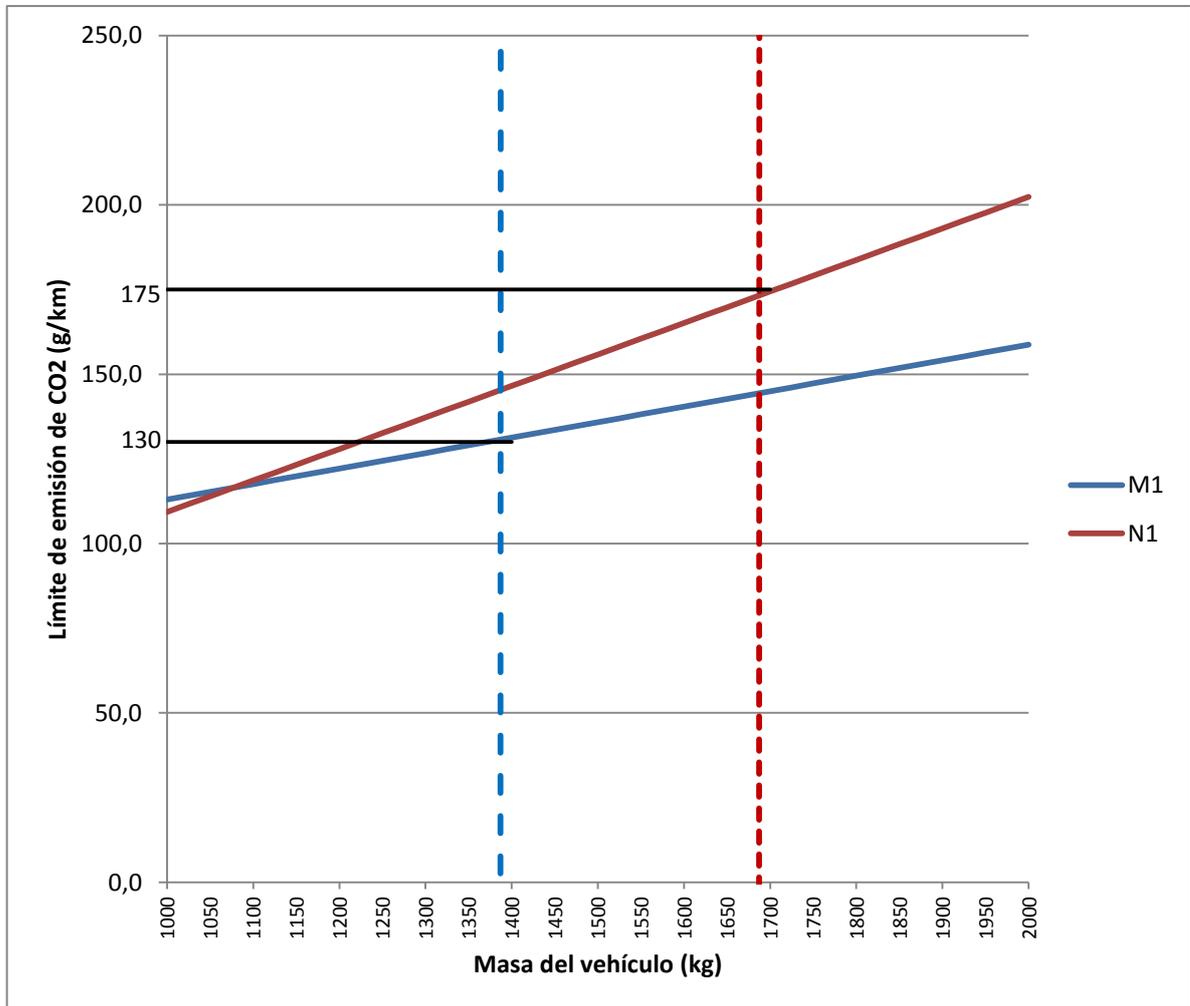


Figura 35: Valor límite de emisión de CO_2 para vehículos M1 y N1. Elaboración propia.

Igualando ambas ecuaciones se obtiene la masa a partir de la que se permite mayor emisión de dióxido de carbono:

$$130 + 0,0457 * M - 1372 = 175 + 0,093 * M - 1706$$

A partir de 1077 kg se vuelve más restrictiva la norma para los vehículos de pasajeros que los de transporte de mercancías.

4. CICLO DE VIDA DEL AUTOMÓVIL

Como se ha visto anteriormente el ciclo de vida del automóvil se compone de cuatro etapas diferenciadas, en cada una de las cuales se generan impactos medioambientales:

- Extracción y procesado de las materias primas
- Fabricación del vehículo
- Uso del mismo y reparaciones
- Fin de vida y tratamiento como residuo

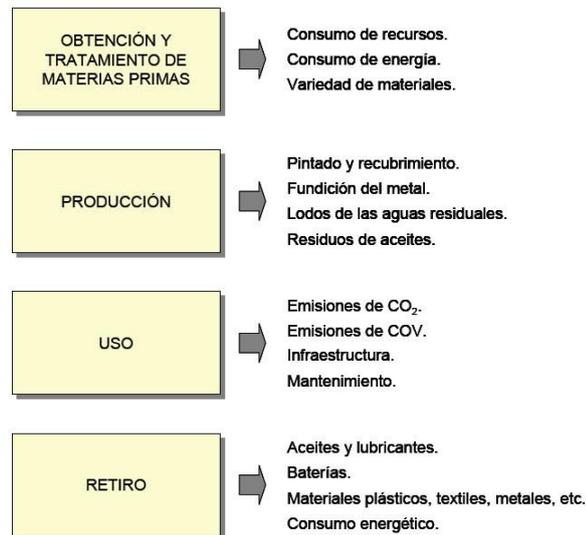


Figura 36: Impactos ambientales más importantes en cada etapa del ciclo de vida. Fuente: (Viñoles Cebolla, Bastante Ceca, López García, Vivancos Bono, & Capuz Rizo, 2003)

A continuación se desarrollan cada una de estas etapas ya que el tipo y cantidad de impactos difiere mucho entre etapas.

4.1.Extracción y procesado de las materias primas

Como se aprecia en la tabla 10, el 75% del peso de los vehículos es material metálico, por ello es destacable el gasto energético necesario para obtener los distintos metales extraídos a partir de las materias primas. El consumo de energía sería mucho menor si se emplease metal reciclado en lugar de su extracción natural. En caso del aluminio, el consumo energético de producirlo a partir de aluminio reciclado es de sólo el 5% que el consumo necesario para producirlo a partir de la mina. Además hay que tener en cuenta el impacto que se produce por la utilización de recursos naturales no renovables.

Metales	75%	Piezas de hierro	70,1%	Chapa	39%
		Metales no férricos		Acero	13%
Otros materiales	Aluminio			4,5%	
	25%	Cobre, Zinc, otros		0,4%	
Plástico		8,5%			
Equipo eléctrico		3,2%			
Caucho		4%			
Vidrio		3,5%			
Textil		1,2%			
Aceites		1%			
Papel y cartón		0,5%			
Combustible	0,3%				
Varios	2,8%				

Tabla 10: Composición media de los vehículos fuera de uso. Fuente: (Plan Nacional de Vehículos al final de su vida útil (2001-2006))

Por ello se han ido sustituyendo a lo largo de los años algunos elementos que fabricaban con acero, para pasar a fabricarse con distintos plásticos, fibra de vidrio o aluminio. Estos elementos son los paragolpes, partes de la carrocería sin función estructural, e incluso partes del motor, como la admisión, filtro de aire, etc.

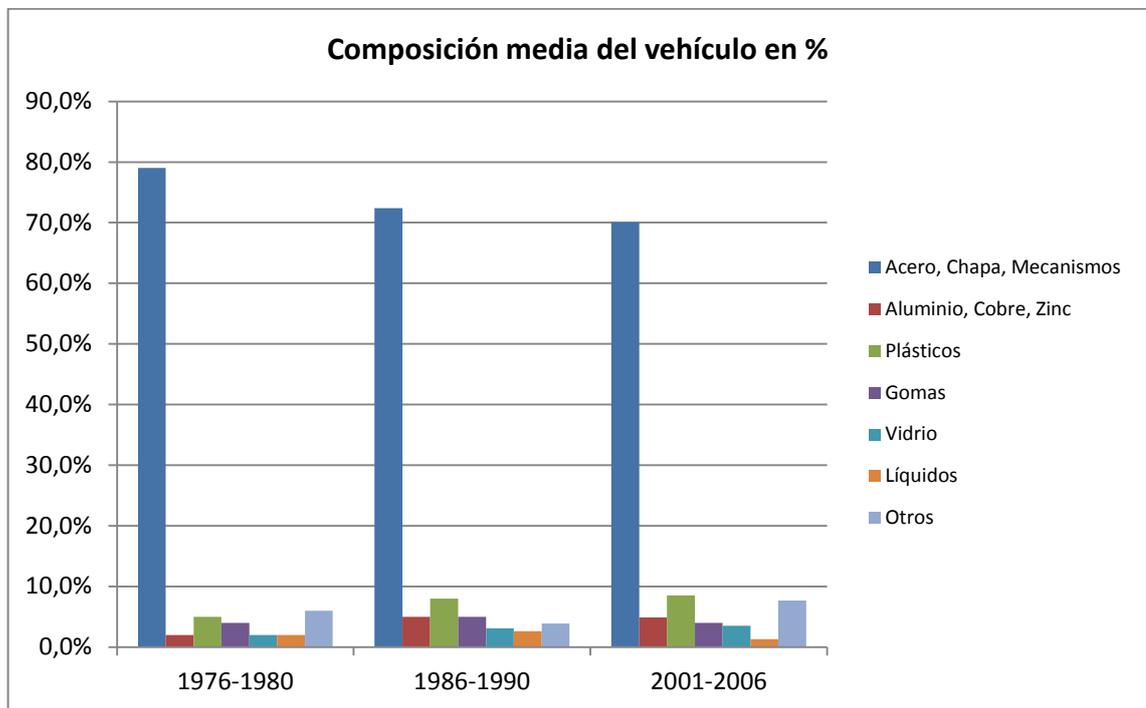


Figura 37: Composición de los vehículos a lo largo del tiempo. Fuente: (Plan Nacional de Vehículos al final de su vida útil (2001-2006))

4.2. Fabricación del vehículo

Se hace necesario que en fase de diseño se tenga en cuenta el posterior reciclaje y valoración, ya que el impacto en la fase de fin de vida depende enormemente del diseño inicial.

La legislación española mediante el Real Decreto 1383/2002 establece medidas de prevención desde la fase del diseño del vehículo, y por ello prohíbe la utilización de cromo hexavalente, mercurio, plomo y cadmio, con excepciones.

Además, la misma norma propone:

- Fabricar los vehículos facilitando el desmontaje, la reutilización y la valorización.
- Emplear sistemas de codificación que permitan la identificación de los componentes susceptibles de reutilización o valorización.
- Dar información a los gestores de vehículos que identifique la ubicación de las sustancias peligrosas al final de la vida del mismo.
- Informar a los consumidores mediante publicidad sobre los criterios que se han tomado en su diseño y fabricación para proteger el medio ambiente.

Los principales impactos se producen por el consumo energético para el conformado y soldadura del metal, emisiones de CO₂, emisiones atmosféricas de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) y consumo de agua como material de base en el proceso de pintado.

La Asociación Europea de Fabricantes de Vehículos dispone de las tendencias de los consumos de las plantas de fabricación de automóviles en Europa de 2005 a 2013.

Consumo de agua:

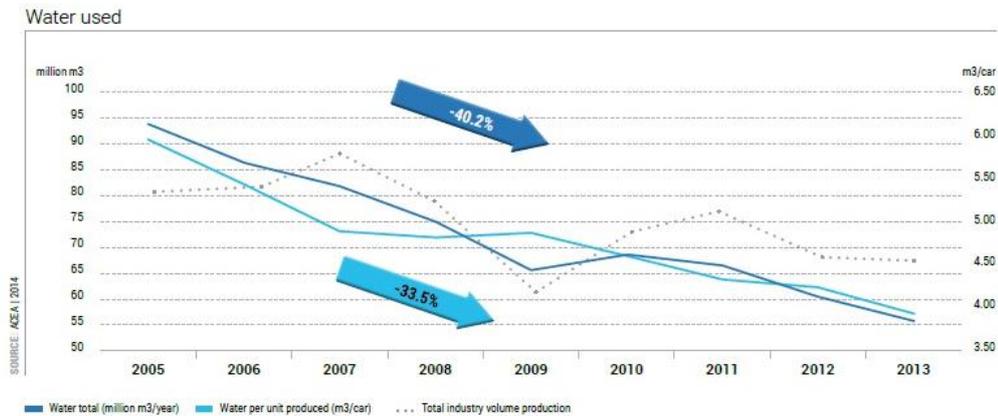


Figura 38: Consumo de agua en fase de producción del vehículo. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association)

Se ha reducido la utilización de agua un 33,5% entre 2005 y 2013 pasando de unos 6,5 m³/vehículo a algo menos de 4 m³/vehículo, introduciendo sistemas de recirculación de agua.

Consumo de energía y consumo de CO₂:

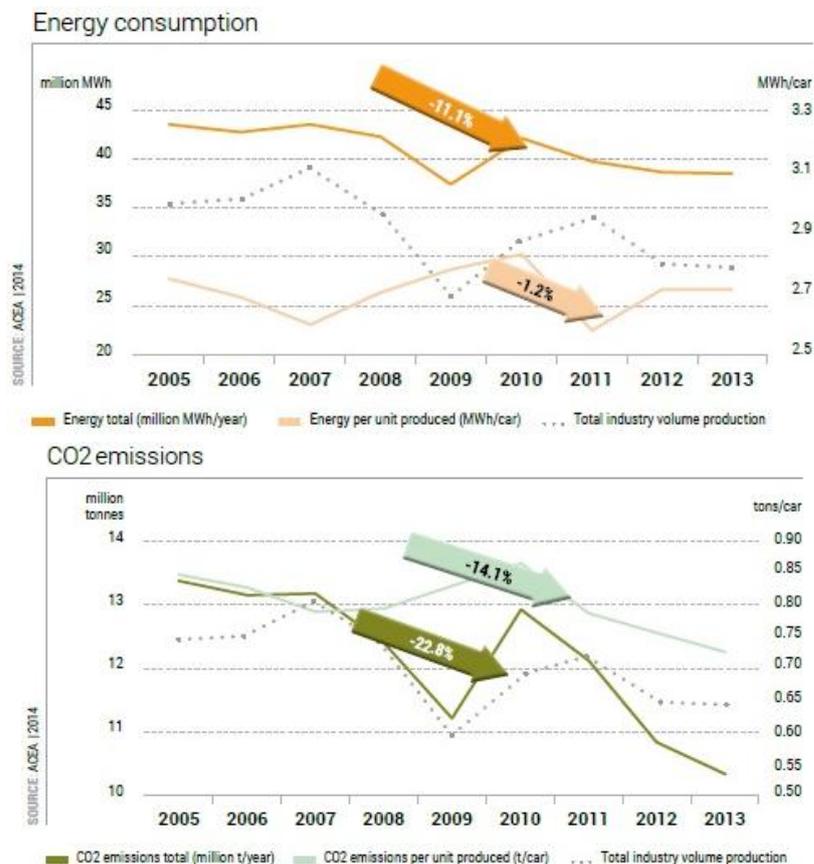


Figura 39: Consumo de energía y consumo de CO₂ por vehículo producido. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association)

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

El consumo energético ha disminuido un 11,1% como resultado de aplicación de medidas de eficiencia energética hasta los 2,6 MW*h/vehículo, asimismo el consumo de CO₂ ha disminuido en un 22,8 % hasta 0,52 toneladas/vehículo, La fluctuación en los valores se debe a que la energía requerida depende de las condiciones climáticas.

Emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles:

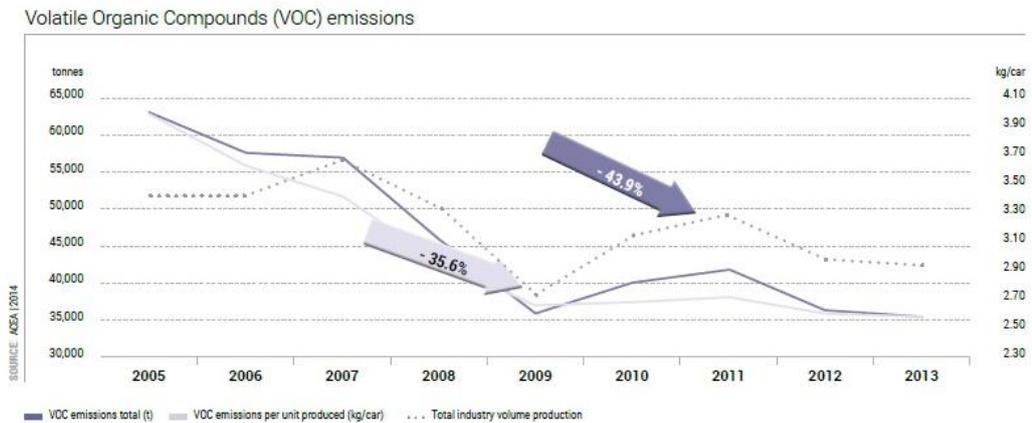


Figura 40: Emisión de VOC. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association)

Las emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles se han reducido en un 35% por la utilización de pinturas de base acuosa, sustituyendo a las pinturas que utilizaban como base disolventes orgánicos, además de ser más respetuosas con el medio ambiente, son menos peligrosas porque disminuye el riesgo de incendio.

Producción de residuos:

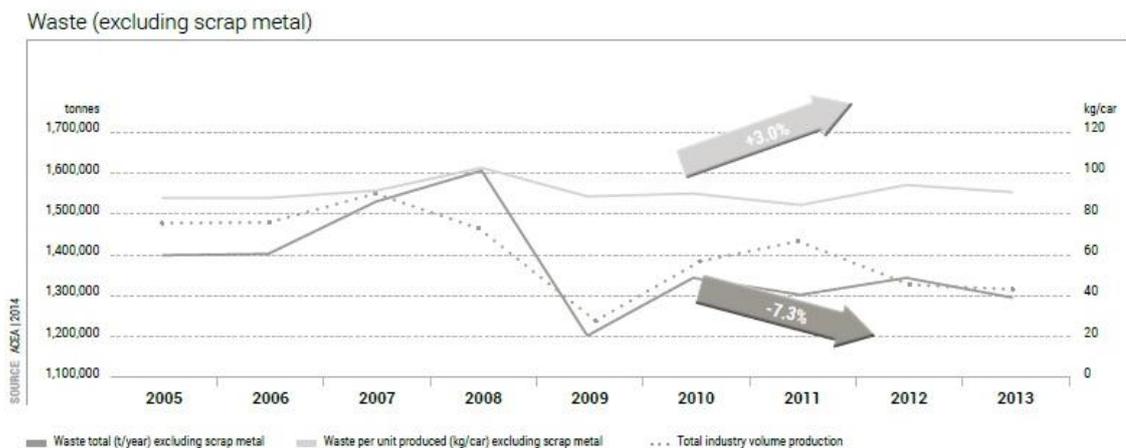


Figura 41: Producción de residuos. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association)

Aunque la producción de residuos por vehículo ha disminuido un 7,3% mediante la disminución de piezas defectuosas y reutilización de material sobrante en los distintos procesos, aumenta la producción de residuos a nivel global en un 3%, debido a la exportación de los mismos y la necesidad de utilizar elementos de embalaje.

4.3. Uso y reparaciones

La fase de utilización del vehículo es la fase en la que se genera mayor impacto de todas, debido a la emisión de gases. Además se generan residuos peligrosos en las reparaciones y las operaciones de mantenimiento.

4.3.1. Uso del vehículo

Aunque se emiten diversos gases de escape durante el uso del mismo, como se muestra en la figura siguiente, el estudio se centra en las emisiones de CO₂ porque son los que mayor influencia tienen, ya que los demás gases que provocan impactos negativos, como los hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas, sumados apenas representan el 1% del total para los motores de gasolina y el 0,2% para los motores diesel.

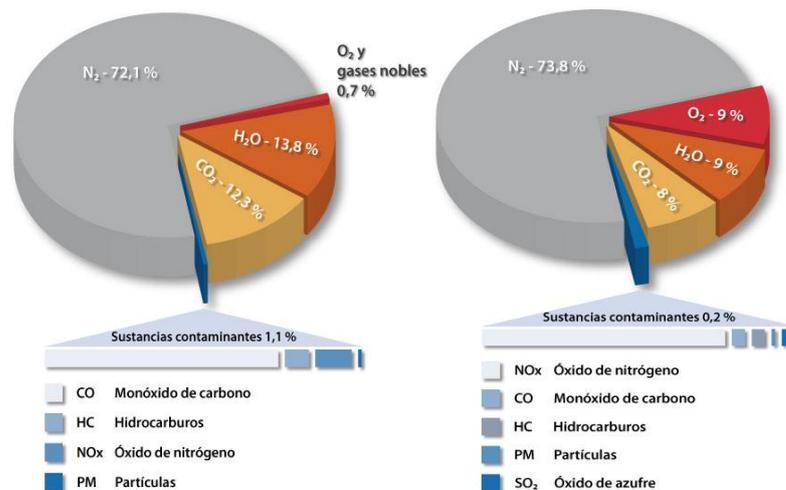


Figura 42: Gases de escape en motores gasolina (izquierda) y diesel (derecha). Fuente: (NGK)

La tabla 11 indica el combustible utilizado por los vehículos en % del total del parque automovilístico en los 27 países de la Unión Europea.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Gasolina	68,9%	64,0%	59,2%	55,5%	51,9%	50,7%	49,4%	47,3%	47,4%	51,1%	45,3%	43,4%	43,0%	45,1%
Diesel	31,0%	35,9%	40,7%	44,4%	47,9%	49,1%	50,3%	51,9%	51,3%	45,1%	51,3%	55,2%	54,9%	52,5%
Alternativos y Eléctricos	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%	0,3%	0,7%	1,3%	3,8%	3,5%	1,4%	2,2%	2,4%

Tabla 11: Tipo de combustible usado en los vehículos de los países de la U.E. - 27. Fuente: (European Environmental Agency, 2014)

Se observa que desde 2000 se ha producido una “dieselización” del parque automovilístico. Este cambio de tendencia en la demanda puede explicarse mediante diversos factores, entre los que destacan el menor precio del gasóleo frente a la gasolina por su menor carga impositiva, mejoras en las prestaciones como la disminución del ruido, un menor sobrepeso entre un vehículo gasolina y Diesel, y la economicidad del consumo de carburante (Álvarez García, Romero Jordán, & Jorge García-Inés).

Este menor consumo de carburante se explica por el mayor rendimiento debido a las diferencias en el diagrama termodinámico de los motores Diesel además de la mayor densidad energética por unidad de volumen de este combustible, como se aprecia en la tabla 12:

	Gasolina	Gasóleo
DENSIDAD (kg/m ³)	750	830
PCS (MJ/kg)	42,9	47
Energía (MJ/L)	32,2	39,0

Tabla 12: Energía por unidad de volumen para gasolina y gasóleo. Adaptado de: (Martínez)

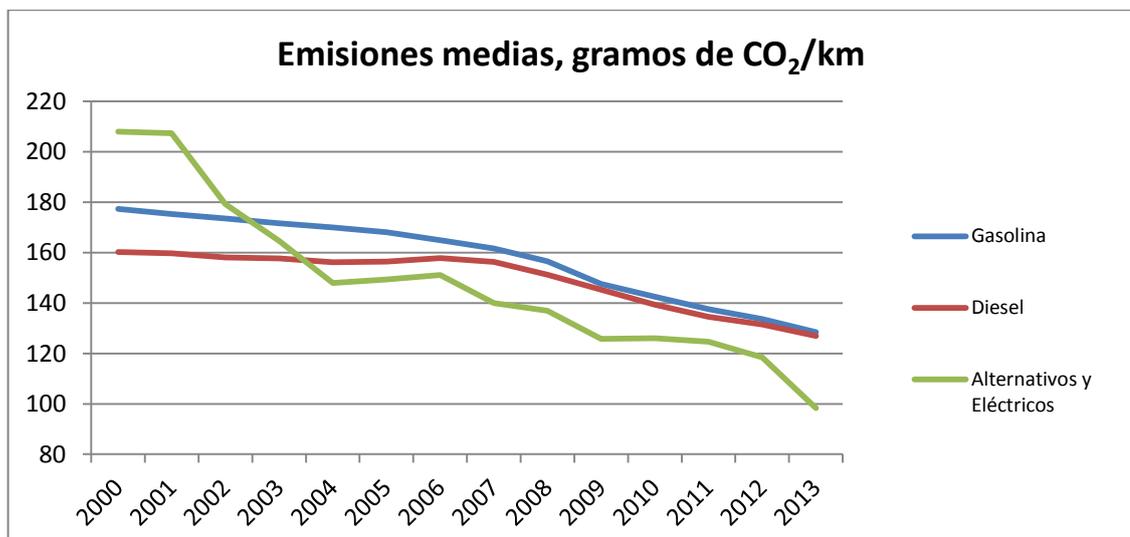


Figura 43: Emisiones medias por tipo de combustible utilizado. Fuente: (European Environmental Agency, 2014)

En el año 2000 las emisiones medias de los vehículos Diesel eran significativamente menores que las de vehículos de gasolina, emitiendo 160,3 g CO₂/km frente a 177,4 g CO₂/km. Esta diferencia en el nivel de emisiones ha ido disminuyendo cada año; en el año 2013 únicamente existe una diferencia de 1,55 g CO₂/km menos de emisión de un vehículo Diesel, con una media de 126,9 g CO₂/km, lo cual indica una tendencia decreciente de emisiones, en concreto un 26% menos en 2013 que las del año 2000.

Por otra parte la tendencia de las emisiones en vehículos alternativos es muy irregular porque los tipos de combustible que engloban dicha categoría han variado a lo largo de los años. A principio de 2000, integraban la clasificación los vehículos de combustible dual, como gasolina y etanol, pero se han ido sustituyendo por vehículos de Gas Natural (metano) o Gas Licuado del Petróleo (propano y butano). En los últimos años han proliferado las matriculaciones de vehículos híbridos con funcionamiento Diesel o Gasolina y eléctrico, o bien de eléctricos puros que usan baterías recargables conectadas a la red eléctrica.

Para los vehículos eléctricos puros, que utilizan la energía almacenada en baterías, las emisiones de gases de escape son de 0 g CO₂/km, no se han contabilizado por tanto las emisiones que produce la central eléctrica de la que se abastece de electricidad.

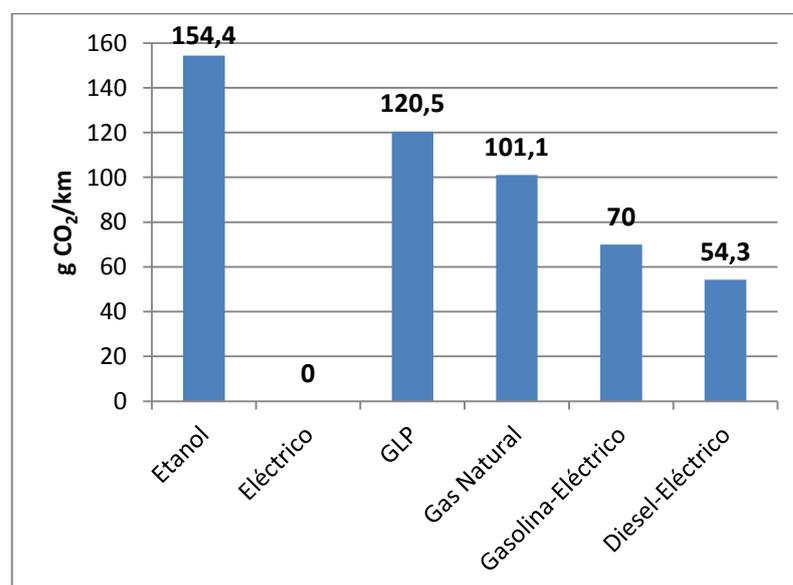


Figura 44: Emisiones de los distintos vehículos de combustible alternativo. Fuente: (European Environmental Agency, 2014)

La distribución de los distintos tipos de vehículos con combustible alternativo en toda la Unión Europea en 2013 aparece en la figura 45. Aunque existen variaciones significativas entre países, los que son más utilizados son los de Gas Licuado de Petróleo y Gas Natural, porque su uso es extendido en flotas de autobuses y taxis.

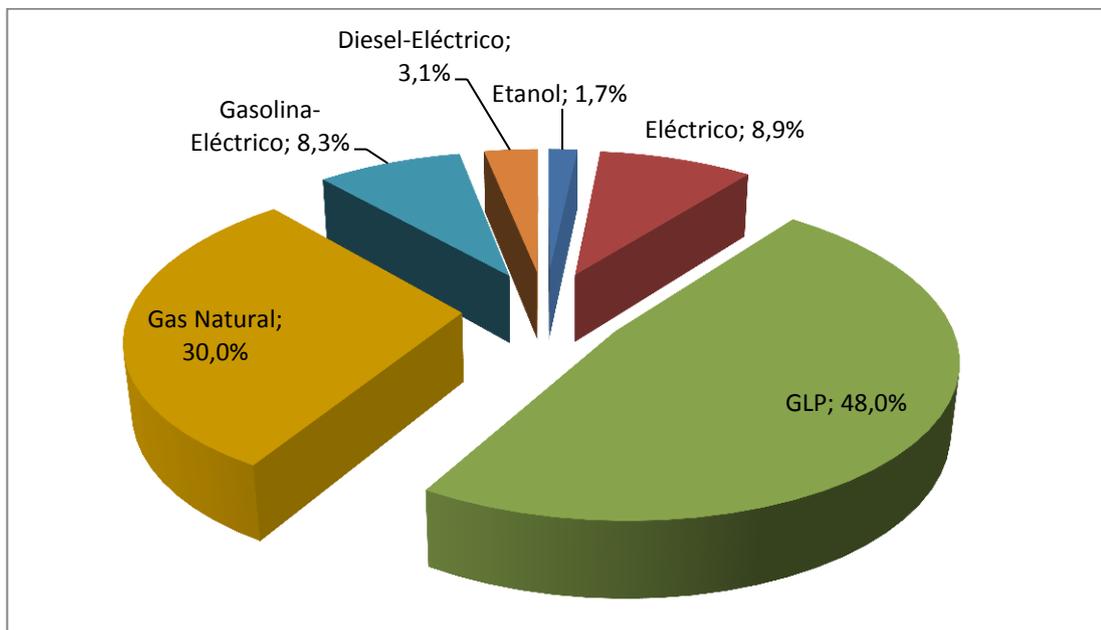


Figura 45: Distribución de los vehículos de combustible alternativo. Fuente: (European Environmental Agency, 2014)

4.3.2. Reparaciones

La figura 46 es un esquema de los procesos que siguen los residuos en las fases de uso y fin de vida del vehículo:

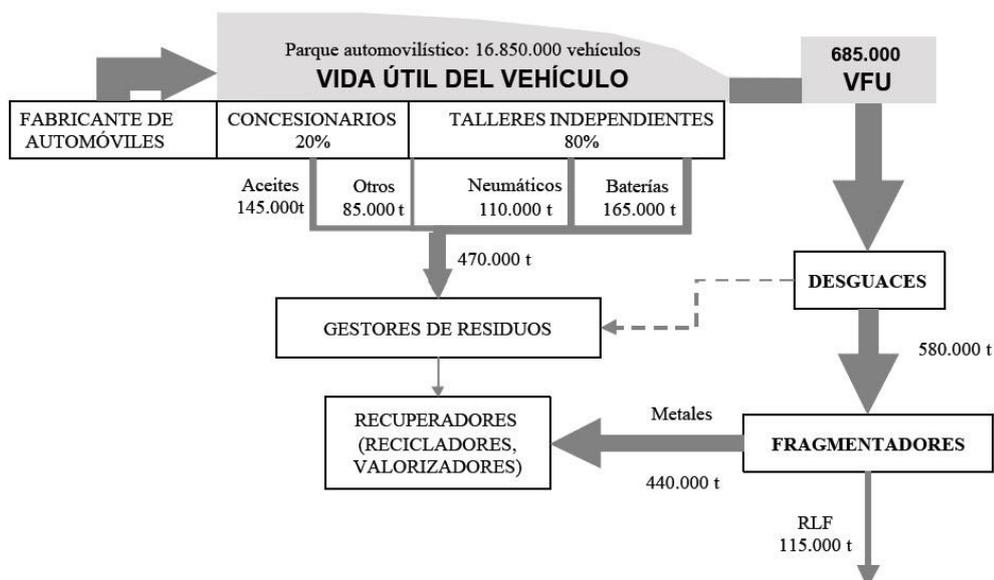


Figura 46: Generación de residuos: fase de uso, reparación y fin de vida. Fuente: (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001)

La tabla 13 muestra la cantidad de residuos generados durante la fase de uso de los vehículos, tanto por talleres oficiales o concesionarios, como por talleres independientes multi marca, en el año 1999. Además da una estimación de los distintos residuos que generan los vehículos fuera de uso.

	Concesionarios	Talleres	Total VU	VFU	TOTAL
Aceites	80957 t	66170 t	147127 t	4521 t	151648 t
Filtros aceite	3247 t	2740 t	5987 t	343 t	6330 t
Refrigerante	7309 t	5970 t	13279 t	3425 t	16704 t
Vidrios	3108 t	469 t	3577 t	14077 t	17654 t
Neumáticos	10311 t	101200 t	111511 t	27400 t	138911 t
Baterías	10465 t	153874 t	164339 t	8220 t	172559 t
Catalizadores	239 t	1800 t	2039 t	5480 t	7519 t
Paragolpes	2496 t	8944 t	11440 t	6028 t	17468 t
Plásticos	2009 t	4702 t	6711 t	6028 t	12739 t
Textiles	234 t	1762 t	1996 t	4110 t	6106 t

Tabla 13: Toneladas de residuos durante el uso y al final de la vida útil de los vehículos durante el año 1999. Fuente: (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001)

De la tabla se obtiene como conclusión que los vehículos en uso generan una cantidad de residuos casi 6 veces mayor que los vehículos fuera de uso, debido a las reparaciones.

Teniendo en cuenta que el parque automovilístico en 1999 fue de 16.850.000 vehículos, y que los desguaces españoles recibieron 685.000 vehículos fuera de uso, se puede comparar la cantidad de residuos que se generan por cada vehículo en uso como fuera de uso. Se observa que para los vehículos en uso, los mayores residuos son los aceites y las baterías, mientras que para los vehículos fuera de uso son los neumáticos y los vidrios.

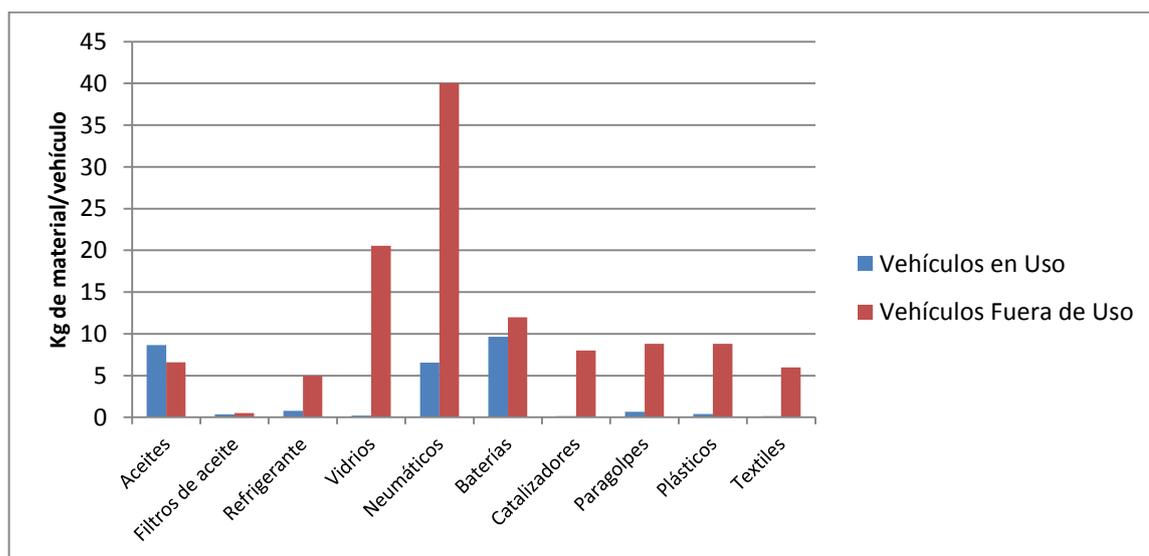


Figura 47: Residuos generados por vehículos en uso y fuera de uso. Fuente: (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001)

4.4. Fin de vida y tratamiento como residuo

La Directiva 91/156/CE sobre residuos, se transpuso a la legislación española con la Ley 10/1998, derogada actualmente. Esta Ley establecía un orden jerárquico de preferencia en la eliminación de residuos:

- **Reutilización:** Consiste en volver a dar el mismo uso al producto que para el que fue diseñado.
- **Reciclado:** Utilización de los productos o componentes para que vuelva a ser utilizado como materia prima o intermedia en el proceso de producción.
- **Valoración:** Consiste en la recuperación de energía de los productos mediante su combustión en una planta incineradora.
- **Eliminación:** Vertido de los residuos no valorizables en vertedero.

La Directiva que la sustituye actualmente es la Directiva 2008/98/CE, transpuesta por la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados. Esta ley incluye en primer lugar del orden jerárquico el concepto de

Prevención antes de la reutilización, que se define como las medidas tomadas para disminuir la cantidad de residuos a reciclar y valorizar, y los impactos adversos al medio ambiente.

Por otra parte, la Directiva 2000/53/CE sobre los vehículos al final de su vida útil fue transpuesta al derecho español mediante el RD 1383/2002. En este Real Decreto se fomenta la reutilización y el reciclado a la vez que se pretende disminuir la generación de residuos. Además se establece como objetivo antes de enero de 2015 alcanzar un porcentaje de recuperación superior al 95% del peso del vehículo.

	2006	2015
Recuperación y valorización	>85%	>95%
Reutilización y reciclado	>80%	>85%
Eliminación en vertedero	<15%	<5%

Tabla 14: Objetivos a alcanzar por la Directiva 2000/53/CE antes de 2015. Fuente: (SIGRAUTO)

Se puede observar el progreso en la aplicación del RD a través de la tabla y figura siguientes:

Toneladas	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Residuos Generados	885.689	839.194	712.440	913.787	805.623	644.707	659.960
Recuperación y Valorización	743.582	714.257	610.401	786.214	690.700	563.735	582.122
Reutilización y Reciclado	675.519	687.562	587.736	754.449	666.723	534.196	547.789

Tabla 15: Residuos de VFU generados, recuperados y reciclados. Fuente: (EUROSTAT)

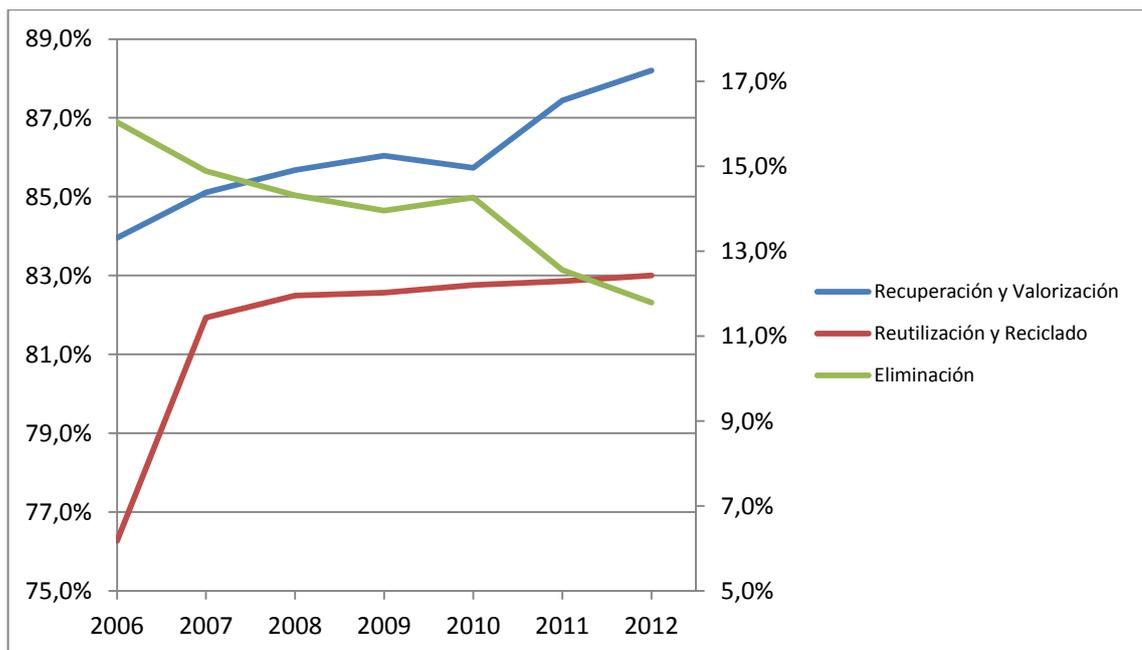


Figura 48: Porcentajes de Recuperación total, Reutilización y eliminación. Fuente: (EUROSTAT)

La cantidad de residuos generados ha disminuido en más de un 25% desde 2006, con un peso total de 659.960 toneladas de VFU en 2012. Asimismo aumentan progresivamente los porcentajes de recuperación total y de reutilización y reciclado, hasta un valor de 88,2% y 83% respectivamente. Esta mejora se debe a los avances en la valorización energética tras la fragmentación de los vehículos una vez descontaminados.

4.4.1. Proceso de los VFU

Tras la entrada en vigor del RD 1383/2002, el propietario del vehículo que dé por finalizada su vida útil tiene la obligación de deshacerse gratuitamente del mismo en los Centros Autorizados de Tratamiento (CAT). Los propietarios entregan la documentación del vehículo y el CAT entregan al propietario el Certificado de Destrucción, y el vehículo pasa a formar parte de un residuo peligroso según la Lista Europea de Residuos en el capítulo 16, subcapítulo 01: *“Vehículos de diferentes medios de transporte al final de su vida útil y residuos del desguace de vehículos al final de su vida útil y del mantenimiento de vehículos.”*

Una vez que el vehículo se encuentra en las instalaciones del CAT, se realiza la Descontaminación, retirando los residuos peligrosos como los aceites, líquidos, filtros y batería, y los no peligrosos que puedan tener algún valor en su reciclado como el catalizador, neumáticos, vidrio... Además se desmontan, identifican y almacenan para su comercialización las piezas que todavía pueden ser reutilizadas en otros vehículos.

El resto del vehículo, que normalmente comprende el bastidor y algunos elementos de la carrocería, se compacta y envía a instalaciones de fragmentación de vehículos, donde junto con otros residuos de diversa procedencia, se trituran y se separan con imanes los materiales férricos. Estos materiales se envían a fundición.

El resto no férrico se separa por distintos procedimientos para obtener los metales no férricos como aluminio y cobre, y por otra parte las fracciones no metálicas, como los distintos tipos de plástico, caucho y vidrio, que también se recicla o valorizan energéticamente, aunque una parte de estos materiales se envía a vertedero de inertes.

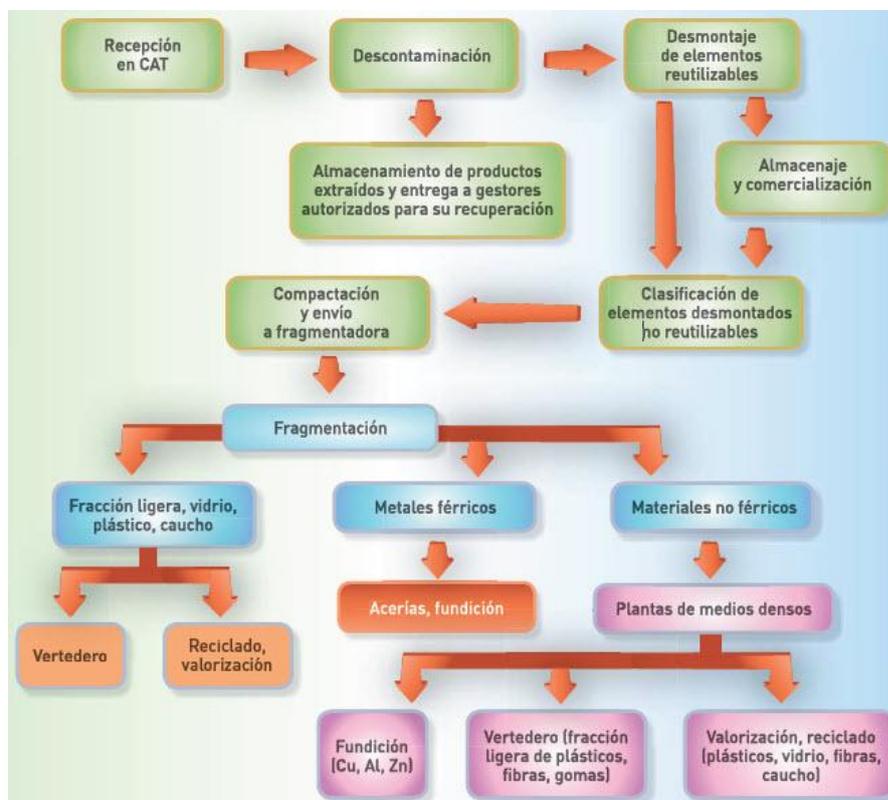


Figura 49: Proceso de reutilización, reciclado y valoración de los VFU. Fuente: (López, 2011)

Las fracciones que todavía no se recuperan son aproximadamente unas 121.000 toneladas de una mezcla compleja de distintos materiales (plásticos, espumas, cauchos, textiles, etc.) y a día de hoy son depositadas en vertedero.

5. PRODUCT SERVICE SYSTEM (PSS)

El concepto Product Service System es un nuevo modelo de negocio que tiene en cuenta el concepto de Desarrollo Sostenible. El objetivo principal del PSS es conseguir satisfacer una necesidad mediante un sistema de productos y servicios en lugar de crear un producto para satisfacer dicha necesidad (García Sáez & Capuz Rizo, 2015). De esta manera se mantiene la utilidad para el cliente mientras que se reduce el consumo de recursos.

Este concepto choca con la economía actual, donde la satisfacción de las necesidades de los clientes se basa en ofrecer productos materiales. En muchos casos estas necesidades no se satisfacen en realidad con el producto material sino con el servicio que ofrece el producto. En el caso de la industria del automóvil, el producto material son los vehículos y la demanda de los clientes es la movilidad, que puede ser satisfecha con diversos productos.

Este cambio de paradigma está en contraposición con el modelo actual por varios factores según (Mont, 2004):

- Incrementar el consumo de los materiales y energía utilizada en la producción ha sido siempre la clave para el crecimiento económico
- Para las empresas es impensable considerar otros modos de satisfacer las necesidades que con objetos materiales ya que no pueden o no saben variar su modelo de negocio
- Los impactos ambientales son muy difusos porque dependen del tipo de demanda y las distintas formas de satisfacerla
- No es posible separar el consumo de la realización de actividades, hoy en día el consumo está presente en cada aspecto del comportamiento humano

Esto implica que cambiar los patrones de consumo requiere un cambio profundo en la sociedad. Teniendo en cuenta la capacidad de carga de la tierra, los hábitos de consumo de los países industrializados no son sostenibles como se ha visto en los apartados anteriores. Este problema se agrava por el deseo de los países en desarrollo de alcanzar el mismo nivel de prosperidad, cuyas consecuencias medioambientales podrían ser fatales en las próximas décadas.

Según (Princen, 1999) para mantener creciente la producción, ha habido una necesidad de crear una demanda creciente de bienes, por lo que se han desarrollado estrategias para estimular el consumo. Además, como nunca se han reflejado en los precios los costes medioambientales y sociales, actualmente los precios de los productos manufacturados son muy altos y es más barato para los consumidores comprar productos producidos industrialmente.

Además existen factores psicológicos que influyen en el consumo, como por ejemplo:

- La teoría de Max Neef: La adquisición de bienes está siempre correlacionada con la felicidad, aunque en algunos casos existe una correlación inversa: a mayor materialismo la felicidad de la sociedad disminuye.
- El número y calidad de las posesiones es percibido como una medida del triunfo en la vida.
- La pirámide de Maslow: Hasta que no están cubiertas las necesidades más fundamentales como las de tipo fisiológico, no se pueden alcanzar otras más elevadas como las de tipo social.

Mientras que la economía tradicional ve el crecimiento económico como la forma de alcanzar la felicidad, se demuestra que el materialismo no produce mayor felicidad. Al contrario, según la teoría de Max Neef demuestra que a medida que a mayor crecimiento económico, el bienestar humano aumenta hasta cierto punto, a partir del cual comienza a disminuir, debido a los impactos medioambientales, la disminución de recursos naturales y las desigualdades sociales.

Aunque tener la propiedad de bienes materiales siempre ha sido visto como un signo de poder y estatus social, el acceso a servicios también puede ser visto como pertenencia a ciertos grupos sociales, como por ejemplo el acceso a educación, eventos culturales o actividades deportivas. Además, cada vez se tienen que satisfacer necesidades de tipo social en lugar de material, que se encuentran en un nivel mayor de la pirámide de Maslow. Además como en los PSS la propiedad del producto permanece en el fabricante y será utilizado por varios usuarios, a éste le interesa que el producto dure lo máximo y que sea lo más eficiente posible (García Sáez & Capuz Rizo, 2015).

5.1.Elementos y criterios que componen el PSS

Mont (Mont, 2004) define un sistema-producto-servicio como un sistema de **productos, servicios, redes** y una **infraestructura de soporte** que está diseñada para ser competitiva, satisfaga las necesidades de los consumidores y sea más respetuosa con el medio ambiente que los modelos tradicionales de negocio.

Esta definición de PSS tiene 4 elementos que componen el PSS y 3 criterios de factibilidad presentes en cualquier Product Service System:

5.1.1. Elementos

- **Productos:** En concreto la posibilidad de reemplazar productos por servicios. Normalmente mediante cambio de propiedad del producto hacia el uso compartido como el car sharing o también en alquiler o leasing, dependiendo del tipo de producto. Este cambio puede implicar modificaciones en el diseño de los productos. Los sistemas de car sharing suelen utilizar vehículos corrientes por el momento, ya que los fabricantes no adaptan sus diseños a vehículos de este tipo. Por eso los vehículos de car sharing no están adaptados a múltiples usuarios en una utilización intensiva y con distintos modos de conducción. Muchas empresas de servicios de car sharing ofrecen una variedad de vehículos según el tipo de uso. Además suelen ser reemplazados cada 2-3 años, por lo que son más seguros y más respetuosos con el medio ambiente que el vehículo privado. Además suelen funcionar con biodiésel o electricidad. Según (Meijkamp, 2000) los coches de car sharing son un 22% más ligeros y un 24% más eficientes que la media del parque automovilístico. Esto se puede deber a que son vehículos poco asequibles para algunos usuarios o demasiado innovadores como para ser aceptados por la mayoría de los consumidores.
- **Servicios:** Los servicios también deben ser optimizados medioambientalmente y deben adaptarse al tipo de uso que va a darse. Hay que tener en cuenta que en PSS la venta se produce con el servicio, y no con el producto, por lo que deben estimularse mecanismos que intensifiquen el uso del servicio que se ofrece.
Estos servicios pueden ser muy diversos, desde el acceso a uno o más coches, un sistema de reservas telefónico o acceso mediante tarjetas, acceso 24 horas a una amplia variedad de vehículos, disponibilidad en diversos lugares, o bien servicios adicionales no relacionados con el transporte como pueden ser la entrega de alimentos, servicios de agencia de viajes, alquiler de bicicletas, asientos infantiles, etc.
Las empresas de car sharing suelen utilizar las TIC para cubrir un mayor nivel de servicios. Se pueden realizar las reservas on line, rastreo de la ubicación de los coches, obtener facturas y pagos electrónicos...
- **Infraestructura:** Las infraestructuras son la columna vertebral de nuestra sociedad: Las carreteras, las líneas eléctricas, los sistemas de distribución de agua y de recogida de residuos... La existencia de infraestructura es la que permite que existan ciertos patrones de consumo.

En car sharing se utiliza la infraestructura existente para el transporte, por lo que no hacen falta inversiones de capital, cambios en tecnología o infraestructura. El mayor problema de las empresas de car sharing es que no hay espacio suficiente para aparcar en las ciudades, por eso muchas de ellas colaboran con los organismos públicos para poder reservar plazas de aparcamiento específicamente para estos vehículos, que además tienen que estar localizadas cerca de donde los clientes las necesitan.

- **Redes:** Para ser viable económicamente, las empresas de car sharing buscan la interoperabilidad con otros modos de transporte como por ejemplo el transporte público. Esto hace que el servicio de car sharing sea mucho más versátil para los clientes sin tener los inconvenientes de un coche en propiedad. También la cooperación con empresas de alquiler de vehículos los fines de semana pueden aliviar las puntas de demanda que experimentan dichas empresas.

5.1.2. Criterios para la factibilidad del PSS

- **Viabilidad del negocio:** Algunas cooperativas no comerciales han sobrevivido en el mercado durante más de un cuarto de siglo, pero estas cooperativas solo operan en ámbitos reducidos y sin expectativas de crecimiento. Las empresas grandes de car sharing tiene una base empresarial y operan desde hace más de 10 años por lo que son negocios viables. Por otra parte en algunas ciudades de Alemania, las empresas de transporte público han creado sus propios sistemas de car sharing. Los ferrocarriles alemanes han lanzado una combinación de tren y car sharing llamada DBCarsharing. Algunos fabricantes de automóviles también se han interesado ya que tiene un gran potencial de crecimiento. Honda ha diseñado un vehículo eléctrico de car sharing en Tokyo, mientras que Nissan ha desarrollado un sistema de car sharing para su vehículo eléctrico hypermini.
- **Satisfacción del cliente:** Los principales factores para la satisfacción del cliente son: La ventaja de no tener que realizar una inversión inicial en la compra del vehículo, el ahorro de costes fijos que supone la posesión de un vehículo, la disponibilidad de varios tipos de vehículos según la necesidad, que haya poca distancia hasta la zona de aparcamiento de los vehículos de car sharing, la falta de mantenimiento, provisión de plazas libres de aparcamiento cuando se producen puntas, seguro de responsabilidad civil, y una imagen respetuosa con el medio ambiente.

A pesar de todo ello, los mayores problemas para que un sistema de car sharing funcione son el arraigo de los usuarios a disponer de un coche en propiedad y los grupos de presión como son fabricantes de vehículos, repuestos, empresas petrolíferas, que promueven tener automóviles de uso privado porque ven su modelo de negocio amenazado con estos nuevos sistemas.

- **Respetuoso medioambientalmente:** El sistema de car sharing puede reducir el impacto ambiental de varias formas. Según (Meijkamp, 2000) puede reducirse el número de vehículos hasta en un 44% y las distancias recorridas entre un 30 a un 60%. Estas mejoras se deben al uso más selectivo de los coches, ya que la estructura de costes en car sharing es lo contrario a la del vehículo privado.

Con un vehículo en propiedad, los costes fijos como la compra del vehículo e impuestos son altos y los costes variables como el coste por kilómetro recorrido es bajos, mientras que en car sharing, el coste por kilómetro es alto y el coste de la contratación del servicio es bajo, por lo que se incentiva a que la gente conduzca menos. Además también se selecciona el vehículo al tipo de trayecto que va a realizarse, por lo que se evita un uso excesivo de vehículos de gran tamaño en los centros de las ciudades. Los coches de car sharing son más avanzados tecnológicamente y las emisiones son menores.

5.2. Clasificación de los PSS

Una de las clasificaciones más comunes se realiza según su orientación. Se clasifican en (García Sáez & Capuz Rizo, 2015):

- **PSS orientados a producto:** El producto es el protagonista, que se complementa con otros servicios. En este tipo de PSS, la propiedad del producto es del usuario.
 - **Integración de servicios:** Son servicios adicionales que mejoran su utilidad, como por ejemplo el mantenimiento, financiación, suministro de consumibles y recuperación del producto en su fin de vida.
 - **Asesoramiento y consultoría:** El proveedor ofrece soluciones logísticas para optimizar la producción de la fábrica, por ejemplo.

- **PSS orientados a uso:** En este caso la propiedad del producto pertenece al proveedor y el consumidor paga por su uso. El consumidor paga por unidad de servicio. Existen a su vez varias subcategorías:
 - **Productos arrendados:** El proveedor posee la propiedad del producto y es responsable de su mantenimiento y reparación. El cliente tiene un acceso al producto ilimitado.
 - **Productos alquilados:** Es similar a los productos arrendados, pero la diferencia estriba en que el acceso del usuario no es ilimitado, y otros usuarios pueden usar el mismo producto en otras ocasiones.
 - **Productos de uso compartido (pooling):** La característica añadida con los anteriores es el uso simultáneo del producto con otros usuarios. Por ejemplo, un car sharing donde un usuario comparte su coche con más personas que viajan al mismo lugar.
 - **Pago por unidad de servicio:** El producto también es en este caso la base del sistema, pero no se compra el producto sino el resultado del uso del mismo.

- **PSS orientados a resultado:** el producto físico es sustituido por un resultado funcional. El cliente paga por el resultado que previamente han producido determinados productos, que son propiedad del proveedor. Este posee la libertad para utilizar la tecnología o productos que desee, aunque para tener mayores ingresos le interesa disponer de los sistemas más eficientes posibles.
 - **Externalización:** La subcontratación de ciertas actividades a otras empresas como por ejemplo el catering o el servicio de limpieza.
 - **Unidad funcional:** El resultado no está asociado a ningún sistema tecnológico por lo que el proveedor tiene total libertad para llegar al resultado. Por ejemplo las empresas que ofrecen “clima agradable” en lugar de vender equipos de refrigeración y calefacción.

5.3. Reutilización de Equipamientos (Remanufacturing)

Como se ha visto anteriormente, el consumo sostenible sólo es posible si se cierra el ciclo de vida del producto una vez que finaliza la vida útil del mismo. Mediante refabricación, los procesos productivos son más eficientes económicamente y medioambientalmente que los ciclos de vida abiertos, aunque dependiendo del sector, la energía requerida en los procesos de fabricación puede representar un impacto muy significativo.

La refabricación de productos utiliza componentes o ensamblajes reutilizados para fabricar productos nuevos, por lo que suele ser más eficiente que la fabricación utilizando todos los componentes nuevos. La refabricación implica la restauración o fabricación parcial del producto, cuyo proceso puede llevarse a cabo en la misma empresa en la que se fabricó por primera vez o en una distinta dedicada

exclusivamente a la refabricación, tras lo cual el producto es devuelto al mercado, tanto de productos como de piezas de repuesto, como se aprecia en el esquema:

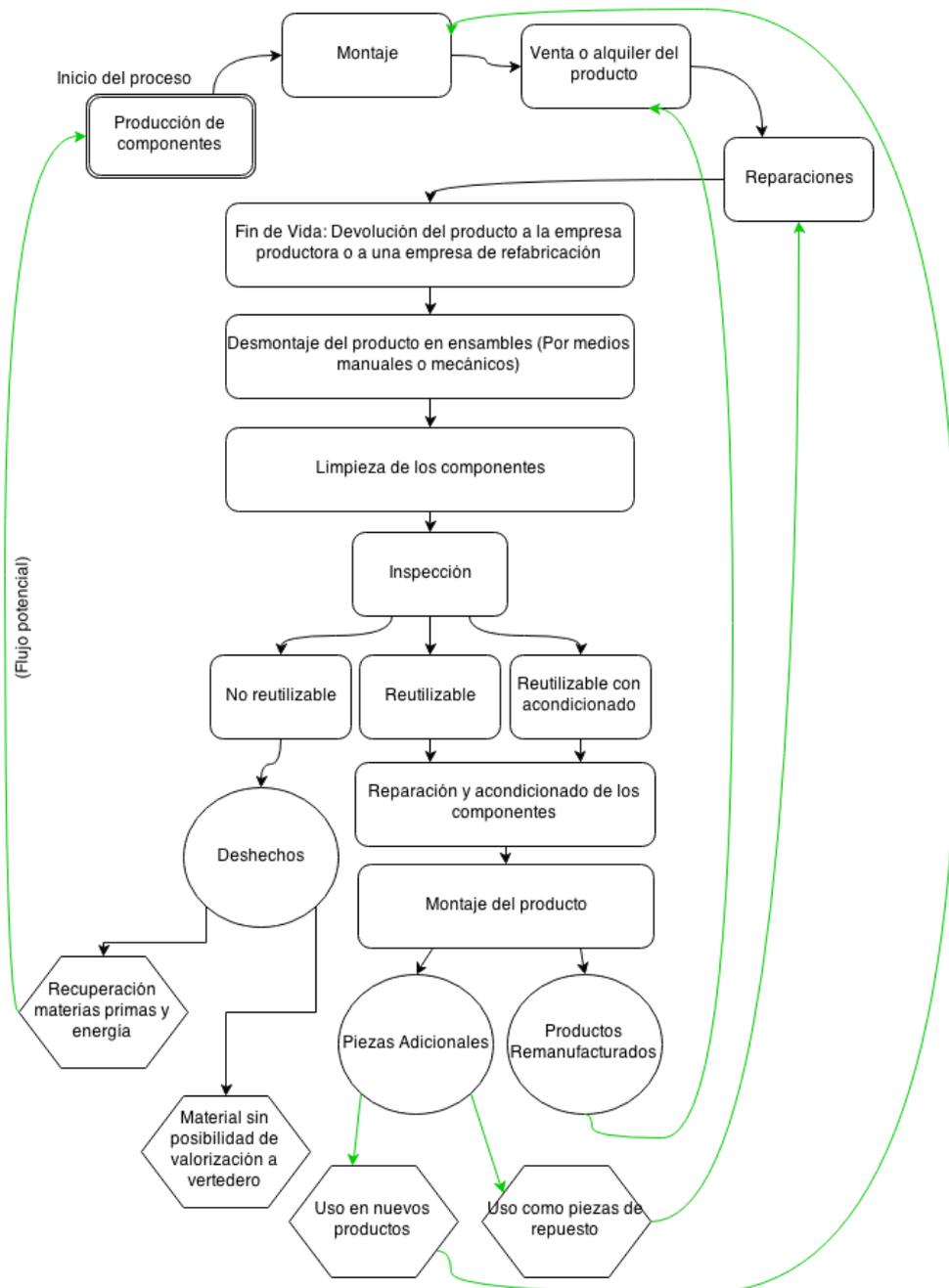


Figura 50: Proceso genérico de refabricación. Adaptado de (Kerr & Ryan, 2000)

Una vez que los productos usados llegan a la planta, pasan por una serie de procesos como son el desmontaje, limpieza, inspección, refabricación de los componentes que lo necesiten, montaje y control de calidad del producto acabado, para garantizar que cumple todas las características y requisitos.

Los productos y componentes refabricados realizan la misma función y son de la misma calidad que los productos fabricados por primera vez. Además utilizando componentes procedentes del fin de vida de un producto anterior, se aprovecha parte del valor contenido en dichos productos, tales como los materiales utilizados, la energía invertida en las distintas operaciones de montaje y fabricación, el tiempo de máquina, el tiempo de operario, además de generar menos desperdicios que acaban en el vertedero o para su valorización energética. Si se trata de un desperdicio con alto contenido energético, incluso se puede integrar el proceso de valorización energética en la propia planta de fabricación.

Por otra parte hay que tener en cuenta, que para realizar la refabricación se necesitan sistemas adicionales, como por ejemplo un empaquetamiento y transporte adicional para la recogida del producto al finalizar su uso, que se conoce como logística inversa. Además también se necesitan recursos, como energía, agua y materiales para estos productos.

Hay sectores como el electrónico, o el de la informática, en donde los avances tecnológicos se realizan a una velocidad tan alta que el ciclo de vida del producto se reduce tanto que se complica la refabricación de sus componentes, debido a su obsolescencia en el mercado. Esta rápida obsolescencia se aleja de los principios de durabilidad, reutilización y productividad de los recursos. Para dichos productos, la mejor alternativa para que siga siendo viable la refabricación puede ser la de actualizar los componentes, pero únicamente sería viable mediante estandarización y creación de elementos modulares intercambiables. Por ello la refabricación está limitada para algunos tipos de producto.

La refabricación contribuye a un sistema de producto más ecoeficiente. Aun así, la refabricación está limitada por la adecuación de los productos para la refabricación. Esta adecuación depende del diseño del producto, la frecuencia con la que se completa el ciclo de vida por ejemplo debido a las modas, las condiciones con las que llega el producto devuelto, las distancias de transporte y costes, el valor de los productos refabricados y la demanda de dichos productos.

5.3.1. Factores a tener en cuenta en la refabricación

Es necesario tener en cuenta factores tanto económicos como ambientales, que dependen mucho del tipo de producto a refabricar.

Los mayores problemas consisten en la imposibilidad de obtener productos usados aptos para el refabricado, como por ejemplo debido al envejecimiento de los componentes, y también la obsolescencia debido a las innovaciones técnicas, así como por los cambios en los patrones de consumo y la influencia de las modas.

Características respecto a la composición del producto:

- La facilidad en el desensamblaje, sobre todo en subconjuntos para refabricar.
- Homogeneidad de materiales, utilizando menos plásticos o aleaciones distintas.
- Facilidad de transporte: Algunos productos necesitan un tipo de transporte especial una vez finaliza su vida útil.
- Presencia de materiales peligrosos que necesiten ser eliminados para su reciclado.

Factores en relación al patrón de consumo:

- Lugar de consumo: Cuanto más dispersos sean los lugares en los que se consume el producto, más compleja se hace su recolección.
- Duración e intensidad de uso: Los productos como botellas, pallets y contenedores, tienen un uso intenso pero corto en el tiempo, y además no se deterioran con un solo uso, por lo que pueden ser reutilizados, siempre con unas comprobaciones previas.

Características de deterioro:

- Deterioro intrínseco: Es la rapidez con la que envejece el producto durante su uso.
- Reparabilidad: Facilidad con la que se puede reparar, o restaurar. Es un factor clave para los productos que tengan servicio de garantía postventa. Las reparaciones se suelen hacer manualmente con trabajadores cualificados.
- Homogeneidad del deterioro: En un producto suelen existir piezas que se desgastan mucho más rápidamente que otras.

- Deterioro económico: Los productos con un alto grado de tecnología como ordenadores personales, pierden casi todo su valor porque quedan obsoletos. Para estos productos se pueden aprovechar sus materias primas por ser recursos escasos, o bien algunos componentes en mercados de segunda mano. Otros productos como los neumáticos, apenas pierden su valor cuando finaliza su uso.

5.4. Ejemplo de Remanufacturing: Neumáticos

Los neumáticos son uno de los productos que generan mayor cantidad de residuos sólidos. Cada turismo genera entre 30 a 40 kg de caucho y acero con cada cambio de neumáticos, y en promedio los vehículos suelen tener una vida de 12 años usando 3 juegos de neumáticos.

Cuando se desechan los neumáticos usados, casi todos mantienen sus propiedades de rigidez, impermeabilidad, forma y esfuerzo lateral. La mayoría de ellos únicamente han perdido la propiedad del agarre superficial, por lo que se realiza el recauchutado en estos casos. En los casos en los que el recauchutado no es viable, la mejor opción es el reciclado del caucho y acero, como combustible de ciertas industrias tales como plantas termoeléctricas o cemento, o bien como componente del asfalto en carreteras.

Un neumático europeo promedio pesa entre 6 a 10 kg, que básicamente se compone de caucho, cordones y alambres de acero y fibras, como se muestra en la tabla siguiente, en base a un neumático cuyo peso total sea de 8 kg:

	kg/neumático	€/kg	€/neumático
Componentes de caucho	6,3	1,3	8,19
Cordones de acero	1	2,9	2,9
Alambres del talón	0,3	1,6	0,48
Fibras de rayón	0,4	5,6	2,24
Disolventes			0,4
Energía			0,8
		TOTAL	15,01

Tabla 16: Coste de fabricación de un neumático promedio. Fuente: (Ferrer, 1996)

Si no se tiene en cuenta que en la propia planta de fabricación se rechazan un 3% de los neumáticos fabricados por no cumplir con las especificaciones, el coste de fabricación es de 15,01€/neumático. Si el precio de venta es de 32€, el valor añadido por kg de material es de $(32-15,01)/8=2,12€/kg$

La banda de rodadura contiene el 40% de todo el material de caucho, por lo que el valor del material realmente consumido es: Valor Consumido=6,3 kg/neumático *40% * 1,3 €/kg = 3,28 €/neumático

Comparando el valor consumido con el coste de fabricación, solamente se pierde en torno al 20% del valor del producto mediante su uso.

5.5. Análisis del funcionamiento del Car-Sharing

Estas empresas ofrecen una propiedad compartida de los vehículos y normalmente son organizaciones sin ánimo de lucro.

Aunque hay muchas variantes en el funcionamiento, normalmente los coches se reservan por teléfono o por internet, acordando un horario de recogida (en su versión menos informatizada), y duración estimada del tiempo de uso, devolviendo el vehículo una vez que el cliente finaliza su uso. Las facturas se cargan mensualmente a la cuenta del usuario, donde se paga por las horas de uso y kilómetros recorridos, según el tipo de coche y la hora del día. Además hay una cuota mensual de inscripción.

El desarrollo de este tipo de empresas tiene dos vertientes. Por una parte se promovió para aquellos que tienen una demanda de coche esporádica pero no quieren asumir el coste fijo de adquisición en propiedad del coche. Por otra parte aquellos usuarios que no quieren estar condicionados en su día a día en su elección multimodal de transporte, ya que una vez comprado el coche se asumen costes sumergidos como la depreciación, el pago de seguros, impuestos... Además, como el coste variable (gasto de combustible) suele ser menor que el pago de un billete en transporte público, se motiva el uso del coche.

El segmento de mercado del car sharing se sitúa entre los taxis y los coches de alquiler. Los taxis son preferibles para trayectos únicos. Por otra parte los coches de alquiler son rentables solamente para viajes de larga distancia cuya duración es de más de un día. En medio, se sitúa una demanda de transporte de viajes cortos, de ida y vuelta en entorno urbano como por ejemplo ir de compras o al trabajo, o bien para recorridos más largos de fin de semana.

5.5.1. Car Sharing y patrón de consumo

Se ha estudiado en qué medida afecta al comportamiento de consumo el cambio de coche en propiedad a un servicio de uso compartido (Prettenthaler & Steininger, 1998), observando una reducción importante de los kilómetros recorridos. Hay que distinguir dos tipos de público:

- Aquellos que tenían previamente un coche propio y tenían antes un mejor acceso a conducirlo, este grupo ha reducido el kilometraje.
- Aquellos que no disponían de coche, ya que sólo se pueden permitir un coche compartido, su acceso a un vehículo aumenta por lo que aumenta el consumo, aunque solo un 50% aproximadamente de la reducción de km que el otro grupo.

El resultado neto es una reducción que oscila entre el 42% y el 50% respecto al uso de vehículo privado.

5.5.2. Características de los usuarios de Car Sharing

En este apartado se definen las características de los usuarios actuales de car sharing y sus hábitos de consumo.

- EDAD:

Se comprueba que el 85% de los usuarios pertenecen al rango entre 25 y 44 años, por lo que es un público relativamente joven.

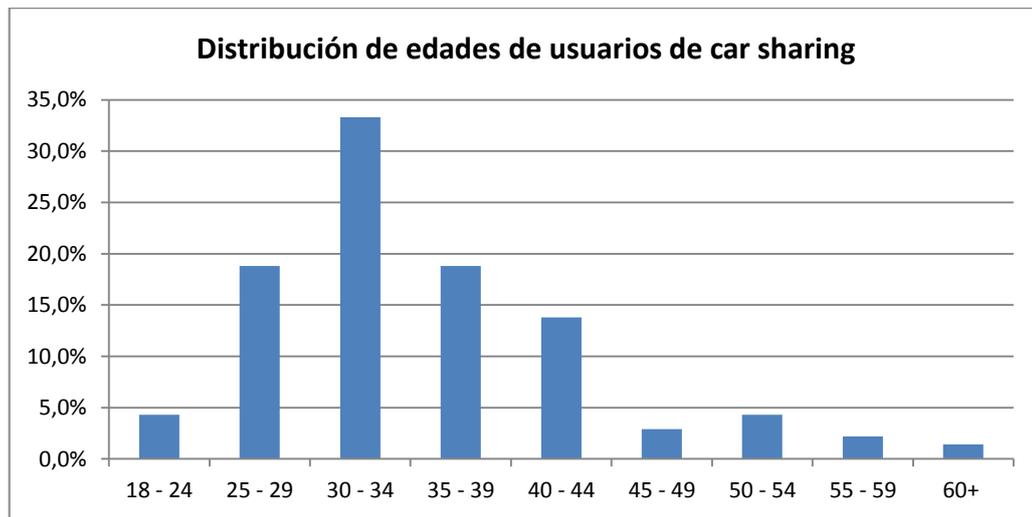


Figura 51: Distribución de edades usuarios de Car sharing en Austria. Fuente: (Prettenthaler & Steininger, 1998)

El estudio también demuestra que aquellos hogares que usan el coche compartido tienen, de media, el doble de hijos pequeños que un hogar típico, debido a que se generan mayores costes en dichos hogares.

- EDUCACIÓN, EMPLEO Y RENTA:

Se observa que los usuarios de car sharing tienen una educación superior a la media. El 45% tiene un grado universitario, mientras que el 27% posee el equivalente a pruebas de selectividad. Además los usuarios de car sharing tienen una tasa de desempleo inferior a la media.

No hay diferencias significativas de renta. Los usuarios de car sharing tienen unos ingresos netos por familia de 2.073,47€ mientras que la media austríaca se sitúa en 1.758,73€ a precios corrientes del año 1999.

- MOTIVOS POR LOS QUE SE ES USUARIO:

En la encuesta realizada, las razones más importantes fueron: mitigar el tráfico, aspectos medioambientales y una buena relación calidad precio. Las razones que ocupaban un lugar menos importante fueron la utilización de vehículos más modernos y menos contaminantes.

Razón	Importancia
Contribuir a que no se produzcan retenciones	4,25
Usar menos el coche por razones medioambientales	4,18
Acceder a vehículo con buena relación calidad-precio	3,73
Contribuir a que se tengan que fabricar menos coches	3,56
Despreocuparse del mantenimiento y cuidado	3,21
Disponer vehículos más modernos y menos contaminantes	2,35

Figura 52: Motivos por los que se han hecho usuarios de car sharing. Fuente: (Prettenthaler & Steininger, 1998)

- PUNTO DE EQUILIBRIO:

Aunque pueda parecer que los vehículos de car sharing ofrecen un servicio similar al del transporte público, lo cierto es que ofrecen una gama mucho más amplia de servicios ya que, en algunos sistemas de car sharing, se puede reservar tanto un utilitario como una caravana.

La razón más importante por la que deciden entre hacerse usuarios o no, son los kilómetros recorridos. Por eso el coste por kilómetro determina la decisión de comprar un vehículo. El punto de equilibrio para elegir la compra de un vehículo privado o de car sharing en el estudio realizado en Austria se sitúa en torno a 15.000 kilómetros al año.

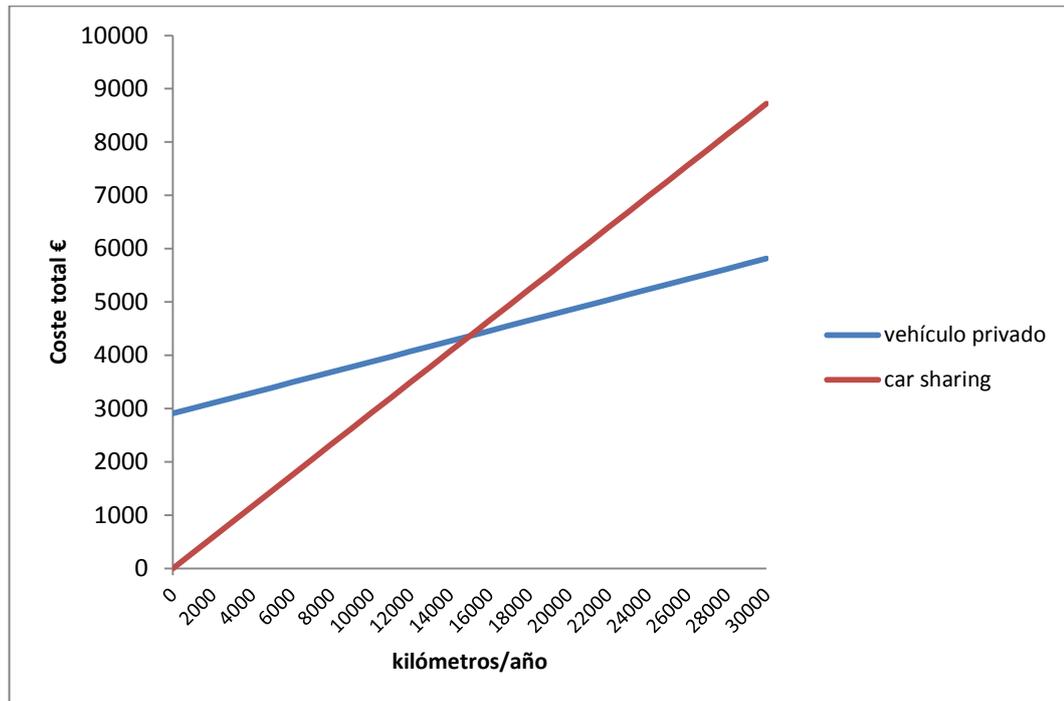


Figura 53: Punto de equilibrio del coste/km. Fuente: (Prettenthaler & Steininger, 1998)

En la figura 53 el autor no considera que los vehículos de car sharing tengan un coste inicial, a diferencia del vehículo privado. El coste inicial que podría considerarse es la cuota de membresía, aunque el resultado obtenido apenas variaría.

La media de kilómetros realizados al año en Austria es de 13770 km, el 69% de los hogares conducen menos de 15000 km al año. O lo que es lo mismo, el 69% de los hogares tendría menores gastos económicos si utilizaran sistemas de car sharing.

5.5.3. Uso del vehículo privado

Para establecer los patrones de uso de los usuarios y el gasto estimado en el uso del vehículo privado se recurre a la encuesta realizada en el informe de movilidad de la empresa Bluemove (Bluemove). Los datos serán utilizados posteriormente para el estudio de costes de vehículo compartido.

Dicho informe se realizó mediante entrevistas personales a peatones madrileños durante Mayo y Junio de 2013, utilizando un total de 501 encuestas válidas.

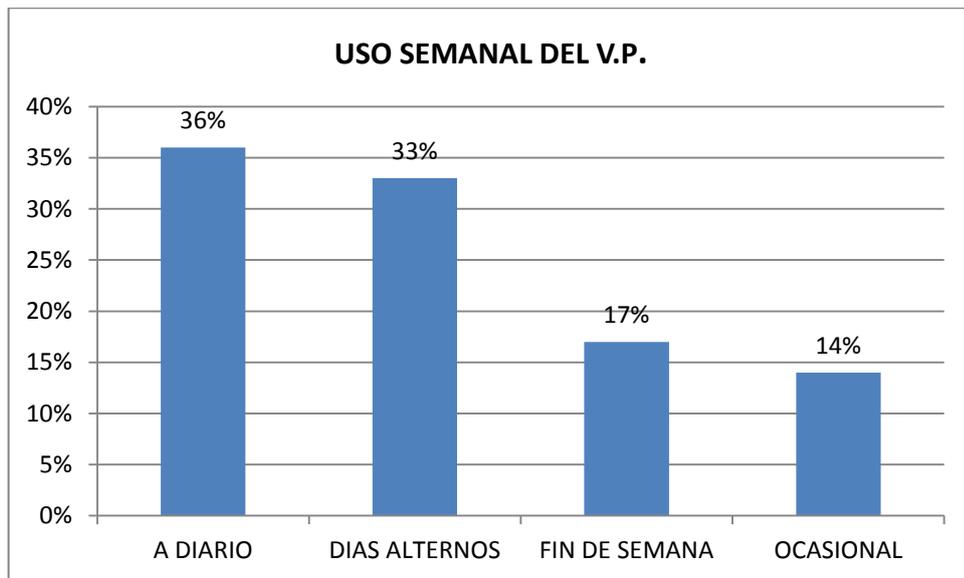


Figura 54: Uso Semanal del Vehículo privado. Fuente: (Bluemove)

Destaca que solo el 14% de los encuestados utiliza su vehículo con una frecuencia menor a una vez por semana. El 36% de ellos utiliza el vehículo 5 veces por semana, el 33% 3 veces por semana, y el 17% lo utiliza 2 veces por semana, según los datos.

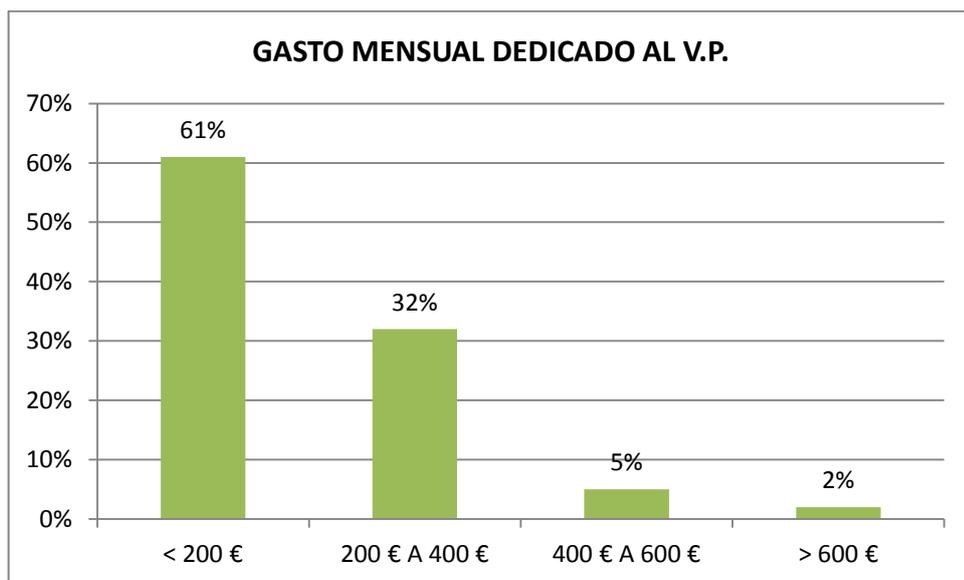


Figura 55: Gasto mensual dedicado al vehículo privado. Fuente: (Bluemove)

El gasto mensual estimado por los encuestados incluye el combustible, seguro, reparaciones, gasto financiero de compra de vehículo, etc. El coste mensual por el uso de car sharing debe ser menor para que sea una opción viable.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL VEHÍCULO PRIVADO EN ESPAÑA

En este apartado se estudia el uso del vehículo privado para obtener los datos sobre kilómetros medios recorridos anualmente, el porcentaje de turismos para uso personal y el parque de turismos. Los datos se han obtenido del Instituto Nacional de Estadística en su Encuesta de Hogares y Medio Ambiente 2008, así como de la Dirección General de Tráfico.

6.1. Kilómetros medios recorridos

Se estudian en este punto los kilómetros recorridos en vehículo privado por sexos, edad, tipo de combustible y antigüedad del vehículo con el objeto de conocer mejor la demanda de transporte y obtener en apartados posteriores una estimación de costes económicos.

6.1.1. Kilómetros recorridos por tipo de combustible y sexo

	Total vehículos	Vehículos de gasolina	Vehículos de gasoil
Varones	12783,7	10677,8	14617,5
Mujeres	12060	10070,4	14100,1
TOTAL	12562,9	10486,5	14466,2

Tabla 17: km medios recorridos al año por sexo y tipo de combustible. Fuente: (INE)

La tabla 17 es la más característica del apartado; arroja un valor agregado de 12.562,9 km/año. Pero como se aprecia en la figura 56, el valor de los kilómetros recorridos con vehículos de gasoil (14.466,2 km/año) es un 38% mayor que en vehículos de gasolina (10.486,5 km/año).

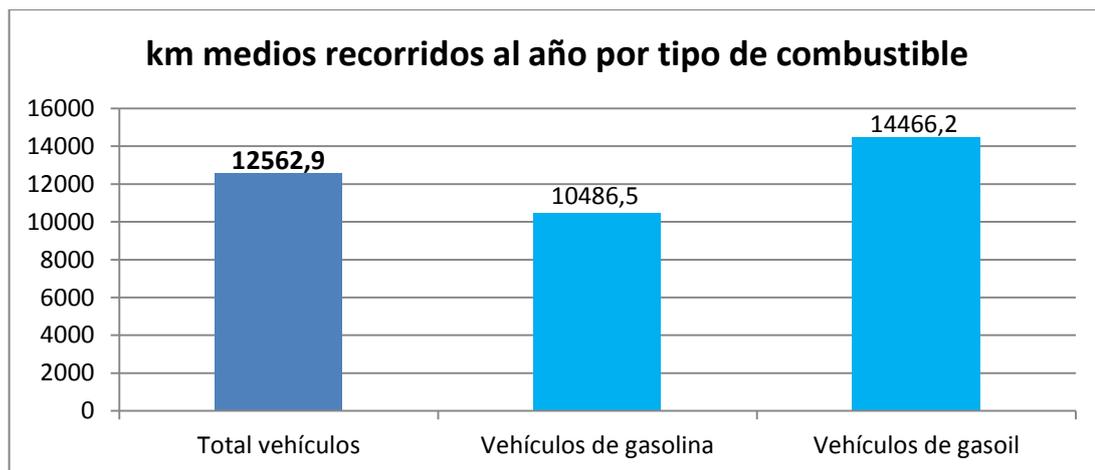


Figura 56: km medios recorridos al año por tipo de combustible. Fuente: (INE)

Además, en la figura 57 vemos que la distribución por sexos es bastante similar, si bien los varones recorren en torno a 500 km al año más que las mujeres, es decir, un 6% más.

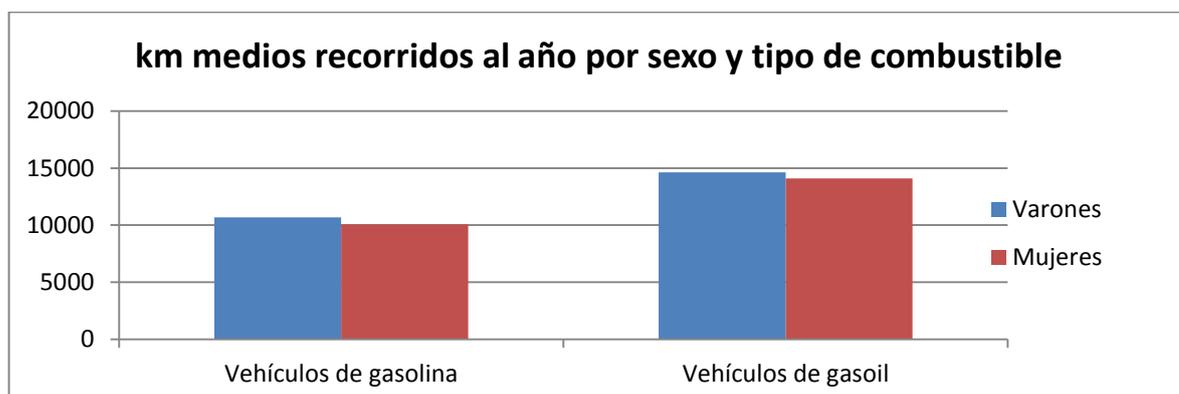


Figura 57: km medios recorridos al año por sexo y tipo de combustible. Fuente: (INE)

6.1.2. Kilómetros recorridos por edad y tipo de combustible

En este punto se estudia la relación que puede existir entre la edad del conductor y los kilómetros recorridos, diferenciando entre vehículos de gasolina o gasóleo.

	Vehículos de gasolina	Vehículos de gasoil	Total vehículos
Menos de 25 años	11117,8	13965,7	12871,6
De 25 a 44 años	11448,9	15818,1	13880,4
De 45 a 64 años	10411,5	13966,4	12205,4
65 y más años	8183,8	11170,2	9525,8
TOTAL	10486,5	14466,2	12562,9

Tabla 18: km medios recorridos al año por edad y tipo de combustible. Fuente: (INE)

Para cualquier edad se recorren más kilómetros con los vehículos de gasóleo, además la edad en la que se recorren más kilómetros es en el rango de 25 a 44 años, siendo un 46% mayor que en el rango de 65 en adelante.

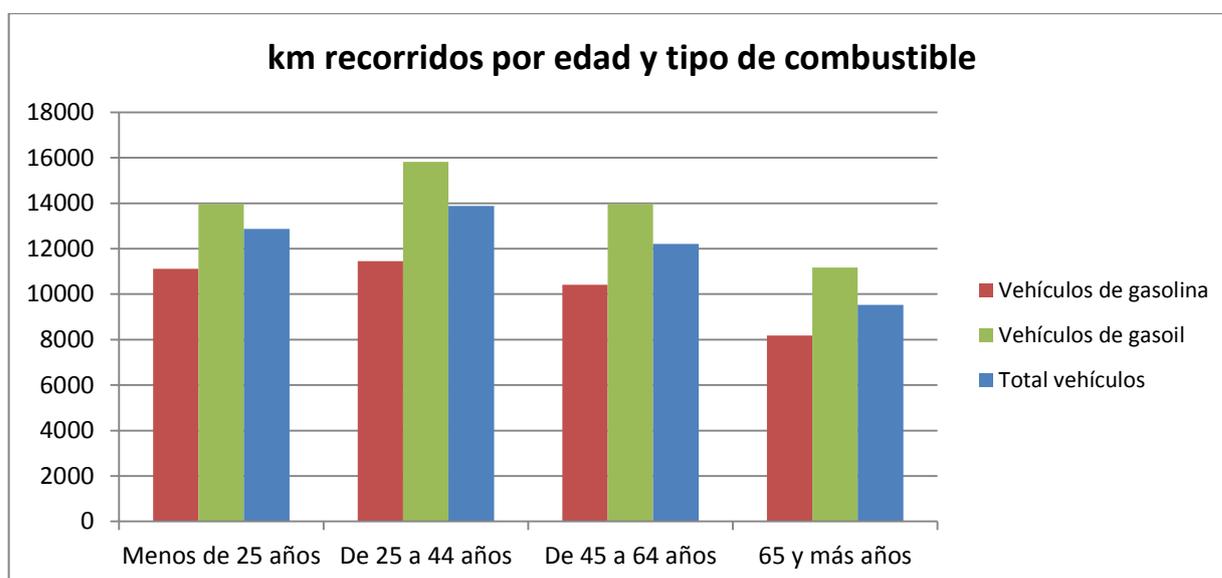


Figura 58: km medios recorridos al año por edad y tipo de combustible. Fuente: (INE)

6.1.3. Kilómetros recorridos por sexo y antigüedad del vehículo

Se aprecia en la tabla 19 que los kilómetros medios recorridos son ligeramente superiores en caso de los varones.

	Total vehículos	Vehículos de 0 a 4 años	Vehículos de 5 a 10 años	Vehículos de 11 a 20 años	Vehículos de 21 a 50 años	No sabe / No contesta
Varones	12783,7	14265	12991,2	9918,3	7855,3	7902,1
Mujeres	12060	13092,2	12318,2	9228,8	7991,7	6567,5
Ambos sexos	12562,9	13889,5	12784,1	9729,9	7891,8	7683,6

Tabla 19: km medios recorridos al año por sexo y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)

El intervalo “no sabe / no contesta” no se considera porque en realidad muestra los kilómetros recorridos por los encuestados que no supieron o no quisieron responder cuál es la antigüedad de su vehículo.

Se ha buscado la encuesta original que se realizó a los hogares y la antigüedad del vehículo se obtiene en la pregunta nº 70 apartado 5. Como se visualiza en la figura 59, la única respuesta posible es un valor numérico, o dejar la pregunta en blanco. La intención de la pregunta es la de responder cuál es la antigüedad aproximada de los vehículos que se poseen en el hogar, por ello a la hora de crear la tabla se han utilizado unos intervalos tan amplios.

Es probable que algunos de los encuestados no hayan querido contestar deliberadamente cuál es la antigüedad de su vehículo.

4. ¿Cuántos kilómetros han realizado en los últimos doce meses?	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ KM	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ KM	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ KM	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ KM	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ KM	_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ KM
5. ¿Cuál es su antigüedad?	_ _ años					
6. ¿Dónde lo aparcen en su domicilio?						
Garaje u otro aparcamiento de uso restringido _____	<input type="checkbox"/> 1					
Vía pública _____	<input type="checkbox"/> 6					

Figura 59: Encuesta de Hogares y Medio Ambiente. Detalle de la pregunta nº 70 apartado 5. Fuente: (INE)

Los kilómetros recorridos disminuyen conforme aumenta la antigüedad del vehículo, debido probablemente a que el consumo de combustible es bastante mayor que el de un vehículo más moderno. Además pueden existir otros factores como el aumento del riesgo de averías, un tipo de seguro de menor cobertura que el de un vehículo nuevo, o su menor seguridad frente a un accidente en vías interurbanas, condicionando su uso.

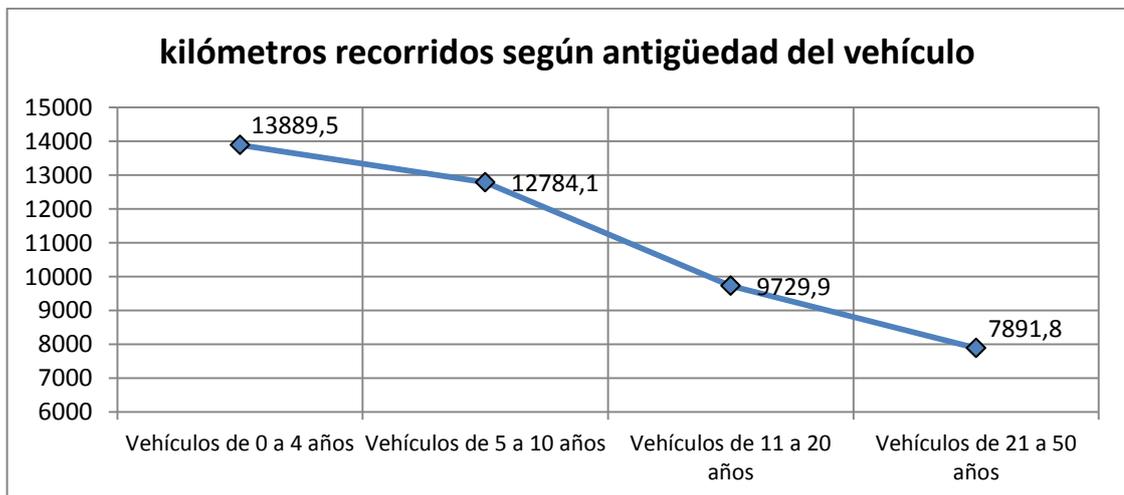


Figura 60: km medios recorridos al año según la antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)

6.2. Porcentaje de vehículos

Las tablas mostradas en este apartado no tienen unidades ya que se trata de porcentajes. Se estudia a continuación el % de vehículos según diversas variables para conocer con más profundidad el público objetivo que podría tener una empresa de car sharing, maximizando su mercado potencial.

6.2.1. Antigüedad del vehículo

En la tabla 20 se observa que los porcentajes en las categorías de hombres y mujeres ofrecen unos valores muy similares. También es interesante comprobar que los intervalos “hasta 4 años” y “de 5 a 10 años” suman el 81% del total de vehículos.

	Hasta 4 años	De 5 a 10 años	De 11 a 20 años	Más de 20 años	Antigüedad media
Varones	36,9	43	18,7	1,4	7,1
Mujeres	39,7	43	16	1,3	6,7
Ambos sexos	37,8	43	17,9	1,4	7

Tabla 20: Porcentaje de vehículos por sexo y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

La tabla también ofrece el dato de la antigüedad media del vehículo, que es de 7 años, aunque en realidad este valor es bastante impreciso debido al sesgo producido al utilizar intervalos muy amplios en la creación de la distribución de frecuencias relativas por intervalos. Se ha comprobado que utilizando las marcas de clase 2 años, 7,5 años, 15 años y 21 años respectivamente, se obtienen exactamente los valores ofrecidos en la tabla 18.

Por ello, al ser el último intervalo abierto (más de 20 años de antigüedad) se podría haber considerado el intervalo cerrado de 21 a 50 años como en la tabla 17 del apartado anterior, cuya marca de clase sería de 37,5 años. Esto desplazaría los resultados “a la derecha” es decir, la antigüedad media aumentaría.

Sin embargo, ya que sólo el 1,4% de los vehículos se encuentra en dicho intervalo, únicamente aumentaría la antigüedad media 0,2 años, por lo que no se tendrá en cuenta.

Dicho valor será utilizado posteriormente en los cálculos como el tiempo de amortización del vehículo privado.

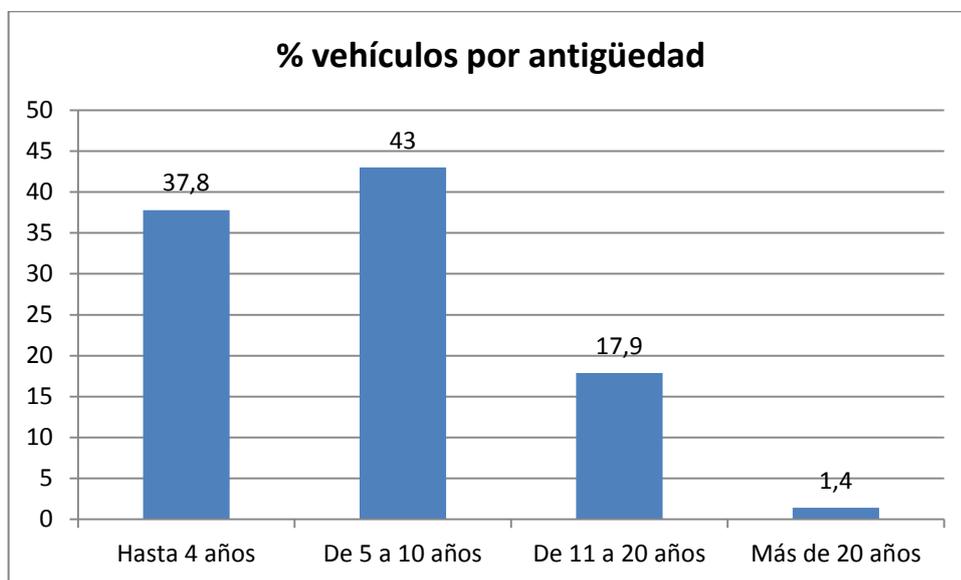


Figura 61: Porcentaje de vehículos por antigüedad. Fuente: (INE)

De la tabla 21 y su correspondiente figura 62 se desprende que existe una relación directa entre la edad del conductor y la antigüedad del vehículo. Esta relación se acentúa en caso de vehículos nuevos o en vehículos de más de 10 años. La antigüedad media de los vehículos es de 6 años en conductores menores de 25 años y de 8,8 años para conductores de 65 o más años.

	Hasta 4 años	De 5 a 10 años	De 11 a 20 años	Más de 20 años	Antigüedad media
Menos de 25 años	44,9	41,1	13,2	0,9	6
De 25 a 44 años	42,3	42,9	14	0,9	6,4
De 45 a 64 años	36,4	43,3	19	1,2	7,1
65 y más años	27,2	42,6	26,8	3,4	8,8
TOTAL	37,8	43	17,9	1,4	7

Tabla 21: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)

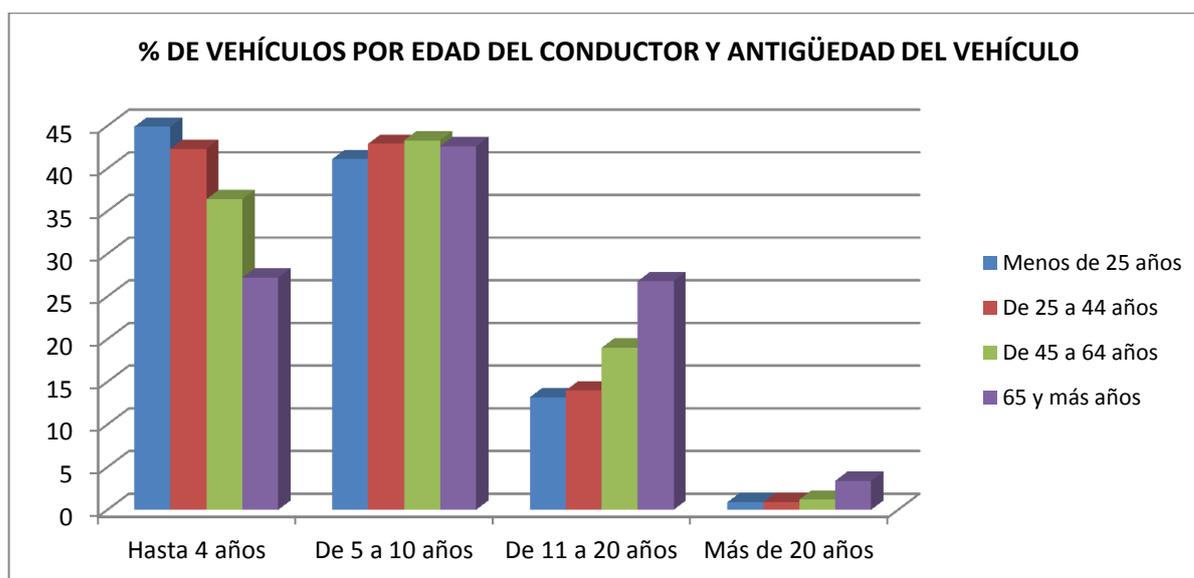


Figura 62: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)

6.2.2. Lugar de aparcamiento

Según la metodología utilizada para la realización de la encuesta: “se considera que un hogar dispone de garaje cuando disfruta en propiedad o alquiler de un local situado en el edificio de la vivienda o en sus proximidades, que es útil para uso diario o habitual, está aislado del exterior mediante techo y paredes, conectado con la red viaria a través de puerta, rampa o camino y que es apropiado para alojar en su interior uno o varios vehículos.”

	Aparcan en un garaje	Aparcan en la vía pública
Menos de 25 años	42,5	57,5
De 25 a 44 años	56,6	43,4
De 45 a 64 años	62,2	37,8
65 y más años	66,7	33,3
TOTAL	60,2	39,8

Tabla 22: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y lugar de aparcamiento. Fuente: (INE)

En promedio, el 60,2% de los encuestados aparca el vehículo en un garaje mientras que el resto lo hace en la vía pública. Además, dicho porcentaje aumenta con la edad, por lo que siempre es mayor el porcentaje de conductores que aparcan en un garaje excepto en el rango de edades de usuarios menores a 25 años.

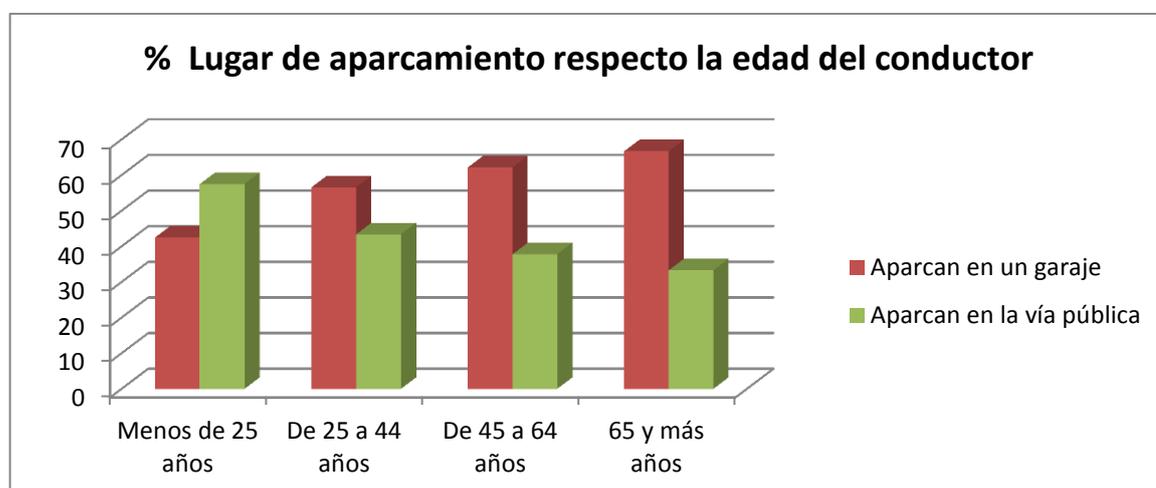


Figura 63: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y lugar de aparcamiento. Fuente: (INE)

6.3. Parque automovilístico

En este apartado se estudia el número de vehículos y la tipología de vehículo por sexo y edad de los conductores.

6.3.1. Porcentaje de vehículos de turismo, furgoneta y moto

La tabla 23 distingue entre vehículos de turismo, furgoneta o moto, y su distribución porcentual por edades.

	Turismo	Furgoneta	Moto	Total vehículos
Menos de 25 años	86,4	4,1	9,4	287.347
De 25 a 44 años	87,9	4,4	7,7	8.014.563
De 45 a 64 años	89	5,3	5,7	8.619.487
65 y más años	90,4	5,9	3,7	2.513.534
TOTAL	88,7	5	6,3	19.434.931

Tabla 23: Parque automovilístico respecto la edad del conductor. Fuente: (INE)

La última columna es en realidad una extrapolación de las encuestas realizadas a los hogares en 2008, y no el dato real del total de vehículos matriculados en España dicho año. Según la metodología para la realización de la Encuesta de Hogares y Medio Ambiente 2008: “Se investiga el número exacto de vehículos para uso personal que disponen los miembros de la vivienda. A estos efectos, se incluyen los poseídos por el hogar que no tengan matrícula industrial. Se excluyen los taxis y demás automóviles de transporte público no utilizados preferentemente como medio de transporte personal por los miembros de la vivienda. Sin embargo quedan incluidos en este apartado los vehículos todo terreno o las furgonetas, cuyo fin sea el transporte personal.”

Por esto, para obtener el número de vehículos recorrimos a los datos que ofrece la Dirección General de Tráfico. De todas maneras, se pueden obtener conclusiones importantes a partir de la tabla 23. En la figura 64 se observa que el porcentaje de turismos y furgonetas aumenta al aumentar la edad mientras que disminuye fuertemente el de motos.

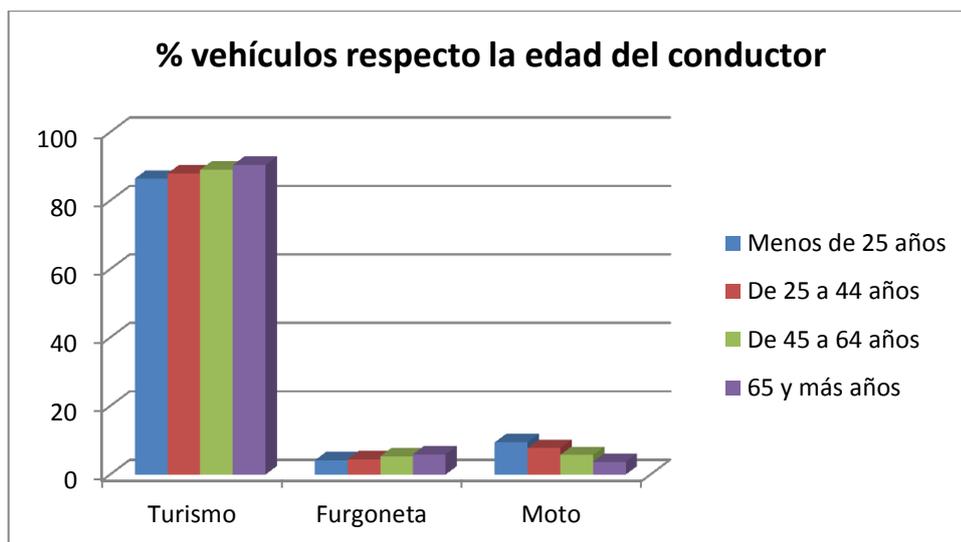


Figura 64: Porcentaje de vehículos respecto la edad del conductor. Fuente: (INE)

También se obtiene la figura 65, utilizando el dato extrapolado de vehículos matriculados, ya que los datos que ofrece la DGT no relaciona los vehículos matriculados con la edad del conductor. Se comprueba que solo 287.347 de todos los vehículos de turismo (el 1,5%) está matriculado a nombre de conductores menores de 25 años. Ocurre lo mismo con los conductores veteranos, donde el 13% del total corresponde a mayores de 65 años.

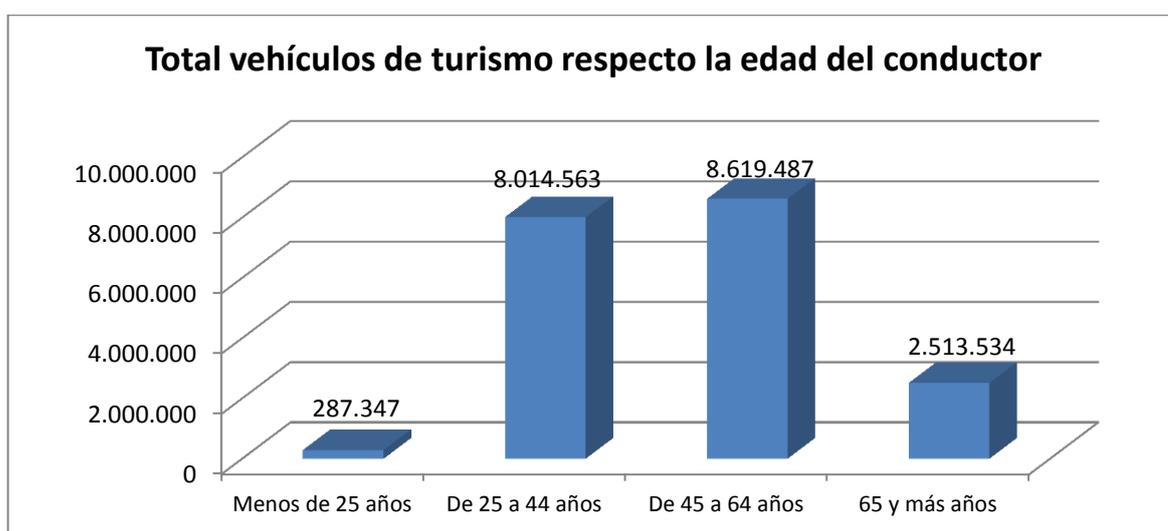


Figura 65: Vehículos de turismo matriculados respecto la edad del conductor. Fuente: (INE)

6.3.2. Parque de vehículos y número de habitantes

La tabla 24 es una serie temporal del parque de vehículos por tipos, de 2002 a 2014. Aunque la tabla original que ofrece la DGT es más detallada, en ésta se ha incluido en la columna "Otros" a los Autobuses, Camiones/Furgonetas, Remolques y Tractores.

	Turismos	Motos	Ciclomotores	Otros	Total
2002	18.732.632	1.517.208	2.044.242	724.017	27.109.974
2003	18.688.320	1.513.526	2.143.593	778.696	27.313.045
2004	19.541.918	1.612.082	2.242.046	860.602	28.674.687
2005	20.250.377	1.805.827	2.311.773	945.659	29.969.049
2006	21.052.559	2.058.022	2.343.124	1.033.223	31.397.185
2007	21.760.174	2.311.346	2.430.414	1.106.351	32.748.871
2008	22.145.364	2.500.819	2.410.685	1.130.822	33.379.909
2009	21.983.485	2.606.674	2.352.205	1.129.596	33.208.174
2010	22.147.455	2.707.482	2.290.207	1.127.118	33.376.242
2011	22.277.244	2.798.043	2.229.418	1.133.003	33.498.499
2012	22.247.528	2.852.297	2.169.668	1.118.656	33.372.871
2013	22.024.538	2.891.204	2.107.116	1.113.742	33.023.952
2014	22.029.512	2.972.165	2.061.044	1.134.886	33.037.091

Tabla 24: Parque de vehículos 2002 a 2014. Fuente: (DGT)

También se han consultado los datos demográficos sobre el número de habitantes en dicho periodo:

	Hombres	Mujeres	Total
2002	20.115.522	20.919.749	41.035.271
2003	20.542.468	21.285.368	41.827.836
2004	20.924.581	21.622.873	42.547.454
2005	21.335.283	21.961.052	43.296.335
2006	21.719.317	22.290.652	44.009.969
2007	22.118.970	22.665.689	44.784.659
2008	22.591.484	23.077.454	45.668.938
2009	22.880.534	23.358.736	46.239.271
2010	22.982.272	23.504.349	46.486.621
2011	23.049.476	23.617.698	46.667.175
2012	23.099.009	23.719.207	46.818.216
2013	23.017.758	23.710.132	46.727.890
2014	22.877.461	23.634.738	46.512.199

Tabla 25: Población residente por sexo, de 2002 a 2014. Fuente: (INE)

Dividiendo la serie del parque de vehículos por la serie de habitantes se obtiene la figura 50. En 2014 la relación es de 0,4737 turismos por habitante, es decir, casi 2 habitantes por cada vehículo de turismo.

Por otra parte, se aprecia en la figura 66 que mientras disminuye el número de ciclomotores por habitante aumenta el de motocicletas. Los factores explicativos más probables son los cambios en la legislación:

- La entrada en vigor mediados de 2006 de la norma que obliga a realizar la Inspección Técnica de Vehículos a los ciclomotores, que estaban exentos hasta entonces.
- El cambio en diciembre de 2009 de los carnets de conducir siendo en función de la potencia de la moto en lugar de su cilindrada. Esto limita la posibilidad de conducir motos de 2 tiempos de pequeña cilindrada y gran potencia específica, haciéndolas menos atractivas.
- El aumento de la edad mínima para la obtención de la licencia de conducción de ciclomotor, pasando de 14 a 15 años.

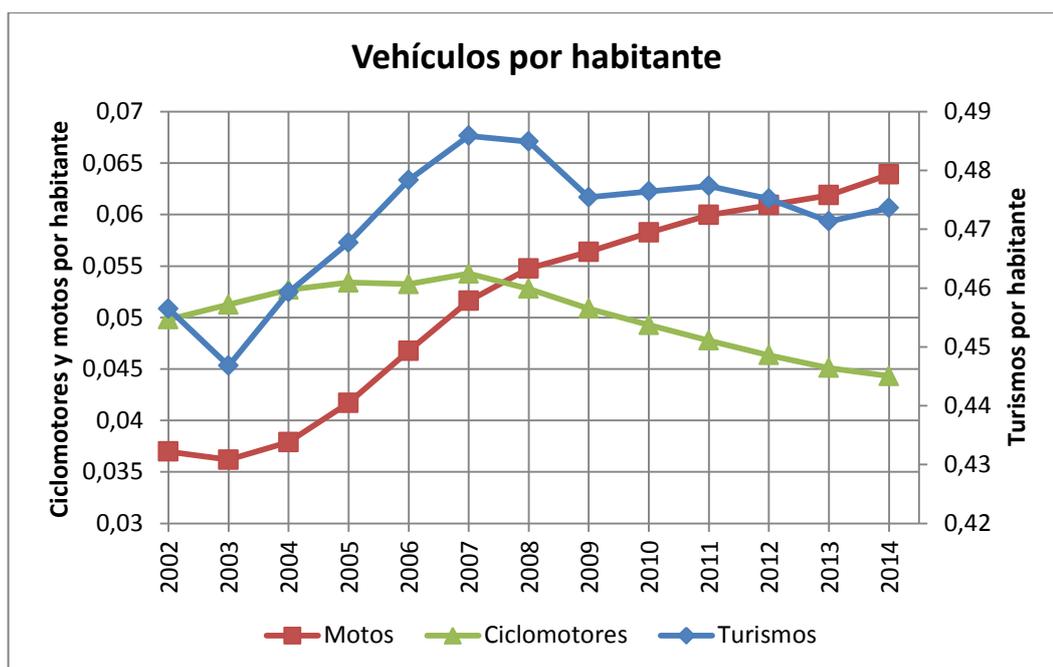


Figura 66: Vehículos por habitante 2002 a 2014: Ciclomotores, motos y turismos. Fuente: (INE)

6.3.3. Parque de vehículos de turismo por edad y sexo

En este apartado se estudia la relación entre el tipo de vehículo, la edad y el sexo del encuestado, aunque por desgracia estos datos no son tan precisos como si se hubiera asignado un segmento de vehículo según el modelo del vehículo del encuestado. Además la definición de coche “grande” “mediano” o “pequeño” es subjetiva.

	Coche pequeño	Coche mediano	Coche grande	Monovolumen	Todoterreno (4x4)
Varones	26,1%	43,0%	20,0%	5,7%	5,1%
Mujeres	31,7%	41,6%	17,5%	4,9%	4,3%
Ambos sexos	27,9%	42,6%	19,2%	5,4%	4,8%

Tabla 26: Parque de vehículos por sexo y tipo de turismo. Fuente: (INE)

El tipo de turismo más común es el coche mediano, con un 42,6% del total. En la figura 67 vemos que al estudiar el tipo de vehículo por sexos, mientras las mujeres tienen mayor preferencia por coches pequeños los varones tienen mayor preferencia por coches grandes, aunque esta diferencia no es muy significativa.

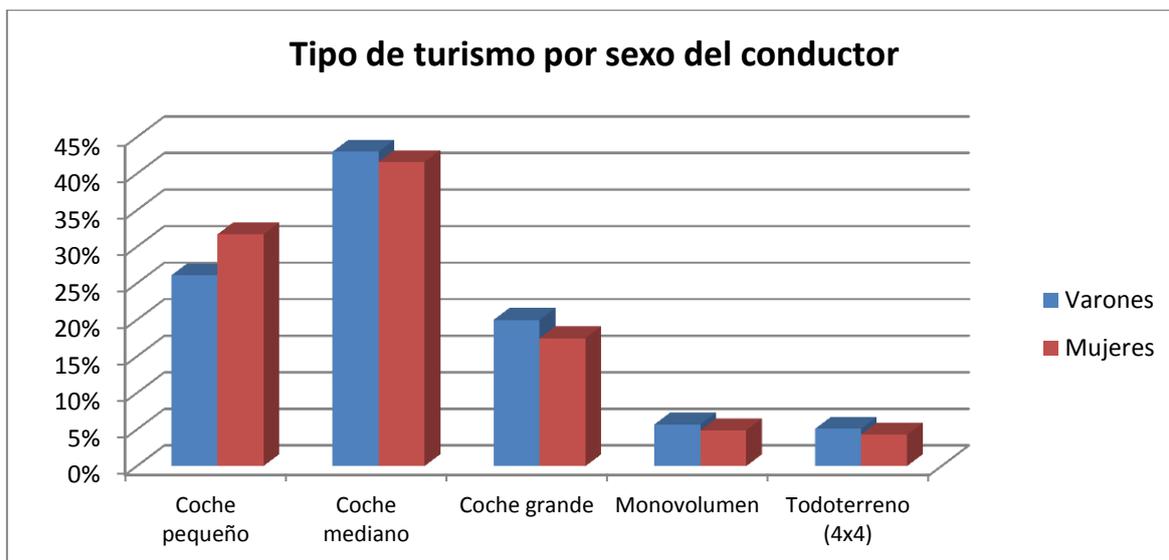


Figura 67: Parque de vehículos por sexo y tipo de turismo. Fuente: (INE)

Además la tabla 27 muestra el tipo de vehículo utilizado por intervalos de edad:

	Coche pequeño	Coche mediano	Coche grande	Monovolumen	Todoterreno (4x4)
Menos de 25 años	33,2%	42,8%	17,7%	3,3%	3,1%
De 25 a 44 años	26,5%	41,5%	19,1%	8,4%	4,5%
De 45 a 64 años	27,3%	43,2%	20,7%	3,7%	5,1%
65 y más años	33,8%	43,9%	14,7%	2,4%	5,3%
TOTAL	27,9%	42,6%	19,2%	5,4%	4,8%

Tabla 27: Parque de vehículos por edad y tipo de turismo. Fuente: (INE)

Mientras que el coche mediano tiene aproximadamente el mismo porcentaje para todos los rangos de edad, el coche pequeño es más común entre los más jóvenes (menores de 25 años) o los más mayores (65 y más años). Por el contrario, el coche grande es el preferido en los dos intervalos de mediana edad.

Además, se observa que para el Monovolumen, el mayor porcentaje se sitúa en el intervalo de edad entre 25 y 44 años, probablemente por ser el coche más útil para familias jóvenes con hijos en edad escolar.

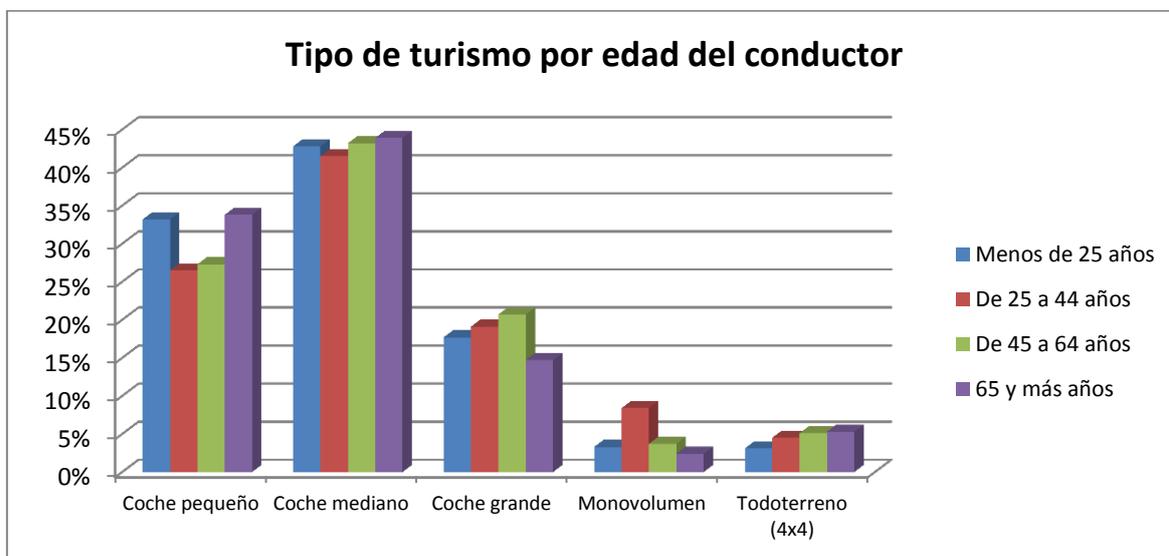


Figura 68: Parque de vehículos por edad y tipo de turismo. Fuente: (INE)

7. ANÁLISIS DE COSTES ECONÓMICOS DEL VEHÍCULO PRIVADO

Se consideran tres tipos de costes económicos debido a:

- Coste financiero
- Costes fijos
- Costes variables

Para la realización del estudio se han tomado aquellos vehículos de los que se tienen datos medioambientales para poder comparar los resultados de coste económico con los costes ambientales.

Estos vehículos son los siguientes:

MARCA	MODELO	COMBUSTIBLE	CILINDRADA	Nº CILINDROS
MERCEDES-BENZ	B 180 CDI	GASOIL	1796	4
	C 180 Berlina	GASOLINA	1595	4
	CLA 180 Coupé	GASOLINA	1595	4
VOLKSWAGEN	Golf 5p Conceptline 1.4	GASOLINA	1398	4
	Golf 5p Conceptline 1.9 TDI	GASOIL	1896	4
	Variant Advance 1.4 TSI DSG	GASOLINA	1395	4
	Golf 3p BlueMotion 1.6 TDI	GASOIL	1598	4

Tabla 28: Marca, modelo y tipo de motor de los vehículos estudiados. Fuente: (km77)

7.1. Coste financiero

El coste financiero no es un coste explícito o contractual sino que se trata del coste de oportunidad del capital de la compra del vehículo. Esto es, la mejor inversión de dicho capital que no se ha realizado.

Donde:

$$C_{fin} = i * \frac{P_c * 1 + i^n - P_r}{(1 + i)^n - 1}$$

i: tipo de interés en tanto por uno.

n: Número de años que se estima que va a utilizar el vehículo. Se estima en 7 años.

P_c: Precio de compra del vehículo.

P_r: Precio de reventa del vehículo en el mercado de segunda mano.

El precio de reventa del vehículo se puede obtener de las tablas publicadas por Hacienda, por las empresas de tasación de vehículos usados o en revistas especializadas, aunque se ha utilizado la tabla del BOE de 21 de diciembre de 2015 en el anexo IV que indica los porcentajes de valoración en función de los años de uso de vehículos de turismo:

Años de uso	Porcentajes
Hasta 1 año	100
Más de 1 año, hasta 2	84
Más de 2 años, hasta 3	67
Más de 3 años, hasta 4	56
Más de 4 años, hasta 5	47
Más de 5 años, hasta 6	39
Más de 6 años, hasta 7	34
Más de 7 años, hasta 8	28
Más de 8 años, hasta 9	24
Más de 9 años, hasta 10	19
Más de 10 años, hasta 11	17
Más de 11 años, hasta 12	13
Más de 12 años	10

Figura 69: Porcentajes de valoración de vehículos de segunda mano en función de los años de uso. Fuente: (BOE)

El tipo de interés que se le añade se debe, en caso de comprar el automóvil con dinero ahorrado, al coste de oportunidad de los beneficios generados si se hubiera invertido dicho dinero en la alternativa más rentable. Se considera el interés de la Deuda Pública a 7 años (4,5% anual).

MODELO	interés	Precio compra	nº años	precio reventa	COSTE FINANCIERO ANUAL
	i	Pc	n	Pr	Cfin
Mercedes-Benz B 180 CDI	4,5%	29.525 €	7	8.267 €	3.979,53 €
Mercedes-Benz C 180 Berlina	4,5%	35.300 €	7	9.884 €	4.757,91 €
Mercedes-Benz CLA 180 Coupé	4,5%	31.975 €	7	8.953 €	4.309,75 €
VW Golf 5p Concept line 1.4	4,5%	14.376 €	7	4.025,28 €	1.937,67 €
VW Golf 5p Concept line 1.9 TDI	4,5%	19.431 €	7	5.440,68 €	2.619,01 €
VW Golf Variant Advance 1.4 TSI	4,5%	25.710 €	7	7.198,8 €	3.465,32 €
VW Golf 3p BlueMotion 1.6 TDI	4,5%	23.050 €	7	6.454 €	3.106,80 €

Tabla 29: Coste financiero anual para los modelos estudiados. Elaboración propia a partir de (km 77)

7.2. Costes fijos anuales

Los costes fijos son aquellos en los que se incurre independiente del uso que se le dé al vehículo. Se han considerado los más relevantes:

- Costes del seguro
- Coste de la plaza de garaje
- Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica (IVTM)
- Impuesto de Matriculación
- Inspección Técnica de Vehículos (ITV)
- Coste del auto lavado

La fórmula de los costes fijos queda de la siguiente manera:

$$Cf = \frac{2 * Str + So * (n - 2)}{n} + Pg + \frac{Im}{n} + IVTM + \frac{n^{\circ}ITV * ITV}{n} + Cl$$

Donde:

Str: Precio anual del seguro a todo riesgo con asistencia en carretera

So: Precio anual del seguro a terceros con asistencia en carretera

n: Número de años que se va a utilizar el vehículo

Pg: Precio anual del alquiler de una plaza de garaje

Im: Coste del impuesto de matriculación

IVTM: Coste anual del Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica

nITV: Número de inspecciones que pasará el coche durante su uso.

ITV: Coste promedio de la Inspección Técnica de Vehículos

Cl: Coste promedio anual del autolavado en función del tipo de vehículo

En la fórmula se considera que al ser un vehículo nuevo, los dos primeros años el seguro contratado es a todo riesgo mientras que los años restantes de vida del vehículo, el seguro contratado únicamente cubre a terceros con asistencia en carretera, al ser el tipo de seguro más habitual.

7.2.1. Coste del seguro

Se ha consultado el portal www.kelisto.es para establecer un valor medio del coste del seguro tanto a terceros como a todo riesgo. Dicha página elabora periódicamente un índice de precios medios de seguro de automóvil, sin valorar la cobertura o el servicio que ofrece cada póliza.

Este índice se realiza a partir de los precios del seguro de coche obtenidos de las búsquedas realizadas por los consumidores en la página web durante los meses de estudio, ponderando el resultado por compañía y modalidad, éstas son: terceros, terceros ampliado o a todo riesgo. Para los cálculos posteriores se consideran los dos primeros años de uso del coche con contrato a todo riesgo y los 5 restantes con seguro a terceros, por lo que no se estudia el coste del seguro a terceros ampliado.

SEGURO A TERCEROS BÁSICO				
	ene-14	jun-14	ene-16	mar-16
ALLIANZ	636,46 €	420,54 €	498,1	498,4
AXA	633,21 €	516,32 €	331,3	343,9
Balumba	275,98 €	259,29 €	344,9	353,6
Direct Seguros	377,62 €	343,69 €	296,2	304,2
Fenix Directo	275,37 €	265,42 €	328,5	351,6
FIATC	417,15 €	335,32 €	-	-
GENERALI	359,48 €	305,34 €	-	-
Genesis	296,60 €	340,04 €	-	-
Internauto	333,57 €	318,21 €	-	-
MUSSAP	335,75 €	336,63 €	-	-
MUTUA	344,73 €	360,62 €	298,1	315,9
PELAYO	373,67 €	409,93 €	358,8	368,9
Pelayonex	650,83 €	668,62 €	-	-
PLUSULTRA	602,16 €	432,00 €	-	-
Qualitas Auto	327,96 €	320,28 €	356,5	356,9
RACC	-	-	293,9	290,6
REALE	508,37 €	416,89 €	440,3	450,7
Regal	280,22 €	304,45 €	-	-
Segurísima	300,37 €	293,98 €	-	-
Verti	313,97 €	305,24 €	-	-
PROMEDIO	402,29 €	365,94 €	354,66 €	363,47 €
PROMEDIO 2014-2016:				371,59 €

Tabla 30: Coste del seguro a terceros básico de las principales aseguradoras. Elaboración propia a partir de (kelisto.es)

Mientras en el periodo de enero a junio de 2014 los precios disminuyen, en el periodo de enero a marzo de 2016 aumentan. Debido a que los precios son fluctuantes, se ha calculado el promedio del periodo.

SEGURO A TODO RIESGO				
	ene-14	jun-14	ene-16	mar-16
ALLIANZ	1.801,61 €	1.236,12 €	1.465,30	1.461,90
AXA	2.030,74 €	1.960,10 €	1.132,20	1.142
Balumba	1.123,93 €	1.226,64 €	1.952,30	2.009
Direct Seguros	902,18 €	1.090,18 €	1070,2	1.067,20
Fenix Directo	969,51 €	718,93 €	696,1	698,2
FIATC	1.430,68 €	1.277,58 €	-	-
Génesis	936,38 €	870,84 €	1.519,60	1.165,80
MUTUA	828,68 €	835,26 €	766,6	799,5
Next	-	-	581,8	597,3
Nuez	553,41 €	444,19 €	557	560,5
PELAYO	1.665,49 €	1.819,66 €	1.155,10	1.103,80
PLUSULTRA	2.714,01 €	1.773,89 €	-	-
Qualitas Auto	1.137,00 €	1.287,17 €	1.962,90	1.964,90
REALE	1.515,42 €	1.380,08 €	1.367	1.376,60
Regal	826,57 €	719,65 €	1.465,80	1.138,20
PROMEDIO	1.316,83 €	1.188,59 €	1.207,07 €	1.160,38 €
PROMEDIO 2014-2016:				1.218,22 €

Tabla 31: Coste promedio del seguro a todo riesgo de las principales aseguradoras. Elaboración propia a partir de (kelisto.es)

El inconveniente de estas tablas es que no distingue entre aseguradoras tradicionales o de venta directa, por eso en las tablas 30 y 31 hay tanta variabilidad de precios. En los últimos años han proliferado las compañías aseguradoras de venta directa, es decir son empresas que aprovechan las nuevas tecnologías para tener un trato directo con el cliente, todas las gestiones se realizan mediante teléfono o internet. Por otra parte las aseguradoras tradicionales tienen una red de oficinas y agentes de seguros repartidos geográficamente donde se puede acudir físicamente para realizar las diversas gestiones, sin depender de internet. Esto encarece el precio del seguro por los mayores costes estructurales de la compañía.

En la figura 70 se observa a modo de ejemplo la diferencia en el precio del seguro a terceros promediando el precio de las principales compañías, en función del tipo de empresa aseguradora. Según (expansion.com) la diferencia de ahorro entre ambas modalidades se sitúa en los 138 €.

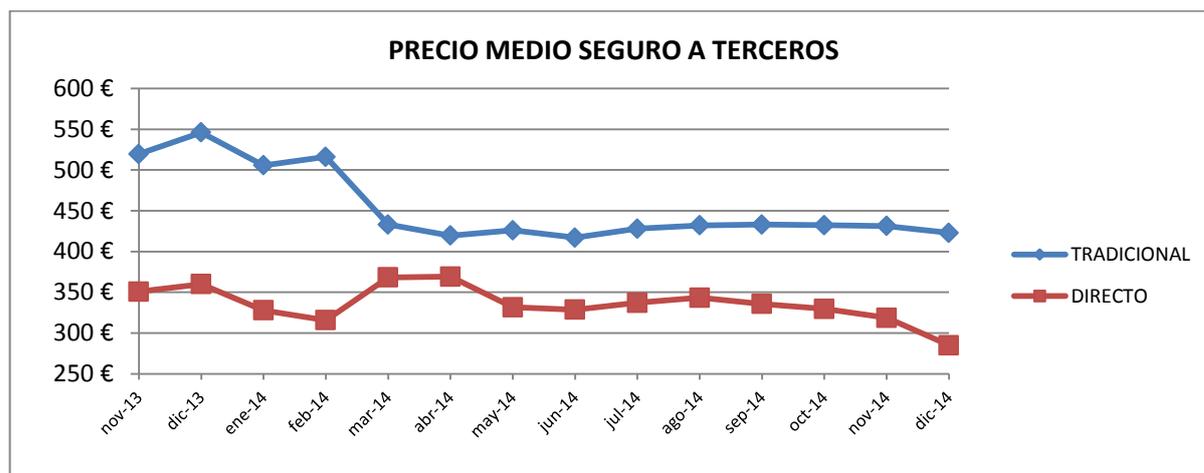


Figura 70: Precio promedio a terceros. Aseguradoras de venta directa o tradicional. Elaboración a partir de (expansion.com)

Como conclusión, a efectos de cálculo se utilizarán los valores promediados: 371,59 €/año para el seguro a terceros básico y 1.218,22 €/año para el seguro a todo riesgo.

7.2.2. Coste de la plaza de garaje

Se ha considerado el coste de compra de plaza de garaje promedio de las principales ciudades españolas. Posteriormente se ha obtenido el precio medio en España, aunque como se observa es un precio muy dispar en función de la ciudad.

PRECIO MEDIO DE COMPRA DE PLAZA DE GARAJE							
CÁDIZ	46.046,53 €	VITORIA	24.474,33 €	BURGOS	18.775,15 €	LOGROÑO	15.500,19 €
SAN SEBASTIÁN	43.767,84 €	MURCIA	23.117,52 €	MÁLAGA	18.521,22 €	CASTELLÓN	14.672,93 €
BILBAO	39.534,99 €	VALENCIA	22.410,63 €	GIRONA	18.270,09 €	LLEIDA	14.396,65 €
MADRID	36.879,28 €	LAS PALMAS	22.260,29 €	ZARAGOZA	18.069,96 €	CIUDAD REAL	14.365,34 €
SANTANDER	35.960,91 €	VALLADOLID	21.273,36 €	MALLORCA	17.750,87 €	TOLEDO	14.306,58 €
GRANADA	30.004,80 €	PALENCIA	20.680,05 €	TARRAGONA	17.506,97 €	PAMPLONA	13.950,09 €
SEVILLA	29.711,42 €	ALBACETE	19.586,10 €	TENERIFE	16.870,06 €	GUADALAJARA	11.756,25 €
CÓRDOBA	28.511,32 €	OVIEDO	19.275,16 €	ALMERÍA	15.963,46 €	ÁVILA	8.644,85 €
A CORUÑA	26.976,05 €	ZAMORA	19.163,62 €	BADAJOS	15.854,16 €		
SALAMANCA	26.516,99 €	ALICANTE	19.124,41 €	JAÉN	15.782,59 €		
BARCELONA	24.697,34 €	HUELVA	19.022,36 €	LEÓN	15.506,34 €		
MEDIA ESPAÑOLA:							27.617,76 €

Tabla 32: Precio medio de compra de plaza de garaje. Fuente: (Consumer)

Considerando un periodo de retorno de 50 años la inversión de la plaza de garaje, y teniendo en cuenta que la rentabilidad anual de este tipo de inmuebles es como mínimo del 2,1 % (Consumer), utilizando la fórmula:

$$C_f = C_i * \left(1 + \frac{i}{100 * n} \right)^{n*t}$$

Donde:

Ci: Capital inicial n: número de pagos anuales
i: tasa de interés t: número de años

En promedio, el coste mensual sería de 131,41 €/mes aunque dependería enormemente de la ciudad en la que nos encontremos como se ve en la tabla 32.

7.2.3. Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica

El Impuesto sobre vehículos de tracción mecánica (IVTM) es un impuesto directo que grava la propiedad de vehículos a motor aptos para circular por la vía pública, de manera independiente de su clase y naturaleza. Este impuesto se tiene que establecer de manera obligatoria por los ayuntamientos, órganos encargados de la gestión, inspección y recaudación del impuesto. Se paga anualmente.

La cesión a los ayuntamientos se realiza mediante la Ley de Haciendas Locales y es uno de los ingresos tributarios con relativo peso específico dentro de los presupuestos municipales, además del impuesto de bienes inmuebles y los impuestos relativos a la construcción.

Según el Artículo 95 del Real Decreto 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley reguladora de las Haciendas Locales, el cuadro de tarifas del Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica para turismos es el siguiente:

TURISMOS	Cuota €
De menos de 8 caballos fiscales	12,62
De 8 hasta 11,99 caballos fiscales	34,08
De 12 hasta 15,99 caballos fiscales	71,94
De 16 hasta 19,99 caballos fiscales	89,61
De 20 caballos fiscales en adelante	112,00

Tabla 33: Cuota del Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica, según su Potencia Fiscal. Fuente: (R.D. 2/2004)

Los caballos fiscales son una medida que indica la carga impositiva a aplicar, y para su cálculo se utilizan las fórmulas del el Anexo V del Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos. Antaño las fórmulas del caballo fiscal para los automóviles estaban relacionadas con la potencia del motor. La cuota tributaria depende de la clase de vehículo de que se trate, mientras que en automóviles y tractores se utiliza la potencia fiscal para modular el gravamen, en autobuses se utiliza el número de plazas, en camiones y remolques la carga útil y en motocicletas la cilindrada.

Potencia fiscal:

a) Motores de dos y cuatro tiempos

La fórmula para calcular la potencia fiscal únicamente depende de la cilindrada total y el número de cilindros, por lo que, en relación a los caballos reales, penaliza a los motores atmosféricos frente a los sobrealimentados, ya sean de gasolina o gasóleo.

$$Pf = T * \frac{C}{N}^{0,6} * N$$

Donde:

T: coeficiente 0,08 para motores de 4 tiempos, 0,11 para motores de 2 tiempos
C: Cilindrada total del motor (cm³)
N: número de cilindros

b) Motores de explosión rotativos

$$Pf = \frac{Pe}{5,152}$$

c) Motores eléctricos:

$$Pf = \frac{Pe}{5,152}$$

La potencia efectiva, Pe, que se utiliza en las fórmulas de los motores rotativos y eléctricos, viene expresada en kilovatios (kW). Dicha potencia será la que determine el Laboratorio Oficial que el Ministerio de Industria y Energía designe aplicando los métodos de ensayo que dicho Ministerio establezca.

COSTE IMPUESTO DE VEHÍCULOS TRACCIÓN MECÁNICA							
MODELO	B 180	C 180	CLA 180	A4 OTTO	A4 DIESEL	A5 OTTO	A5 DIESEL
CILINDRADA	1796	1595	1595	1398	1896	1395	1598
Nº CILINDROS	4	4	4	4	4	4	4
POT. FISCAL	12,5	11,6	11,6	10,7	12,9	10,7	11,6
CUOTA ANUAL	71,94 €	34,08 €	34,08 €	34,08 €	71,94 €	34,08 €	34,08 €

Tabla 34: Cuota anual del Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica. Elaboración propia.

7.2.4. Impuesto de matriculación

El impuesto de matriculación es un gravamen que se paga al adquirir un coche nuevo o un usado que se matricule por primera vez en España. El pago se realiza una sola vez. Actualmente depende del nivel de emisiones de CO₂ que emita a la atmósfera, aunque sería más justo que se tuvieran en cuenta todos los contaminantes que emite un automóvil.

Los vehículos cuyas emisiones de CO₂ homologadas por el fabricante no superan los 120 g/km están exentos del pago de este impuesto. El resto de vehículos pagan, en función de su nivel de CO₂, hasta el 14,75% de su base imponible, es decir, su precio antes de aplicar impuestos (precio franco fábrica y transporte).

La tasa del impuesto de matriculación se divide en cuatro tramos:

DESDE	HASTA	IMPUESTO
0 g/km CO ₂	120 g/km CO ₂	0%
120 g/km CO ₂	160 g/km CO ₂	4,75%
160 g/100 km CO ₂	200 g/km CO ₂	9,75%
200 g/km CO ₂	-	14,75%

Tabla 35: Tasa del impuesto de matriculación según el nivel de emisiones. Fuente: (Agencia Tributaria)

Se han recogido los datos sobre las emisiones de los vehículos seleccionados para el estudio en la página: <http://www.km77.com/precios>

A partir de las emisiones se ha calculado el coste del impuesto de matriculación:

COSTE IMPUESTO DE MATRICULACIÓN							
MODELO	B 180	C 180	CLA 180	A4 OTTO	A4 DIESEL	A5 OTTO	A5 DIESEL
CO ₂ (g/100 km)	129	116	128	153	132	118	89
IMPUESTO MATRICULACIÓN	4,75%	0,00%	4,75%	4,75%	4,75%	0,00%	0,00%
PRECIO VEHÍCULO	29.525 €	35.300 €	31.975 €	14.376 €	19.431 €	25710	23050
COSTE IMP. MATRICULACIÓN	1.402,44 €	0,00 €	1.518,81 €	682,86 €	922,97 €	0,00 €	0,00 €

Tabla 36: Coste del impuesto de matriculación de los vehículos estudiados. Elaboración propia.

7.2.5. Inspección Técnica de Vehículos (ITV)

La Inspección Técnica de Vehículos (ITV) es un tipo de mantenimiento legal preventivo de vehículos que se debe realizar de manera periódica por un ente certificador, el cual verifica el cumplimiento de las normas de seguridad y emisiones contaminantes que le sean aplicables.

En España, las estaciones de ITV son concesiones administrativas de carácter autonómico, por lo en cada comunidad autónoma son aplicables distintas tarifas.

En la Comunidad Valenciana, las tarifas a aplicar vienen determinadas en el Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell, por el que se actualizan las tarifas aplicables a la prestación del servicio público de Inspección Técnica de Vehículos (ITV) en la Comunitat Valenciana a partir del día 1 de abril de 2014.

Las distintas tarifas que se aplican dependen de la clase del vehículo de la que se trate. La clasificación de los distintos tipos de vehículos está establecida en el Reglamento General de Vehículos aprobado por el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre. Según dicho Real Decreto, y como se comprueba en la tabla siguiente, los turismos se encuadran dentro de los Vehículos de Tipo 2.

Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
De tracción animal	Turismo	Autobús de MMA<=3500 kg
Bicicleta		Camión de MMA<=3500 kg
Ciclomotor		Furgoneta de MMA <=3500 kg
Motocicleta		Derivado de turismo
Motocarro		Vehículo mixto adaptable
Automóvil de tres ruedas		Remolque ligero de MMA<=750 kg
		Remolque de 750<MMA<=3500 kg

Tabla 37: Tipología de Vehículos 1, 2 y 3.(Real Decreto 2822/1998, de 23 de Diciembre)

Las tarifas aplicadas son diferentes según el tipo de motor y si el vehículo incorpora o no catalizador. La nomenclatura que utiliza la normativa es la siguiente:

- MEP (sin catalizador): vehículo con motor de combustión interna de encendido provocado (gasolina) sin sistema de control de emisiones.
- MEP (catalizado): vehículo con motor de combustión interna de encendido provocado (gasolina) equipado con sistema de control de emisiones.
- MEC: vehículo con motor de combustión interna de encendido por compresión (gasóleo).

TIPO DE VEHÍCULO	TARIFA (€)
Vehículo Tipo 1	8,81
Vehículo Tipo 2	25,05
Vehículo Tipo 3	25,05
Vehículo Tipo 4	7,39
Vehículo Tipo 5	32,82

Tabla 38: Cuadro de tarifas de inspecciones periódicas, sin IVA. Fuente:(Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)

La tabla siguiente muestra la tarifa aplicada para la prueba de contaminantes de gases de escape según tipo de motor y la incorporación de catalizador:

TIPO VEHÍCULO	Gasolina		Gasóleo
	MEP (sin cat)	MEP (cat)	MEC
Vehículo Tipo 1	0	5,77	15,15
Vehículo Tipo 2	0	5,77	15,15
Vehículo Tipo 3	0	5,77	17,90
Vehículo Tipo 4	0	5,77	26,24
Vehículo Tipo 5	0	5,77	26,24

Tabla 39: Cuadro de tarifas de contaminantes de gases de escape. Fuente:(Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Además en la Comunidad Valenciana todos los vehículos deben realizar la prueba de emisión sonora:

	Tarifa (€)
Primera inspección	2,48
Segunda y sucesivas inspecciones por defectos en la 1ª inspección	1,86

Tabla 40: Cuadro de tarifas para la prueba de emisión sonora, sin IVA. Fuente: (Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)

Como resultado de las tres tablas anteriores y añadiendo el 21% de IVA, se recogen en la tabla siguiente las tarifas aplicadas en vigor en 2015 para realizar la Inspección Técnica de Vehículos en la Comunidad Valenciana para los distintos tipos de motor de vehículos de turismo:

	Vehículos tipo 2			Precio Con IVA
	Inspección periódica	Contaminantes	Emisión sonora	
MEP* Sin catalizar	25,05	0	2,48	33,31
MEP Catalizado	25,05	5,77	2,48	40,29
MEC (Diésel)	25,05	15,15	2,48	51,64

Tabla 41: Coste de la ITV en la Comunidad Valenciana en 2015 según tipología de motor. Fuente: (Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)

Dado que las tarifas son distintas en cada Comunidad Autónoma, la tabla siguiente recoge los precios actualmente en vigor en las 17 autonomías y las 2 ciudades autónomas, junto con el porcentaje de desviación respecto de la tarifa en la Comunidad Valenciana en la parte derecha.

		MEP*	MEP	MEC	MEP*	MEP	MEC
Andalucía	1601 cc	31,71	35,48	40,09	95%	88%	78%
	1600 cc	22,47	26,24	30,85	67%	65%	60%
Aragón		31,64	35,91	44,78	95%	89%	87%
Asturias		34,00	34,00	34,00	102%	84%	66%
Balears	Mallorca	26,43	32,61	48,02	79%	81%	93%
	Menorca	24,79	30,41	46,23	74%	75%	90%
Canarias		27,93	32,28	40,31	84%	80%	78%
Cantabria		34,53	43,16	48,85	104%	107%	95%
Castilla La Mancha		27,77	35,83	45,35	83%	89%	88%
Castilla León		37,04	46,47	55,72	111%	115%	108%
Cataluña		35,40	36,40	41,40	106%	90%	80%
Ceuta		31,77	43,99	52,19	95%	109%	101%
Comunidad Valenciana		33,31	40,29	51,64	100%	100%	100%
Extremadura		26,19	26,19	26,19	79%	65%	51%
Galicia		30,89	35,61	43,33	93%	88%	84%
La Rioja		31,47	31,47	40,86	94%	78%	79%
Madrid		36,74	36,49	52,12	110%	91%	101%
Melilla		27,40	32,39	37,37	82%	80%	72%
Murcia	Est. Públicas	23,43	28,90	40,20	70%	72%	78%
	Est. Privadas	29,02	35,60	49,30	87%	88%	95%
Navarra		29,40	29,40	29,40	88%	73%	57%
País Vasco		42,83	42,83	42,83	129%	106%	83%
PROMEDIO		30,73	35,09	42,77	92%	87%	83%

Tabla 42: Tarifas aplicadas por Comunidades Autónomas de la ITV en turismos. Elaboración propia a partir de: (Autofácil)

En la tabla se observa que en la mayoría de Comunidades Autónomas las tarifas son menores que en la Comunidad Valenciana, por lo que resulta más representativo utilizar una tarifa promedio de todas ellas:

	MEP(sin)	MEP(con)	MEC
TARIFA PROMEDIO	30,73	35,09	42,77

Tabla 43: Tarifa promedio utilizada en el cálculo del coste de la Inspección Técnica de Vehículos

7.2.6. Coste del autolavado

Dado que los precios del lavado exterior e interior de un vehículo mediante túnel de autolavado son muy variables y dependen sobre todo de los precios de la competencia a nivel local además de su ubicación, se han tomado precios de 7 empresas de autolavado de diferentes puntos de España, con objeto de disponer de datos representativos. Además, entre las muchas opciones de la calidad de lavados disponibles, se han tomado únicamente las básicas sin aclarado ni encerado, ya que con opciones adicionales la variabilidad de precios aumenta según la estrategia de marketing a la que se haya orientado la empresa de autolavado, es decir, si está enfocada para realizar el lavado de vehículos deportivos o de lujo. De las 7 empresas que se han tenido en consideración para realizar el estudio de precios, tres de ellas son la franquicia Greenwash debido a que dispone de 71 centros de autolavado en toda España y el listado de precios difiere en cada uno, ya que la política de precios depende del franquiciado.

EMPRESA	GREENWASH LA CORUÑA
DIRECCIÓN	Aparcamiento Centro Comercial Odeon Shopping, Rua Estrada
PÁGINA WEB	http://www.greenwashacoruna.es/tarifas
EMPRESA	GREENWASH CÁCERES
DIRECCIÓN	c/Londres 1. Centro Comercial Ruta de la Plata. Cáceres
PÁGINA WEB	http://www.greenwashcaceres.es/tarifas
EMPRESA	GREENWASH ÁVILA
DIRECCIÓN	c/ Río Tera nº4. Pol. Ind. Hervencias. Ávila
PÁGINA WEB	http://greenwashavila.es/tarifas
EMPRESA	LAVADO ECOLÓGICO
DIRECCIÓN	Avenida Juan Carlos I nº 1. Madrid
PÁGINA WEB	http://www.lavado-ecologico.es/servicios-y-precios/
EMPRESA	LA FLOTA
DIRECCIÓN	Calle La Flota nº8, Murcia.
PÁGINA WEB	http://www.lavaderolafloata.com/inicio/servicios-y-tarifas/
EMPRESA	DON JABÓN
DIRECCIÓN	C/ Casares Nº 10. MÁLAGA
PÁGINA WEB	http://donjabon.com/tarifas.html
EMPRESA	FUPAR
DIRECCIÓN	Calle Pintor Vancells nº 1. Terrassa
PÁGINA WEB	http://www.fupar.es/fupar-en-terrassa/limpieza-de-coches/

Tabla 44: Empresas de autolavado objeto de estudio, dirección y página web. Elaboración propia.

Dichas empresas aplican precios diferentes según cuatro categorías de vehículos: Pequeño de 3 puertas, mediano de 5 puertas, monovolumen o familiar, y por último furgoneta. Se han tomado los precios para las 7 empresas tanto el lavado exterior como el interior, y el lavado exterior e interior a la vez. Se adjunta la tabla de precios de las empresas consideradas, por tipo de vehículo y clase de lavado:

EMPRESA	TIPO LAVADO	PEQUEÑO (3P)	MEDIANO (5P)	MONOVOLUMEN	FURGONETA
GREENWASH LA CORUÑA	LIMPIEZA INTERIOR	15	16	18	20
	LAVADO EXTERIOR	13	14	15	18
	INT+EXT	28	30	33	38
GREENWASH CÁCERES	LIMPIEZA INTERIOR	12	13	15	18
	LAVADO EXTERIOR	10	11	12	13
	INT+EXT	22	24	27	31
GREENWASH ÁVILA	LIMPIEZA INTERIOR	14	15	17	20
	LAVADO EXTERIOR	14	15	16	17
	INT+EXT	28	30	33	37
LAVADO ECOLÓGICO	INTERIOR	13	13	15	17
	EXTERIOR	10	12	13	15
	INT+EXT	17	19	22	25
LA FLOTA	LIMPIEZA EXT	9	10	10	12
	LIMPIEZA INT+EXT	23	24	26	29
DON JABÓN	BÁSICO INT+EXT	17	18	20	22
	A FONDO INT+EXT	28	28	30	34
FUPAR	COMPLETO INT+EXT	14	17	19	21,5

Tabla 45: Precios de los distintos lavados para las empresas consideradas, según tipo de vehículo. Elaboración propia.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

La tabla 46 recoge el promedio de los cuadros de precios de las empresas anteriores en función del tipo de vehículo y del tipo de lavado, y que es la tabla que se utilizará para realizar los cálculos de costes fijos.

	PEQUEÑO (3P)	MEDIANO (5P)	MONOVOLUMEN	FURGONETA
LAVADO INTERIOR PROMEDIO	13,00	13,67	15,67	18,33
DESVIACIÓN LAVADO INT.	1,00	1,15	1,15	1,53
LAVADO EXTERIOR PROMEDIO	10,75	12,00	12,75	14,25
DESVIACIÓN LAVADO EXT.	2,22	2,16	2,50	2,22
LAVADO INT+EXT PROMEDIO	20,17	22,00	24,50	27,58
DESVIACIÓN LAVADO INT+EXT	5,12	4,94	5,24	5,95

Tabla 46: Precios promedio según tipo de lavado y tipo de vehículo. Elaboración propia.

Se observa que mientras en el lavado interior o exterior la desviación típica se sitúa en 1,1 y 2,2 € respectivamente, para el lavado conjunto de interior y exterior la desviación típica aumenta hasta alrededor de los 5€. Esto ocurre porque algunas empresas hacen descuentos para este tipo de lavados por su mayor coste mientras que otras no realizan descuento al tratarse de procesos separados. No se utilizarán los valores de las desviaciones para los cálculos.

En cuanto a la frecuencia de los lavados exteriores e interiores, en la página web de la franquicia Greenwash recomiendan el lavado exterior cada 15 días, el lavado de la tapicería cada 6 meses y la limpieza integral una vez al año, mientras que en la página web de la empresa La Flota recomiendan una limpieza parcial cada 6 meses y una limpieza total anual. No especifican la frecuencia del lavado exterior. Además, según el estudio elaborado por (Elephant Bleu) se realizan en promedio 8,9 lavados exteriores al año, es decir, un lavado cada mes y medio.

A efectos de cálculo se considerará un lavado exterior mensual, un lavado interior semestral, además de un lavado interior y exterior anual. La tabla de costes en función del vehículo queda:

	PEQUEÑO (3P)	MEDIANO (5P)	MONOVOLUMEN	FURGONETA
EXTERIOR (frec. mensual)	129,00	144,00	153,00	171,00
INTERIOR (frec. semestral)	26,00	27,33	31,33	36,67
EXT+INT (frec. anual)	20,17	22,00	24,50	27,58
TOTAL COSTE ANUAL	175,17 €	193,33 €	208,83 €	235,25 €

Tabla 47: Coste total anual promedio del lavado según tipo de vehículo. Elaboración propia.

Finalmente, se adjunta la tabla que relaciona el coste anual aproximado del lavado de los vehículos estudiados:

MODELO	B 180	C 180	CLA 180	CLS 350	A4 OTTO	A4 DIESEL	A5 OTTO	A5 DIESEL
COSTE AUTOLAVADO	193,33 €	193,33 €	193,33 €	208,83 €	175,17 €	175,17 €	175,17 €	175,17 €

Tabla 48: Coste anual del autolavado de los vehículos estudiados. Elaboración propia.

7.3. Costes variables anuales

Los costes variables son aquellos que dependen del número de kilómetros recorridos. La fórmula que se va a utilizar para calcular los costes variables es la siguiente:

$$Cv = \frac{Cm * Pc * Km}{100} + Ra + \frac{N * 4 * Km}{d}$$

Donde:

- Cm:** Consumo medio de combustible en litros/100 km
- Pc:** Precio del combustible en €/litro
- Km:** Número de kilómetros recorridos al año
- Ra:** Coste medio anual de las revisiones de mantenimiento
- N:** Precio de un neumático
- d:** Duración de los neumáticos en km

7.3.1. Consumo de combustible

En este apartado se desea establecer un precio medio del combustible con el que poder realizar los cálculos del estudio.

La dificultad estriba en que el precio ha sufrido una fuerte caída los últimos años mientras que los años previos esta tendencia era alcista.

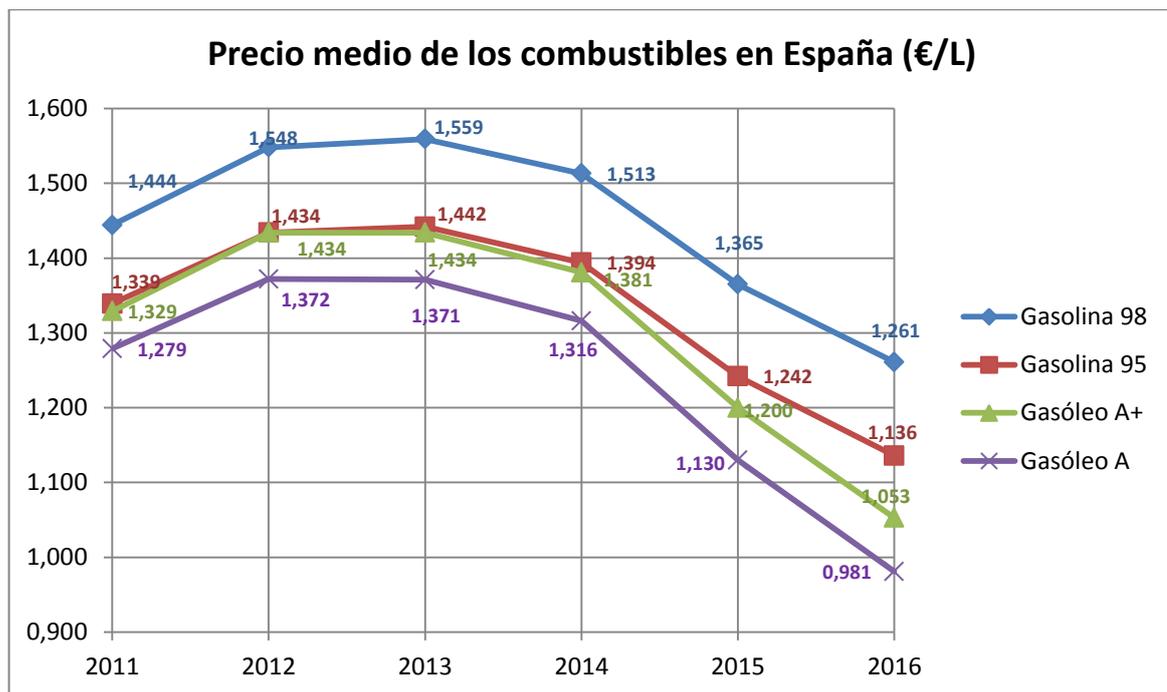


Figura 71: Precio medio de los combustibles en España, 2011-2016. Fuente: (dieselogasolina.com)

La bajada del precio se debe a la utilización en Estados Unidos de la nueva técnica de extracción de petróleo llamada fracking que hace elevar la producción, ya que mediante este procedimiento es posible acceder gases y combustibles del subsuelo a los que anteriormente no era viable económicamente. Esto hace que EEUU genere actualmente 9,3 millones de barriles de petróleo al día, por lo que está habiendo una sobreproducción que hace que los depósitos para almacenar dicho petróleo estén al 90% de su capacidad en Europa, según (El Economista). Como consecuencia la caída de precios tiene por objeto estimular el consumo de petróleo para paliar la sobreproducción.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Aunque la caída del precio del barril de petróleo no tiene por qué coincidir con la caída del precio de los carburantes, ya que en la formación del precio de los carburantes intervienen varios factores. Como se observa en la figura siguiente, la estructura de precios se desglosa en 3 apartados:

- Coste de la gasolina/gasóleo debido a la cotización internacional del petróleo
- Costes fijos de distribución, comercialización y remuneraciones a mayoristas
- Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA)+Impuesto Especial de Hidrocarburos

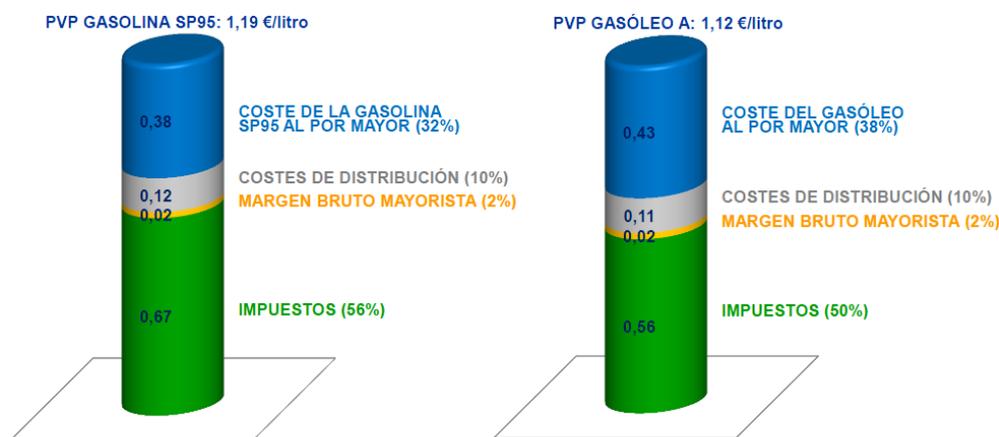


Figura 72: Estructura de precios de los carburantes. Fuente: (AOP)

Según dicha estructura de precios, más del 50% del precio está formado por impuestos, por eso el efecto de la caída del precio del barril de Brent en casi un 60% estos últimos años queda amortiguado, de lo contrario la caída del precio de los carburantes habría sido mucho mayor.

Resulta difícil hacer predicciones sobre los precios de los carburantes a corto plazo. Además, aunque la tendencia de los precios se mantenía más estable en años anteriores, sería necesario corregirlos por el IPC. Por esta razón se tomará a efectos de cálculo el promedio de los precios entre 2011-2016:

	Promedio 2011-2016
Gasolina 98	1,448 €/L
Gasolina 95	1,331 €/L
Gasóleo A+	1,305 €/L
Gasóleo A	1,242 €/L

Tabla 49: Precio promedio de los carburantes en el periodo 2011-2016. Elaboración propia.

Para los vehículos con motor de gasolina, se supone que utilizan Gasolina 95, mientras que los de motor Diésel se supone que utilizan Gasóleo A. Los consumos de los vehículos en L/100 km se obtienen a partir de (km 77), y para todos ellos se considera que realizan 15.000 km al año. En la tabla siguiente se calcula el coste anual máximo, mínimo y medio debido al consumo de combustible:

MODELO	COSTE COMBUSTIBLE						
	B180	C180	CLA180	A4 OTTO	A4 DIESEL	A5 OTTO	A5 DIESEL
COMBUSTIBLE	DIESEL	GASOLINA	GASOLINA	GASOLINA	DIESEL	GASOLINA	DIESEL
PRECIO (€/L)	1,242	1,331	1,331	1,331	1,242	1,331	1,242
CONS. URBANO	7,4	6,4	7,6	8,4	7,2	6,2	3,9
CONS. EXTRAURBANO	4,5	4,2	4,4	5,3	4,6	4,4	3,2
CONS. MEDIO	5,6	5	5,5	6,4	5,5	5,1	3,4
KM ANUALES	15.000						
COSTE MAX.	1.477,41 €	1.277,76 €	1.517,34 €	1.677,06 €	1.341,36 €	1.237,83 €	726,57 €
COSTE MIN.	898,43 €	838,53 €	878,46 €	1.058,15 €	856,98 €	878,46 €	596,16 €
COSTE MEDIO (€/año)	1.118,04 €	998,25 €	1.098,08 €	1.277,76 €	1.024,65 €	1.018,22 €	633,42 €

Tabla 50: Coste anual debido al consumo de combustible. Elaboración propia.

7.3.2. Coste de las revisiones de mantenimiento

Para conocer el coste anual de las revisiones de mantenimiento se han estudiado cuatro modelos diferentes de Mercedes Benz: B 180 CDI, C 180, CLA 180 y CLS 350 y cuatro modelos de Volkswagen: Golf A4 Otto, Golf A4 Diésel, Golf A5 Otto y Golf A5 Diésel. Se han tenido en cuenta todas las revisiones necesarias hasta los 150.000 km de uso.

Los datos se han obtenido accediendo a la base de datos que ofrece la página web:

<http://www.coches.net/servicios/costes-mantenimiento/>

	REVISIONES B180							
	30.000	40.000	60.000	80.000	90.000	100.000	120.000	150.000
Repuestos	117,15€	172,13€	112,38€	256,92€	112,38€	112,38€	204,84€	256,92€
Mano de obra (65 €/h)	214,50€	234,00€	169,00€	279,50€	169,00€	169,00€	253,50€	279,50€
Total antes de impuestos	331,65€	406,13€	281,38€	536,42€	281,38€	281,38€	458,34€	536,42€
Impuestos: (21% IVA)	69,65€	85,29€	59,09€	112,65€	59,09€	59,09€	96,25€	112,65€
COSTE REVISIÓN	401,3€	491,42€	340,47€	649,07€	340,47€	340,47€	554,59€	649,07€
							COSTE TOTAL	3.766,86 €

Tabla 51: Coste de las revisiones de mantenimiento del Mercedes B 180. Fuente: (coches.net)

	REVISIONES C180				
	30.000	50.000	75.000	100.000	150.000
Repuestos	171,65 €	171,65 €	266,08 €	171,65 €	266,08 €
Mano de obra (65 €/h)	91,00 €	91,00 €	156,00 €	91,00 €	156,00 €
Total antes de impuestos	262,65 €	262,65 €	422,08 €	262,65 €	422,08 €
Impuestos: (21% IVA)	55,16 €	55,16 €	88,64 €	55,16 €	88,64 €
COSTE REVISIÓN	317,81 €	317,81 €	510,72 €	317,81 €	510,72 €
				COSTE TOTAL	1.974,87 €

Tabla 52: Coste de las revisiones de mantenimiento del Mercedes C 180. Fuente: (coches.net)

	REVISIONES CLA180			
	50.000	75.000	100.000	150.000
Repuestos	170,78 €	263,66 €	170,78 €	263,66 €
Mano de obra (65 €/h)	84,50 €	195,00 €	84,50 €	195,00 €
Total antes de impuestos	255,28 €	458,66 €	255,28 €	458,66 €
Impuestos: (21% IVA)	53,61 €	96,32 €	53,61 €	96,32 €
COSTE REVISIÓN	308,89 €	554,98 €	308,89 €	554,98 €
			COSTE TOTAL	1.727,74 €

Tabla 53: Coste de las revisiones de mantenimiento del Mercedes CLS 180. Fuente: (coches.net)

	REVISIONES WV GOLF A4 OTTO				
	30.000	60.000	90.000	120.000	150.000
Repuestos	124,31 €	179,44 €	113,68 €	190,07 €	190,07 €
Mano de obra (65 €/h)	162,40 €	168,20 €	133,40 €	197,20 €	197,20 €
Total antes de impuestos	286,71 €	347,64 €	247,08 €	387,27 €	387,27 €
Impuestos: (21% IVA)	60,21 €	73,00 €	51,89 €	81,33 €	81,33 €
COSTE REVISIÓN	346,92 €	420,64 €	298,97 €	468,60 €	468,60 €
			COSTE TOTAL	2.003,72 €	

Tabla 54: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A4 Gasolina. Fuente: (coches.net)

	REVISIONES WV GOLF A4 DIESEL				
	30.000	60.000	90.000	120.000	150.000
Repuestos	146,49 €	210,21 €	352,60 €	220,84 €	172,09 €
Mano de obra (65 €/h)	162,40 €	156,60 €	290,00 €	185,60 €	168,20 €
Total antes de impuestos	308,89 €	366,81 €	642,60 €	406,44 €	340,29 €
Impuestos: (21% IVA)	64,87 €	77,03 €	134,95 €	85,35 €	71,46 €
COSTE REVISIÓN	373,76 €	443,84 €	777,55 €	491,79 €	411,75 €
			COSTE TOTAL	2.498,69 €	

Tabla 55: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A4 Diésel. Fuente: (coches.net)

	REVISIONES WV GOLF A5 OTTO				
	30.000	60.000	90.000	120.000	150.000
Repuestos	126,55 €	205,37 €	137,83 €	233,35 €	205,37 €
Mano de obra (65 €/h)	87,00 €	110,20 €	87,00 €	116,00 €	110,20 €
Total antes de impuestos	213,55 €	315,57 €	224,83 €	349,35 €	315,57 €
Impuestos: (21% IVA)	44,85 €	66,27 €	47,21 €	73,36 €	66,27 €
COSTE REVISIÓN	258,40 €	381,84 €	272,04 €	422,71 €	381,84 €
			COSTE TOTAL	1.716,83 €	

Tabla 56: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A5 Otto. Fuente: (coches.net)

	REVISIONES WV GOLF A5 DIESEL				
	30.000	60.000	90.000	120.000	150.000
Repuestos	124,26 €	124,26 €	178,76 €	234,68 €	124,26 €
Mano de obra (65 €/h)	104,40 €	104,40 €	121,80 €	203,00 €	104,40 €
Total antes de impuestos	228,66 €	228,66 €	300,56 €	437,68 €	228,66 €
Impuestos: (21% IVA)	48,02 €	48,02 €	63,12 €	91,91 €	48,02 €
COSTE REVISIÓN	276,68 €	276,68 €	363,68 €	529,59 €	276,68 €
			COSTE TOTAL	1.723,31 €	

Tabla 57: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A5 Diésel. Fuente: (coches.net)

Una vez obtenido el coste total de las revisiones hasta los 150.000 km, se calcula el coste anual de mantenimiento, considerando que el tiempo de uso de los vehículos es de 7 años, según la tabla 58:

MODELO	COSTE MANTENIMIENTO							
	B 180	C 180	CLA 180	CLS 350	A4 OTTO	A4 DIESEL	A5 OTTO	A5 DIESEL
TOTAL (7 AÑOS)	3.766,86 €	1.974,87 €	1.727,84 €	3.395,40 €	2.003,72 €	2.498,69 €	1.716,83 €	1.723,31 €
ANUAL	538,12 €	282,12 €	246,83 €	485,06 €	286,25 €	356,96 €	245,26 €	246,19 €

Tabla 58: Coste anual promedio de operaciones de mantenimiento. Elaboración propia.

7.3.3. Coste de los neumáticos

Para obtener el precio de un neumático medio se ha tomado como punto de partida el análisis de neumáticos realizado por la OCU en Abril de 2014. En dicho estudio se analizan 26 neumáticos diferentes, 13 de la medida 175/65 R14 T, correspondientes a vehículos urbanos, y otros 13 de la medida 195/65 R15 V correspondientes a vehículos medianos.

En dicho estudio se realizan distintas pruebas:

- **En seco:** Se comprueba la distancia de frenado sobre suelo seco de 100 a 0 km/h, la estabilidad del coche a 150 km/h y en curvas, y a máxima velocidad.
- **En mojado:** Se mide la distancia de frenado en condiciones que simulan lluvia continuada o la respuesta en situaciones de aquaplaning.
- **Duración:** Desgaste tras pasar por un banco de pruebas y distintos tipos de asfalto.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

- **Ruido:** Decibelios en el interior y exterior del habitáculo creados por la rodadura del coche a la velocidad de 80 km/h.

También se realiza una prueba de consumo, pero no se incluye en las tablas porque el resultado es el mismo para todos los neumáticos. Además se indica el precio mínimo y máximo de cada neumático.

TIPO NEUMÁTICO: 175/65 R14 T					PONDERACIÓN				TOTAL CALIDAD	CALIDAD /PRECIO
MARCA	MODELO	PRECIO MIN	PRECIO MAX	PRECIO MEDIO	50%	15%	20%	15%		
					SECO	MOJADO	DURACIÓN	RUIDO		
CONTINENTAL	CONTI ECOCONTACT 5	58	82	70	40	50	50	30	42	0,60
KORMORAN	IMPULSER B2	50	70	60	40	10	40	30	34	0,57
HANKOOK	KINERGY ECO K425	55	85	70	40	40	40	30	38,5	0,55
VREDESTEIN	T-TRAC 2	67	70	68,5	40	30	40	30	37	0,54
DEBICA	PASSIO 2	58	70	64	40	10	50	20	34,5	0,54
PIRELLI	CINTURATO P1 VERDE	58	88	73	40	40	40	30	38,5	0,53
FIRESTONE	MULTIHAWK	52	84	68	40	30	40	20	35,5	0,52
BRIDGESTONE	ECOPIA EP150	56	92	74	40	40	40	30	38,5	0,52
BARUM	BRILLANTIS 2	55	71	63	30	30	40	30	32	0,51
GOODYEAR	EFFICIENT GRIP	55	87	71	40	30	40	20	35,5	0,50
MICHELIN	ENERGY SAVER +	61	98	79,5	40	30	50	30	39	0,49
KLEBER	DYNAXER HP3	55	75	65	30	10	50	30	31	0,48
AVON	ZT 5	65	70	67,5	30	20	40	20	29	0,43

Tabla 59: Lista de precios y características de neumáticos 175/65 R14 T. Fuente: (OCU, Abril 2014)

Se han ponderado cada uno de los 4 factores con distintos pesos, siendo el comportamiento en seco y la duración los más influyentes. También se han asignado valores cuantitativos en una escala de 10 a 50 ya que en el análisis de la OCU daba valores cualitativos a los factores: Muy bueno, Bueno, Aceptable, Malo, Muy malo. De esta forma se han podido comparar numéricamente los neumáticos en base a su calidad respecto del precio.

TIPO NEUMÁTICO: 195/65 R15 V					PONDERACIÓN				TOTAL CALIDAD	CALIDAD /PRECIO
MARCA	MODELO	PRECIO MIN	PRECIO MAX	PRECIO MEDIO	50%	15%	20%	15%		
					SECO	MOJADO	DURACIÓN	RUIDO		
VREDESTEIN	SPORTRAC 5	61	105	83	50	40	40	20	42	0,51
HANKOOK	KINERGY ECO K425	68	105	86,5	50	40	40	30	43,5	0,50
FULDA	ECOCONTROL HP	59	98	78,5	40	40	40	30	38,5	0,49
PIRELLI	CINTURATO P1 VERDE	62	113	87,5	50	40	40	20	42	0,48
CONTINENTAL	CONTI PREMIUM 5	62	111	86,5	50	40	30	30	41,5	0,48
BRIDGESTONE	TURANZA T001	62	112	87	50	40	30	30	41,5	0,48
KUMHO	ECOWING ES01KH27	60	103	81,5	40	30	40	30	37	0,45
MICHELIN	ENERGY SAVER +	70	124	97	50	30	50	30	44	0,45
NEXEN	BLUE HD	58	91	74,5	40	30	30	20	33,5	0,45
GOODYEAR	EFFICIENT GRIP	62	111	86,5	40	40	40	20	37	0,43
DUNLOP	SPORT BLUERESPONSE	65	116	90,5	40	40	40	30	38,5	0,43
YOKOHAMA	BLUEARTH	70	104	87	40	30	30	30	35	0,40
SEMPERIT	SPEED LIFE	87	103	95	40	30	40	20	35,5	0,37

Tabla 60: Lista de precios y características de neumáticos 195/65 R15 V. Fuente: (OCU, Abril 2014)

Según los resultados de cada una de las tablas, el mejor neumático de la medida 175/65 R 14 T es el Continental Ecocontact 5 con un precio medio de 70 €, y el mejor neumático de la medida 195/65 R 15 V es el Vredestein Sportrac 5 con un precio medio de 83 €.

Para simplificar, aunque cada modelo de vehículo tiene distintas medidas, se considera a efectos del cálculo de coste que los modelos de Mercedes Benz utilizan los Vredstein Sportrac 5 (83€/unidad) y los modelos de Volkswagen utilizan los Continental Ecocontact 5.

Asimismo se supone que se realiza un cambio de neumáticos cada 30.000 km aproximadamente, por lo que sin considerar los neumáticos que lleva montados de origen, y teniendo en cuenta el cambio realizado a los 150.000 km, se realizarán 5 cambios de neumáticos durante la fase de uso del vehículo.

El coste de los neumáticos queda representado en la tabla 61:

MODELO	COSTE NEUMÁTICOS						
	B 180	C 180	CLA 180	A4 OTTO	A4 DIESEL	A5 OTTO	A5 DIESEL
COSTE UNITARIO	83,00 €	83,00 €	83,00 €	70,00 €	70,00 €	70,00 €	70,00 €
COSTE TOTAL	1.660,00 €	1.660,00 €	1.660,00 €	1.400,00 €	1.400,00 €	1.400,00 €	1.400,00 €
COSTE ANUAL	237,14 €	237,14 €	237,14 €	200,00 €	200,00 €	200,00 €	200,00 €

Tabla 61: Coste anual de los neumáticos para los diferentes modelos estudiados. Elaboración propia.

7.3.4. Costes Fijos y Costes Variables

A continuación se calculan los costes fijos y costes variables mediante la formulación propuesta por la OCU. Los costes financieros por modelo de vehículo están previamente calculados en la tabla 28, por lo que se incluirán únicamente en la tabla de costes totales. Se consideran tres escenarios: Normal, de mínimo coste y de máximo coste.

7.3.4.1. Escenario de Coste Normal

- **COSTES FIJOS:**

Los costes fijos se desglosan en los siguientes conceptos:

- Coste del seguro
- Coste del alquiler de la plaza de garaje
- Impuestos (Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica e Impuesto de Matriculación)
- Inspección Técnica de Vehículos
- Coste del autolavado

	Número de años que se va a utilizar el vehículo	Precio del seguro a todo riesgo	Precio del seguro a terceros	Precio del alquiler anual de la plaza de garaje	Coste del impuesto de vehículos de tracción mecánica	Coste Impuesto Matriculación	nº de ITV que pasará el coche	Coste de la ITV	Coste anual del lavado del vehículo	COSTES FIJOS ANUALES
	n	Str	So	Pg	IVTM	Im	nITV	ITV	Cl	Cf
B 180	7	1218,22	371,59	1576,92	34,08	1402,44	3	35,09	193,33	2.633,20 €
C 180					34,08	0,00		35,09	193,33	2.432,85 €
CLA 180					34,08	1518,81		35,09	193,33	2.649,83 €
A4 OTTO					34,08	682,86		35,09	175,17	2.512,24 €
A4 DIESEL					71,94	922,97		42,77	175,17	2.587,70 €
A5 OTTO					34,08	0,00		35,09	175,17	2.414,69 €
A5 DIESEL					34,08	0,00		42,77	175,17	2.417,98 €

Tabla 62: Costes fijos de los diferentes modelos. Elaboración propia.

Promediando cada uno de los costes por separado obtenemos la figura siguiente, en la que se observa que el 61,18% del total del coste fijo se debe al alquiler de la plaza de garaje, y un 7,22% al coste de autolavado. Estos costes son en realidad opcionales porque el vehículo podría aparcarse en la calle y realizarse el lavado del vehículo el propietario manualmente, como se verá en el apartado siguiente.

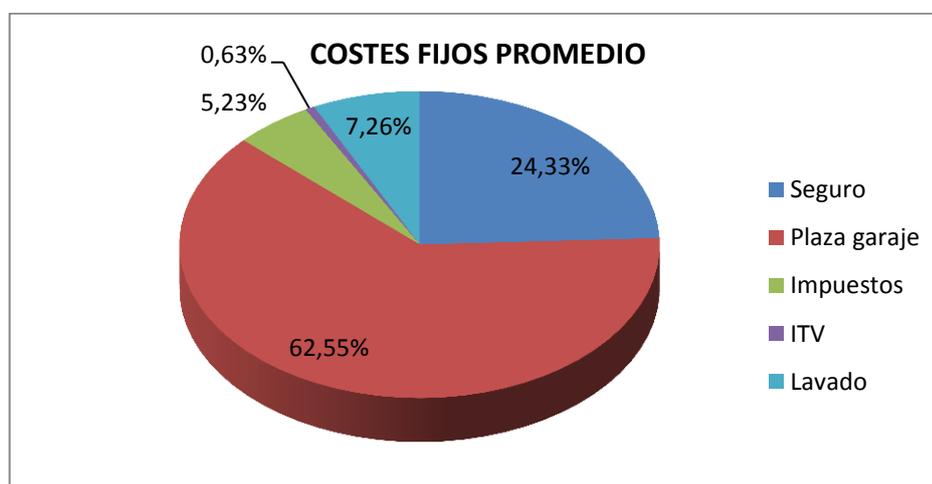


Figura 73: Costes fijos promedio. Elaboración propia.

- **COSTES VARIABLES:**

Los costes variables se desglosan en tres conceptos:

- Coste del consumo de combustible
- Coste de las revisiones de mantenimiento (taller mecánico)
- Coste de cambio de neumáticos

En este caso no es posible prescindir de ninguno de los conceptos ya que los tres son necesarios, aunque pueden minimizarse.

	Consumo medio (L/100 km)	Precio medio comb. (€/L)	nº kilómetros realizados anualmente	Coste anual de las revisiones y mantenimiento	Precio de un neumático	Duración del neumático (km)	COSTES VARIABLES ANUALES
	Cm	Pc	Km	Ra	N	d	Cv
B 180	5,6	1,331	15.000	538,12 €	83,00 €	30.000	1.822,16 €
C 180	5,0	1,331		282,12 €	83,00 €		1.466,37 €
CLA 180	5,5	1,331		246,83 €	83,00 €		1.510,91 €
A4 OTTO	6,4	1,331		286,25 €	70,00 €		1.704,01 €
A4 DIESEL	5,5	1,242		356,96 €	70,00 €		1.521,61 €
A5 OTTO	5,1	1,331		245,26 €	70,00 €		1.403,48 €
A5 DIESEL	3,4	1,242		246,19 €	70,00 €		1.019,61 €

Tabla 63: Costes variables de los diferentes modelos. Elaboración propia.

Se observa que el coste debido al consumo de combustible es mucho mayor que el de mantenimiento o el de neumáticos.

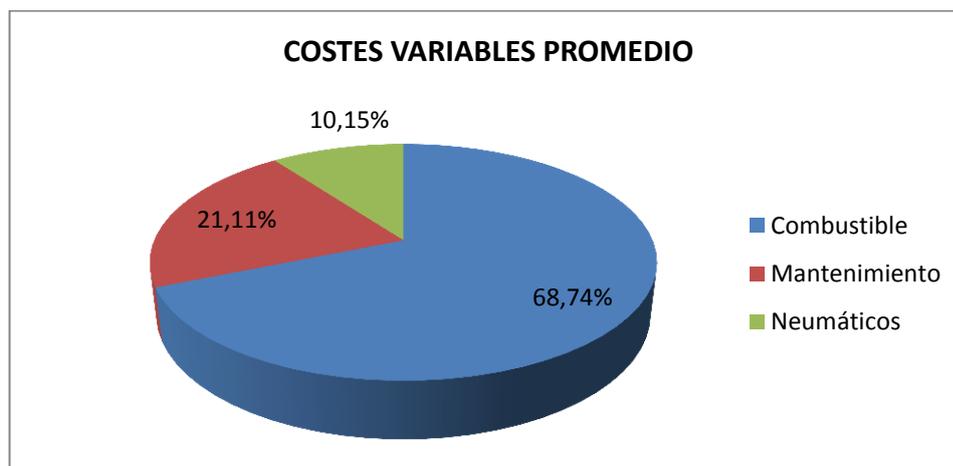


Figura 74: Costes Variables Promedio. Elaboración propia.

- **COSTE TOTAL:**

En promedio, la suma del Coste Fijo más el Coste Variable da un resultado de 4.010,95 €.

	COSTE FINANCIERO	COSTE FIJO	COSTE VARIABLE	CF + CV	COSTE TOTAL ANUAL
B 180	3.979,53 €	2.633,20 €	1.822,16 €	4.455,36 €	8.434,89 €
C 180	4.757,91 €	2.432,85 €	1.446,37 €	3.879,23 €	8.637,14 €
CLA 180	4.309,75 €	2.649,83 €	1.510,91 €	4.160,74 €	8.470,49 €
A4 OTTO	1.937,67 €	2.512,24 €	1.704,01 €	4.216,25 €	6.153,92 €
A4 DIESEL	2.619,01 €	2.587,70 €	1.521,61 €	4.109,30 €	6.728,31 €
A5 OTTO	3.465,32 €	2.414,69 €	1.403,48 €	3.818,17 €	7.283,49 €
A5 DIESEL	3.106,80 €	2.417,98 €	1.019,61 €	3.437,59 €	6.544,39 €
PROMEDIO	3.453,71 €	2.521,21 €	1.489,73 €	4.010,95 €	7.464,66 €

Tabla 64: Coste total anual. Elaboración propia.

7.3.4.2. Escenario de mínimo coste

• **COSTES FIJOS:**

Si eliminásemos los costes del alquiler de plaza de garaje y del autolavado, los costes fijos serían mucho menores. Se ha confeccionado la tabla siguiente donde se representan en columnas los costes del seguro, impuestos e ITV, la suma de costes fijos en este caso y por último el ahorro producido al no disfrutar de plaza de garaje ni lavado automático (Sin considerar el ahorro que podría obtenerse si no se disfrutase de los dos primeros años de seguro a todo riesgo porque el vehículo es de primera mano):

	Seguros	Impuestos	ITV	TOTAL C.F.	Ahorro
B 180	613,48	234,43	15,04	862,95 €	67,2%
C 180		34,08	15,04	662,60 €	72,8%
CLA 180		251,05	15,04	879,58 €	66,8%
A4 OTTO		131,63	15,04	760,15 €	69,7%
A4 DIESEL		203,79	18,33	835,61 €	67,7%
A5 OTTO		34,08	15,04	662,60 €	72,6%
A5 DIESEL		34,08	18,33	665,89 €	72,5%
PROMEDIO		613,48	131,88	15,98	761,34€

Tabla 65: Costes fijos en el escenario de mínimo coste. Elaboración propia

• **COSTES VARIABLES:**

Para visualizar el escenario de menor coste variable posible, se considera que:

1. El número de kilómetros que se recorren anualmente pasa de 15.000 km/año a 12.000 km/año ya que se consideran los usuarios mayores a 65 años de edad o bien menores a 25. Como se vio en la tabla nº 16, el número de kilómetros recorridos anualmente es de 9.526 km/año para los conductores mayores de 65 años y de 12.872 km/año para los conductores menores a 25 años.
2. La duración de los neumáticos pasa a ser de 50.000 km en vez de 30.000 km, dado que el desgaste hasta alcanzar los 1,6 mm de profundidad mínima del surco no es un valor fijo, sino que se desgasta con mayor rapidez si la velocidad de circulación es más alta. Por eso se considera una utilización del vehículo fundamentalmente urbana. Por otra parte, tampoco se alcanzaría el envejecimiento del neumático, que es de 5 años:

$$\frac{50.000 \text{ km}}{12.000 \text{ km/año}} = 4,2 \text{ años} < 5 \text{ años}$$

3. Se realizan todas las revisiones de mantenimiento pero no se realizan en el concesionario oficial cuyo coste de mano de obra es de 65 €/hora, sino que se realiza en un taller multi marca con un coste de mano de obra de 40 €/hora. La frecuencia de las revisiones se representa en la tabla 66:

km	30.000	40.000	60.000	80.000	90.000	100.000	120.000	150.000
Mercedes Benz	X	X	X	X	X	X	X	X
Volkswagen	X		X		X			X

Tabla 66: Frecuencia de las revisiones de mantenimiento según marca del vehículo. Fuente: (coches.net)

4. No se ha modificado el consumo de combustible, se considera un consumo medio.

Finalmente se expone la tabla resumen de costes variables en el escenario de menor coste posible:

	Combustible	Mantenimiento	Neumáticos	TOTAL C.V.	Ahorro
B 180	894,43	420,58	79,68	1.512,23 €	17%
C 180	798,60	243,23	79,68	1.160,40 €	19,8%
CLA 180	878,46	209,65	79,68	1.204,97 €	20,2%
A4 OTTO	1022,21	229,18	67,20	1.215,93 €	28,6%
A4 DIESEL	819,72	292,94	67,20	1.378,01 €	9,4%
A5 OTTO	814,57	211,33	67,20	1.190,92 €	15,1%
A5 DIESEL	506,74	203,77	67,20	820,12 €	19,8%
PROMEDIO	819,25	258,67	72,55	1211,80 €	

Tabla 67: Costes variables en el escenario de mínimo coste. Elaboración propia.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Como se aprecia, tras las consideraciones realizadas el ahorro es bastante menor (en torno al 20 %) que con la supresión de los costes fijos considerados como opcionales (alrededor del 65 %).

- **COSTE TOTAL MÍNIMO:**

En este escenario el coste fijo más el variable da un resultado de 2.000 € aproximadamente.

	COSTE FINANCIERO	COSTE FIJO	COSTE VARIABLE	CF + CV	COSTE TOTAL ANUAL
B 180	3979,53	862,95	1512,23	2375,18	6354,71
C 180	4757,91	662,60	1160,40	1823,00	6580,91
CLA 180	4309,75	879,58	1204,97	2084,55	6394,30
A4 OTTO	1937,67	760,15	1215,93	1976,08	3913,75
A4 DIESEL	2619,01	835,61	1378,01	2213,62	4832,63
A5 OTTO	3465,32	662,60	1190,92	1853,52	5318,84
A5 DIESEL	3106,80	665,89	820,12	1486,01	4592,81
PROMEDIO	3453,71	761,34	1211,80	1973,14	5426,85

Tabla 68: Coste total en el escenario de mínimo coste. Elaboración propia.

7.3.4.3. Escenario de máximo coste

- **COSTES FIJOS:**

En este caso se considera que durante toda la vida del vehículo se contrata un seguro a todo riesgo, y por otra parte el coste del lavado es el de mayor coste posible.

	Seguro	Plaza garaje	Impuestos	ITV	Lavado	COSTE FIJO	Encarecimiento
B 180	1218,22	1576,92	234,43 €	15,04	208,83	3.253,44 €	23,6%
C 180			34,08 €	15,04		3.053,09 €	25,5%
CLA 180			251,05 €	15,04		3.270,06 €	23,4%
A4 OTTO			131,63 €	15,04		3.150,64 €	25,4%
A4 DIESEL			203,79 €	18,33		3.226,09 €	24,7%
A5 OTTO			34,08 €	15,04		3.053,09 €	26,4%
A5 DIESEL			34,08 €	18,33		3.056,38 €	26,4%
PROMEDIO			1218,22	1576,92		131,88	15,98

Tabla 69: Costes fijos en el escenario de máximo coste. Elaboración propia.

- **COSTES VARIABLES:**

Se consideran como costes variables en el escenario de máximo coste:

- La duración de los neumáticos es de 20.000 km (en lugar de 30.000 km)
- El consumo de combustible es el de uso urbano (mayor al consumo medio)

Las revisiones de mantenimiento se realizan con la misma frecuencia que en el escenario normal, y con el coste de mano de obra del taller oficial de la marca.

	Combustible	Revisiones	Neumáticos	COSTES VARIABLES	Encarecimiento
B 180	1477,41	538,12	249,00	2.264,53 €	24,3%
C 180	1277,76	282,12	249,00	1.808,88 €	25,1%
CLA 180	1517,34	246,83	249,00	2.013,17 €	33,2%
A4 OTTO	1677,06	286,25	210,00	2.173,31 €	27,5%
A4 DIESEL	1341,36	356,96	210,00	1.908,32 €	25,4%
A5 OTTO	1237,83	245,26	210,00	1.693,09 €	20,6%
A5 DIESEL	726,57	246,19	210,00	1.182,76 €	16,0%
PROMEDIO	1322,19	314,53	226,71	1863,44 €	23,6%

Tabla 70: Costes variables en el escenario de máximo coste. Elaboración propia.

7.3.5. Resumen de Costes

Se realiza en este apartado un resumen de costes en los tres escenarios: Escenario de coste normal, de coste mínimo y de coste máximo.

En la figura 75 se recuerdan las hipótesis consideradas en los escenarios de coste mínimo y máximo respecto al escenario normal:



Figura 75: Hipótesis realizadas en los escenarios de coste mínimo y máximo. Elaboración propia.

La tabla 71 refleja para cada escenario, en la primera columna la suma de costes fijos y variables, y en la segunda columna el coste total añadiendo el coste financiero en cada caso.

	ESCENARIO NORMAL		ESCENARIO MÍNIMO		ESCENARIO MÁXIMO	
	CF+CV	C. TOTAL	CF+CV	C. TOTAL	CF+CV	C. TOTAL
B 180	4.455,36 €	8.434,89 €	2.375,18 €	6.354,71 €	5.517,97 €	9.497,50 €
C 180	3.879,23 €	8.637,14 €	1.823,00 €	6.580,91€	4.861,97 €	9.619,89 €
CLA 180	4.160,74 €	8.470,49 €	2.084,55 €	6.394,30€	5.283,24 €	9.592,99 €
A4 OTTO	4.216,25 €	6.153,92 €	1.976,08 €	3.913,75€	5.323,95 €	7.261,62 €
A4 DIESEL	4.109,30 €	6.728,31 €	2.213,62 €	4.832,63 €	5.134,41 €	7.753,42 €
A5 OTTO	3.818,17 €	7.283,49 €	1.853,52 €	5.318,84 €	4.746,18 €	8.211,50 €
A5 DIESEL	3.437,59 €	6.544,39 €	1.486,01 €	4.592,81 €	4.239,14 €	7.345,93 €
PROMEDIO	4.010,95 €	7.464,66 €	1.973,14 €	5.426,85 €	5.015,26 €	8.468,98 €

Tabla 71: Costes fijos, variables y totales en los diferentes escenarios. Elaboración propia.

En filas constan los modelos de Mercedes-Benz: B 180, C 180, CLA 180 y de Volkswagen: Golf A4 Diésel, Golf A4 Gasolina, Golf A5 Diésel y Golf A5 Gasolina. Los vehículos se han seleccionado por cumplir los siguientes parámetros: son de gama media, de los segmentos C y D, con motores de 4 cilindros en línea menores a 2000 cm³ (entre 1395 y 1896 cm³). Además todos ellos cuentan con certificado ambiental para poder realizar así el estudio de impacto ambiental.

Se ha eliminado del análisis económico pero no del ambiental el Mercedes-Benz CLS 350 ya que al ser un vehículo del segmento E, con un motor V6 Diésel de 3000 cm³, hacía aumentar el promedio debido al mayor coste financiero y el elevado consumo de combustible.

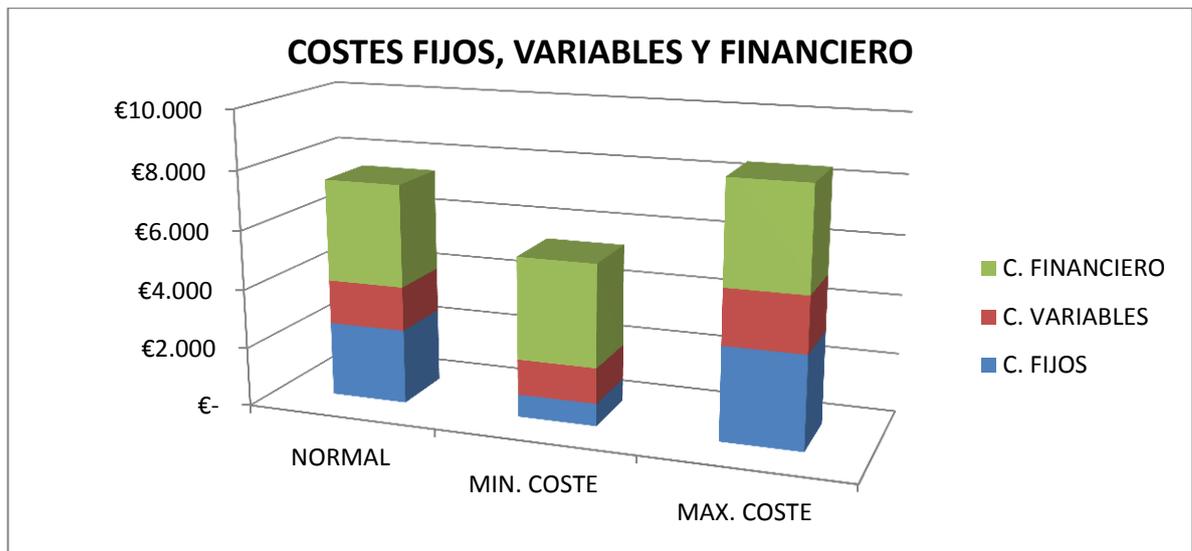


Figura 76: Costes fijos, variables y coste financiero en promedio en los diferentes escenarios. Elaboración propia.

La figura 76 se ha realizado utilizando los datos de la tabla 71, se observa que mientras en el escenario de mínimo y máximo coste, el coste total anual es de 5.426,85 €/año y 8.468,98 €/año respectivamente, en el escenario normal, que es el más probable, arroja un coste de 7.464,66 €/año.

8. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE COSTES DE LAS EMPRESAS DE CAR SHARING EN ESPAÑA

Para desarrollar este apartado se han seleccionado las tres empresas más representativas

8.1. Empresa Bluemove

La empresa Bluemove se fundó en noviembre de 2010 y actualmente opera en dos ciudades españolas: Madrid y Sevilla. La empresa tiene 20 trabajadores y cuenta con una flota de 220 vehículos y 11.000 usuarios. El servicio favorece la movilidad en las ciudades debido a que cada vehículo es compartido por varios usuarios a lo largo del día. Además favorece la reducción de espacio ocupado de aparcamiento en las calles, y disminuye la emisión de gases contaminantes ya que en vehículo privado se pierden hasta 75 horas al año buscando aparcamiento (Bluemove).

Además, la empresa también ofrece un servicio de larga distancia para viajes de más de 300 km y más de 2 días, para competir con las empresas de alquiler de vehículos convencionales.

A continuación se incluye la tabla con las distintas tarifas, dependiendo del tipo de modelo de vehículo, kilómetros recorridos y cuota de socio:

		TARIFA BIENVENIDA		TARIFA BLUE MENSUAL		TARIFA BLUE ANUAL		TARIFA BLUE ZERO	
		HORA	DIA	HORA	DIA	HORA	DIA	HORA	DIA
MODELO	ECONOMY	2 €	25 €	2 €	25 €	2,4 €	29 €	5,4 €	40 €
	ECONOMY COOL	2,5 €	30 €	2,5 €	30 €	2,9 €	34 €	5,8 €	45 €
	COMFORT	3 €	35 €	3 €	35 €	3,4 €	39 €	6,2 €	50 €
	COMFORT PLUS	5,3 €	45 €	5,3 €	45 €	5,7 €	50 €	7,2 €	60 €
KM RECORRIDOS	0 a 100 km	0,28 €		0,28 €		0,28 €		0,28 €	
	> 100 km	0,16 €		0,16 €		0,16 €		0,16 €	
CUOTA SOCIO ANUAL		0 € (6 meses)		60 € (5 €*12)		25 €		0 €	

Tabla 72: Tarifas de la empresa Bluemove. Fuente: (Bluemove)

La empresa ofrece tres tarifas diferentes: Mensual, Anual y Zero. La tarifa Zero no tiene cuota de socio pero el precio por uso es bastante mayor. Es la tarifa ideal para los usuarios ocasionales. Además ofrece una tarifa de Bienvenida, cuyos precios son los mismos que la tarifa mensual, pero con la diferencia de que no hay que pagar cuota de socio durante los 6 primeros meses, con objeto de atraer nuevos clientes.

Aparte de la cuota de socio, se paga por el uso del vehículo o bien por horas o bien por su uso durante un día entero (24 horas), habiendo 4 precios diferentes. Cada uno de estos precios da acceso a un conjunto de vehículos de gama diferente. Además se paga por los kilómetros recorridos en dos tramos, 0,28 €/km si el uso es menor a 100 km y 0,16€/km a partir de 100 km.

8.2. Empresa Respiro Car Sharing

La empresa Respiro Car Sharing se inició en marzo de 2010 en Madrid. Actualmente tiene una flota de más de 200 vehículos en los cuales sus socios han recorrido 13.288.147 kilómetros. Esto supone 3017 vehículos privados menos en circulación. En su página web afirman que mientras el coste mensual del vehículo privado es de 500 €, el coste medio de un coche compartido es de 80 €/mes.

Las tarifas son muy similares a la empresa Bluemove; se pueden elegir tres categorías distintas de vehículo. Cada una de estas categorías tiene un coste horario distinto. Además también tiene un coste

según los kilómetros recorridos. Por último también existe una cuota de socio anual para fidelizar a los clientes. La tabla de precios se expone a continuación:

		TARIFA BASIC		TARIFA START		TARIFA PLUS		TARIFA OCASIONAL	
		HORA	DIA	HORA	DIA	HORA	DIA	HORA	DIA
MODELO	VEHÍCULO ECO	2 €	25 €	3,5 €	35,1 €	2 €	25 €	5,55 €	40 €
	VEHÍCULO FLEX	3 €	31,1 €	4,5 €	45 €	3 €	35,1 €	7,1 €	50 €
	VEHÍCULO TRANS	5,95 €	45 €	7,15 €	50,75 €	6,65 €	46,15 €	9 €	59 €
KM RECORRIDOS	0 A 20 km	0,25 €		0 €		0 €		0,25 €	
	21 A 120 km	0,25 €		0,25 €		0,25 €		0,25 €	
	>120 km	0,20 €		0,13 €		0,16 €		0,20 €	
CUOTA SOCIO ANUAL		70 €		50 €		144 €		0 €	

Tabla 73: Tarifas de la empresa Respiro Car Sharing. Fuente: (Respiro Car Sharing)

8.3. Empresa Avancar

Avancar es la empresa de España más antigua de carsharing. Nació en Barcelona en 2005. Actualmente tiene 8000 socios y una flota de 120 vehículos. Opera tanto en Barcelona como en Madrid. Las tarifas de precios son similares a las demás empresas de Car sharing: El coste total se desglosa por una parte en las horas de uso del vehículo, y por otra parte según los kilómetros recorridos. También tiene una cuota de socio anual como coste fijo.

Para que los resultados de la comparativa de las tres empresas sean más objetivos, se han tomado las tarifas de Avancar de Madrid, ya que tanto Bluemove como Respiro Car Sharing, también operan en Madrid.

		TARIFA LIGHT		TARIFA SMART		TARIFA STAR	
		HORA	DIA	HORA	DIA	HORA	DIA
MODELO	LUNES A JUEVES	7 €	70 €	5 €	50 €	4 €	40 €
	VIERNES A DOMINGO	8 €	80 €	6 €	60 €	5 €	50 €
KM RECORRIDOS	0 A 80 km	0 €		0 €		0 €	
	> 80 km	0,25 €		0,25 €		0,25 €	
CUOTA SOCIO ANUAL		12 €		60 €		180 €	

Tabla 74: Tarifas de la empresa Avancar. Fuente: (Avancar)

8.4. Empresa Car2go

La empresa opera en Madrid desde noviembre de 2015, actualmente cuenta con 350 vehículos y antes de 2017 se espera ampliar a 500. A diferencia de las anteriores, la flota de vehículos está totalmente compuesta por eléctricos. Surgió inicialmente como una forma de llegar al trabajo compartiendo vehículos en Alemania con motores térmicos.

Dado que el coche eléctrico es ideal para su uso en las ciudades por su autonomía y bajas emisiones, esta empresa decidió utilizar una flota de vehículos Smart Fortwo eléctricos aprovechando los puntos de recarga existentes en las ciudades. En el caso de Madrid, al tener escasez de puntos de recarga, Car2go ha creado su propia red de puntos de recarga. El equipo técnico de la empresa se dedica a llevar los

coches a los puntos de recarga y una vez cargados redistribuirlos por la ciudad para evitar que haya zonas con demasiada concentración de vehículos y otras con ausencia de los mismos. Uno de los inconvenientes es que tras el uso, debe quedar el vehículo estacionado con más del 20% de la batería ya que de lo contrario el operario podría no llegar al punto de recarga más próximo, siendo sancionado por ello con los gastos de la grúa.



Figura 77: Vehículos Smart de la empresa Car2go en Madrid. Fuente: (el confidencial)

Debido a las grandes diferencias de esta empresa con las anteriores, no se incluirá en el análisis comparativo. Además la tabla de tarifas también tiene grandes diferencias. Debido a que no hay varios modelos a elegir el coste horario es fijo, y el coste es más alto.

		TARIFA ÚNICA	
		HORA	DIA
COSTE DE USO		11,4 €	59 €
KM RECORRIDOS	0 A 50 km	0 €	
	>50 km	0,19 €	
CUOTA SOCIO ANUAL		19 €	

Tabla 75: Tarifas de la empresa Car2go. Fuente: (Car2go)

8.5. Análisis de costes del uso de Car Sharing

Se estudiarán para cada una de las tres empresas de car sharing (Bluemove, Respiro Car Sharing y Avancar) los costes en los que se incurrirían en caso de contratar sus servicios, y se tratará de encontrar el coste mínimo posible para cada una de las tarifas. Para realizar esto se recurre a la programación matemática.

Normalmente el modelo matemático de optimización tiene tres partes:

- **Parámetros y variables de decisión:** Mientras que los parámetros son valores fijos conocidos del sistema, las variables de decisión son las incógnitas del modelo. Los valores que se les asigne a las variables de decisión determinan la solución. Las variables de decisión se representan por: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Los parámetros se representan por $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$.
- **Función objetivo:** La función objetivo es una ecuación matemática en la que en un lado de la igualdad se relacionan las variables de decisión y los parámetros, y al otro lado de la igualdad tenemos el objetivo que pretende maximizarse o minimizarse. Se representa por: $Z = c_1 * x_1 + c_2 * x_2 + c_3 * x_3 + \dots + c_n * x_n$
- **Restricciones:** Representadas por $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$. Limitan los valores máximos y mínimos que pueden alcanzar las variables de decisión. Si el modelo no tuviese restricciones no sería convergente. Todos los problemas tienen la restricción de no negatividad: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0$. Los coeficientes tecnológicos a_{ij} vienen asociados a las variables de decisión.

Las restricciones vienen definidas mediante ecuaciones:

$$a_{11} * x_1 + a_{12} * x_2 + \dots + a_{1n} * x_n \leq b_1$$

$$a_{21} * x_1 + a_{22} * x_2 + \dots + a_{2n} * x_n \leq b_2$$

$$a_{i1} * x_1 + a_{i2} * x_2 + \dots + a_{in} * x_n \leq b_n$$

8.6. Consideraciones previas

VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN

Dado que el coste depende en gran medida del número de horas de uso que se le dé al vehículo, es preciso realizar una estimación de la velocidad de circulación real. Esta velocidad se estudia tanto en vías urbanas como en vías interurbanas (carreteras y autopistas). La velocidad en vías interurbanas se obtiene promediando los datos del Informe Anual 2014: Los Transportes y las Infraestructuras de la Dirección General de Tráfico.

CARRETERAS CONVENCIONALES Y DOBLE CALZADA						
AÑOS	<50 km/h	51 a 80	81 a 100	101 a 120	121 a 140	>140
2002	25,55%	25,55%	31,33%	12,31%	3,82%	1,43%
2003	26,24%	26,24%	30,17%	3,70%	3,70%	1,31%
2004	27,98%	27,98%	28,82%	3,21%	3,21%	0,80%
2005	26,53%	26,53%	30,21%	3,62%	3,62%	0,28%
2006	20,11%	40,80%	27,09%	2,09%	2,09%	0,59%
2007	13,57%	43,64%	30,33%	2,06%	2,06%	0,45%
2008	11,80%	52,40%	26,26%	1,78%	1,78%	0,41%
2009	7,40%	48,49%	31,88%	1,98%	1,98%	0,33%
2010	7,96%	49,13%	30,61%	2,48%	2,48%	0,44%
2011	8,48%	47,67%	31,54%	2,18%	2,18%	0,57%
2012	7,29%	45,38%	32,09%	3,26%	3,26%	0,45%
2013	8,60%	50,61%	29,64%	2,14%	2,14%	0,40%
2014	8,90%	48,61%	30,70%	2,15%	2,15%	0,37%
% PROMEDIO 2002-2014	15,42%	41,00%	30,05%	3,30%	2,65%	0,60%
VELOCIDAD PROMEDIO CARRETERA CONVENCIONAL (km/h)						69,72

Tabla 76: Distribución de velocidades de vehículos ligeros 2002-2014 en carreteras convencionales. Fuente: (DGT)

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Como se aprecia en las tablas, la velocidad promedio en las carreteras convencionales es de 69,72 km/h, mientras que en autovía, es de 100,37 km/h.

AUTOVÍAS						
AÑOS	<50 km/h	51 a 80	81 a 100	101 a 120	121 a 140	>140
2002	7,69%	7,69%	24,95%	30,97%	20,08%	8,61%
2003	10,69%	10,69%	22,52%	28,09%	18,90%	9,09%
2004	13,07%	13,07%	18,97%	27,79%	19,10%	6,06%
2005	9,95%	9,95%	21,66%	31,27%	20,08%	6,09%
2006	15,91%	9,98%	24,52%	29,97%	15,81%	3,87%
2007	10,27%	9,97%	25,89%	33,25%	16,99%	3,61%
2008	2,65%	11,85%	31,72%	34,86%	16,02%	2,90%
2009	2,66%	12,84%	33,59%	35,20%	13,55%	2,16%
2010	1,98%	10,50%	33,56%	36,88%	14,71%	2,37%
2011	1,65%	10,34%	36,90%	37,80%	11,67%	1,69%
2012	1,81%	9,05%	35,46%	38,28%	13,52%	1,88%
2013	1,21%	9,78%	34,45%	37,91%	14,66%	1,98%
2014	1,44%	10,39%	33,94%	37,51%	14,75%	1,97%
% PROMEDIO 2002-2014	6,23%	10,47%	29,09%	33,83%	16,14%	4,02%
VELOCIDAD PROMEDIO AUTOVÍA (km/h)						100,37

Tabla 77: Distribución de velocidades de vehículos ligeros 2002-2014 en autovías. Fuente: (DGT)

Para el cálculo de la velocidad en vías urbanas se han tomado los datos de la ciudad de Madrid como ejemplo representativo en el periodo 2004-2012, para promediar las velocidades en las distintas zonas.

	ENTRE 2º CINTURÓN Y M30	EN EL 2º CINTURÓN	EN EL 1º CINTURÓN	ENTRE 1º Y 2º CINTURÓN	INTERIOR 1º CINTURÓN
2004	22,93	21,45	20,52	17,52	9,33
2005	21,97	23,45	20,26	17,17	9,57
2006	22,27	23,59	18,94	17,12	9,79
2007	23,7	24,2	19,39	17,54	10,09
2008	24,43	23,94	19,77	17,88	10,19
2009	24,53	23,87	18,96	17,72	10,81
2010	24,5	23,41	19,18	17,76	11,18
2011	24,81	22,77	19,21	18,06	11,18
2012	24,4	22,27	18,97	18,03	11,32
PROMEDIO 2004-2012	23,73	23,22	19,47	17,64	10,38
VELOCIDAD PROMEDIO EN CIUDAD (km/h)					18,89

Tabla 78: Distribución de velocidades en distintas zonas de Madrid, periodo 2004-2012. Fuente: (6º Informe del Estado de la Movilidad de la ciudad de Madrid, 2013)

Aunque la velocidad pueda parecer baja, se debe a que incluye las paradas en semáforos y retenciones de tráfico durante el trayecto. Se ha considerado zona urbana hasta la circunvalación de la M 30 aunque tiene características de autopista debido a la limitación de velocidad y la gran intensidad de tráfico diario que soporta.



Figura 78: Velocidad media del tráfico en Madrid en el año 2005. Fuente: (20minutos, 2006)

Por lo tanto, la velocidad media global es la siguiente:

VELOCIDAD MEDIA GLOBAL (km/h)		
Ciudad	Carretera	Autopista
18,89	69,72	100,37

Tabla 79: Velocidad media global en Ciudad, Carretera y Autopista. Elaboración propia.

Una vez obtenida la velocidad media global de vías urbanas, carreteras y autopistas, se ha estimado el porcentaje que un usuario típico permanece en cada uno de los tipos de vía según la distancia recorrida en el trayecto. Para ello se ha empleado como dato el número de viajes entre coronas en modos mecanizados de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad 2004 en la Comunidad de Madrid.

	EDM04	
Movilidad mecanizada	10.000.317	100,00%
Almendra central-Almendra central	1.081.993	10,82%
Almendra central-Periferia urbana	1.958.384	19,58%
Almendra central-Corona metropolitana	901.609	9,02%
Almendra central-Corona regional	90.401	0,90%
Almendra central-Exterior	9.128	0,09%
Total	4.041.515	40,41%
Periferia urbana-Periferia urbana	1.815.667	18,16%
Periferia urbana-Corona metropolitana	1.141.120	11,41%
Periferia urbana-Corona regional	87.520	0,88%
Periferia urbana-Exterior	19.219	0,19%
Total	3.063.525	30,63%
Corona metropolitana-Corona metropolitana	2.337.700	23,38%
Corona metropolitana-Corona regional	216.885	2,17%
Corona metropolitana-Exterior	47.296	0,47%
Total	2.601.881	26,02%
Corona regional-Corona regional	277.202	2,77%
Corona regional-Exterior	14.355	0,14%
Total	291.557	2,92%
Exterior-Exterior	1.839	0,02%

Figura 79: Número de viajes entre coronas en medios mecanizados. Fuente: (EDM 04, 2004)

En primer lugar se elabora una matriz origen-destino con los datos de la figura anterior para ordenar la información de la que se dispone:

	Periferia urbana	Almendra central	Corona metropolitana	Corona regional	Exterior
Periferia urbana	1815667				
Almendra central	1958384	1081993			
Corona metropolitana	1141120	901609	2337700		
Corona regional	87520	90401	216885	277202	
Exterior	19219	9128	47296	14355	1839

Tabla 80: Matriz origen-destino entre coronas. Elaboración propia.

La diagonal de la matriz no es cero porque la longitud de los desplazamientos realizados dentro de una misma corona no es despreciable.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Se realiza una estimación de los kilómetros recorridos entre zonas, codificándose por colores según el tipo de vía por el que transcurre la mayor parte del viaje:

	Periferia urbana	Almendra central	Corona metropolitana	Corona regional	Exterior
Periferia urbana	20				
Almendra central	60	40			
Corona metropolitana	100	80	120		
Corona regional	180	80	90	130	
Exterior	50	80	110	120	140

	Ciudad
	Carretera
	Autopista

Tabla 81: Estimación de los kilómetros recorridos entre zonas. Elaboración propia.

A continuación, se ordena el número de viajes de la tabla 56, en función del tipo de vía y los kilómetros recorridos, para cada una de las tres empresas de car sharing:

	BLUEMOVE			
	ciudad	carretera	autopista	Total
0 a 100 km	5757653	307286	63490	6128429
>100 km	3478820	364722	28347	3871889
	RESPIRO CAR SHARING			
	ciudad	carretera	autopista	Total
0 a 20 km	1815667	0	0	1815667
21 a 120 km	5083106	307286	75643	5466035
> 120 km	2337700	364722	16194	2718616
	AVANCAR			
	ciudad	carretera	autopista	Total
0 a 80 km	4856044	90401	28347	4974792
>80 km	4380429	581607	63490	5025526

Tabla 82: Número de viajes según el tipo de vía utilizada y los kilómetros recorridos. Elaboración propia.

Como el dato que se está buscando es el porcentaje de viajes y no el número de viajes, se transforman en porcentaje sobre el total de cada fila:

	BLUEMOVE		
	ciudad	carretera	autopista
0 a 100 km	93,95%	5,01%	1,04%
>100 km	89,85%	9,42%	0,73%
	RESPIRO CAR SHARING		
	ciudad	carretera	autopista
0 a 20 km	100,00%	0,00%	0,00%
21 a 120 km	92,99%	5,62%	1,38%
> 120 km	85,99%	13,42%	0,60%
	AVANCAR		
	ciudad	carretera	autopista
0 a 80 km	97,61%	1,82%	0,57%
>80 km	87,16%	11,57%	1,26%

Tabla 83: Porcentaje de viajes según el tipo de vía utilizada y kilómetros recorridos. Elaboración propia.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Finalmente se obtiene una velocidad promedio ponderando las velocidades medias de Ciudad, Carretera y Autopista con el porcentaje del número de viajes en cada caso.

BLUEMOVE		RESPIRO CAR SHARING		AVANCAR	
0 a 100 km	22,28 km/h	0 a 20 km	18,89 km/h	0 a 80 km	20,28 km/h
>100 km	24,27 km/h	21 a 120 km	22,88 km/h	>80 km	25,80 km/h
		> 120 km	26,19 km/h		

Tabla 84: Velocidad promedio en función de la longitud del trayecto a realizar. Elaboración propia.

Se observa que cuando la distancia a recorrer es mayor, como es lógico aumenta la velocidad media debido a que se realiza una mayor parte del recorrido en carretera y autopista, mientras que en recorridos cortos como por ejemplo en ciudad, la velocidad media disminuye.

LONGITUD RECORRIDA POR TIPO DE VÍA:

Por otra parte se ha obtenido la longitud total recorrida en España por tipo de vía en el año 2014, de la publicación “*Los transportes y las infraestructuras. Informe anual 2014*” de la Dirección General de Tráfico:

LONGITUD RECORRIDA (10 ⁶ km)		
autopista peaje	interurbano	8044
	periurbano	3780,4
autopista	interurbano	25233,3
	periurbano	33559,5
doble calzada	interurbano	937,3
	periurbano	3106,9
convencional	interurbano	11279
	periurbano	5135

Tabla 85: Longitud total recorrida por tipo de vía. Fuente: (DGT)

A continuación, utilizando los datos anteriores se crea una tabla sumando las distintas longitudes y clasificándolas en *Urbano*, *Carretera* y *Autopista*. Los valores porcentuales se utilizarán posteriormente como restricciones para resolver el problema. Es decir, las soluciones no pueden exceder alguno de estos valores.

	Urbano	Carretera	Autopista
Total (10 ⁶ km)	45581,8	33277,3	12216,3
Porcentaje	50,0%	36,5%	13,4%

Tabla 86: Longitud recorrida porcentual según tipo de vía: Urbano, Carretera y Autopista. Elaboración propia.

8.7.Método de cálculo

Como se ha comentado anteriormente, el coste del servicio de las empresas de car sharing queda determinado por la suma de tres factores: El coste horario, el coste por kilometraje, y la cuota de socio. Lo que se pretende es minimizar el coste total para el usuario.

- **Coste horario:** En el numerador aparece la tarifa seleccionada por el cliente. Por ejemplo, para la empresa Bluemove la tarifa depende por una parte de si el contrato es Mensual, Anual o Zero (sin cuota de socio). Además depende de la clase de vehículos a los que se puede acceder: Eco, Cool, Comfort o Plus. Para simplificar la tabla 87 se ha promediado el coste ya que depende de si la reserva se realiza por horas o para un día entero (24 horas). Se estima que la utilización del vehículo durante una reserva de un día entero es de 10 horas.

BLUEMOVE				RESPIRO					AVANCAR			
€/h	MENSUAL	ANUAL	ZERO	€/h	BASIC	START	PLUS	OCASIONAL	€/h	LIGHT	SMART	STAR
ECO	2,25	2,65	4,70	ECO	2,25	3,51	2,25	4,78	L-J	7,00	5,00	4,00
COOL	2,75	3,15	5,15	FLEX	3,06	6,05	3,26	6,05	V-D	8,00	6,00	5,00
COMFORT	3,25	3,65	5,60	TRANS	5,23	6,11	5,63	7,45				
PLUS	4,90	5,35	6,60									

Tabla 87: Tarifa horaria promedio empresas Bluemove, Respiro y Avancar. Elaboración propia.

En el denominador tenemos el sumatorio de las velocidades promedio que se obtuvieron en la tabla 79, multiplicando por el porcentaje de los trayectos de una longitud dada. Estos porcentajes son incógnitas a resolver para que el coste sea mínimo.

$$Coste\ horario\ € = \frac{Tarifa\ promedio\ (€/hora)}{\% L_{i,j} * v_j\ (km/hora)} * 15.000\ km$$

Por ejemplo, para Bluemove el denominador está compuesto por:

$$(L_{0\ a\ 100\ km} * 37,2\ km/h + L_{>100\ km} * 50,44\ km/h)$$

Finalmente se multiplica por los kilómetros recorridos anualmente, tomándose el valor de 15.000 km/año+

- **Coste por kilometraje:** Depende de la tarifa seleccionada según Mensual, Anual o Zero y por otra parte el porcentaje de los trayectos de una longitud dada, que son las incógnitas desconocidas para cada escenario.

BLUEMOVE				RESPIRO					AVANCAR			
€/km	MENSUAL	ANUAL	ZERO	€/km	BASIC	START	PLUS	OCASIONAL	€/km	LIGHT	SMART	STAR
0 a 100	0,28	0,28	0,28	0 a 20	0,25	0	0	0,25	0 a 80	0	0	0
>100	0,16	0,16	0,16	21 a 120	0,25	0,25	0,25	0,25	>80	0,25	0,25	0,25
				> 120	0,2	0,13	0,16	0,2				

Tabla 88: Coste por kilometraje empresas Bluemove, Respiro y Avancar. Elaboración propia.

Por ejemplo, para la empresa Bluemove el coste por kilometraje, en caso de tarifa Mensual, queda:

$$Coste\ kilometraje\ € = (L_{0\ a\ 100\ km} * 0,28\ €/km + L_{>100\ km} * 0,16\ €/km) * 15.000\ km$$

- **Cuota de usuario:** Dependiendo de la tarifa seleccionada, la cuota es distinta.

BLUEMOVE				RESPIRO					AVANCAR			
€/año	MENSUAL	ANUAL	ZERO	€/año	BASIC	START	PLUS	OCASIONAL	€/año	LIGHT	SMART	STAR
CUOTA	60	25	0	CUOTA	70	50	144	0	CUOTA	12	60	180

Tabla 89: Cuota de usuario de las empresas Bluemove, Respiro y Avancar. Elaboración propia.

8.8. Empresa Bluemove

VARIABLES DE DECISIÓN:

$L_{i,j}$ = Porcentaje de trayectos según la gama seleccionada i , donde $i=\{ECO, COOL, COMFORT, PLUS\}$ y j es la longitud máxima del trayecto, donde $j=\{0 \text{ a } 100, > 100\}$

- Variables binarias: Únicamente pueden tomar el valor 0 ó el 1.

$Y_{ECO} = 1$ si se decide la gama ECO, 0 en caso contrario

$Y_{COOL} = 1$ si se decide la gama COOL, 0 en caso contrario

$Y_{COMFORT} = 1$ si se decide la gama COMFORT, 0 en caso contrario

$Y_{PLUS} = 1$ si se decide la gama PLUS, 0 en caso contrario

FUNCIÓN OBJETIVO:

Solamente una de las variables binarias tomará el valor 1. El resto de sumandos se anularán.

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } Z = & Y_{ECO} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{> 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \\ & + Y_{COOL} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{> 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \\ & + Y_{COMFORT} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{> 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \\ & + Y_{PLUS} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{> 100 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \end{aligned}$$

Donde:

$Ch_{i,k}$ = Coste horario de la gama i , tarifa k en €/h

$Ckm_{i,j}$ = Coste por kilómetro de la gama i , trayecto de longitud máxima j en €/km

Ca_k = Cuota anual de la tarifa k en €/año

RESTRICCIONES:

$Y_{ECO} + Y_{COOL} + Y_{COMFORT} + Y_{PLUS} = 1 \rightarrow$ Debe elegirse una sola de las gamas. El resto serán 0.

- Gama ECO:

$L_{ECO, 0 \text{ a } 100} \geq 0,25 \rightarrow$ Al menos el 25% de los desplazamientos en gama ECO es de 0 a 100 km

$L_{ECO, > 100} \geq 0,183 \rightarrow$ Al menos el 18,3% de los desplazamientos en gama ECO es > 100 km

$L_{ECO, 0 \text{ a } 100} + L_{ECO, > 100} = 1 \rightarrow$ El total de trayectos de la gama ECO suma el 100%

- Gama COOL:

$L_{COOL, 0 \text{ a } 100} \geq 0,25$

$L_{COOL, > 100} \geq 0,183$

$L_{COOL, 0 \text{ a } 100} + L_{COOL, > 100} = 1$

- Gama COMFORT:

$L_{COMFORT, 0 \text{ a } 100} \geq 0,25$

$L_{COMFORT, > 100} \geq 0,183$

$L_{COMFORT, 0 \text{ a } 100} + L_{COMFORT, > 100} = 1$

- Gama PLUS:

$L_{PLUS, 0 \text{ a } 100} \geq 0,25$

$L_{PLUS, > 100} \geq 0,183$

$L_{PLUS, 0 \text{ a } 100} + L_{PLUS, > 100} = 1$

RESULTADOS:

En la tabla siguiente tenemos los resultados según la tarifa elegida Mensual, Anual o Zero, y por otra parte la gama de vehículos que se hayan elegido: ECO, COOL, COMFORT o PLUS.

La primera fila indica el coste horario anual, la segunda fila indica el coste por kilometraje y la tercera fila la cuota de usuario. La última fila representa el coste total como suma de las tres anteriores.

MENSUAL				ANUAL				ZERO			
ECO	COOL	COMFORT	PLUS	ECO	COOL	COMFORT	PLUS	ECO	COOL	COMFORT	PLUS
1449,82	1734,90	2064,51	3137,06	1707,57	1987,24	2318,05	3425,30	3028,52	3248,99	3545,34	4213,00
3300,00	2850,00	2997,52	3163,61	3300,00	2850,00	2992,51	3164,53	3300,00	2850,00	2925,50	3101,16
60,00	60,00	60,00	60,00	25,00	25,00	25,00	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4809,82	4644,90	5122,03	6360,67	5032,57	4862,24	5335,57	6614,83	6328,52	6098,99	6470,84	7314,16

Tabla 90: Estimación del mínimo coste total de la empresa Bluemove. Elaboración propia.

Como se observa, tanto para la tarifa Mensual, como para la Anual y la Zero, la opción más económica en cada caso es elegir la opción COOL y no la ECO como parecería lógico. Esto es debido a las restricciones, ya que se ha considerado que al menos el 50% del tiempo en gama ECO ocurre en ciudad, es decir, trayectos de menos de 100 km, con un coste de 0,25 €/km mientras que para la gama COOL la restricción impone un mínimo del 25%, siendo el 75% restante realizado en trayectos mayores de 100 km, a un coste de 0,18 €/km.

Como la mayoría de los usuarios no realiza los trayectos optimizando el coste total mínimo a lo largo del año, se realiza un promedio con las mejores opciones de las tarifas Mensual, Anual y Zero, de esta manera se estima el coste total del servicio para dicha empresa, quedando en **5.202,04 €/año**.

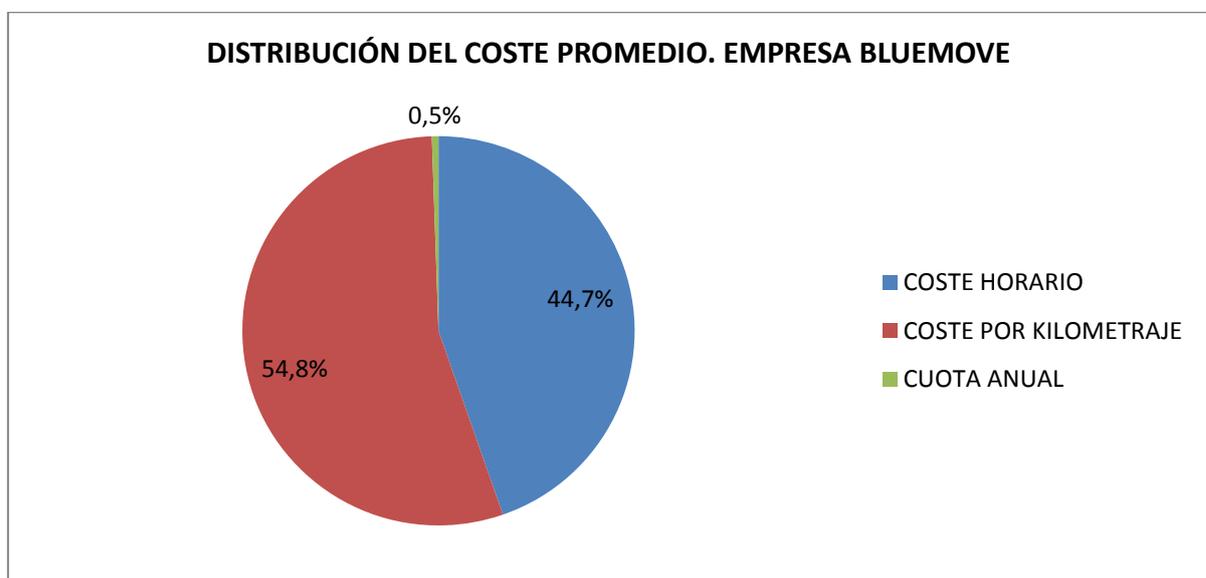


Figura 80: Distribución del coste promedio anual. Empresa Bluemove. Elaboración propia.

Se observa que más del 54% del coste anual medio se debe al coste por kilómetros recorridos mientras que la cuota anual de socio no representa ni el 1% del coste.

8.9. Empresa Respiro Car Sharing

VARIABLES DE DECISIÓN:

$L_{i,j}$ = Porcentaje de trayectos según la gama seleccionada i , donde $i=\{ECO, FLEX, TRANS\}$ y j es la longitud máxima del trayecto, donde $j=\{0 \text{ a } 20, 21 \text{ a } 120, > 120\}$

- Variables binarias: Únicamente pueden tomar el valor 0 ó el 1.

$Y_{ECO} = 1$ si se decide la gama ECO, 0 en caso contrario

$F_{FLEX} = 1$ si se decide la gama FLEX, 0 en caso contrario

$Y_{TRANS} = 1$ si se decide la gama TRANS, 0 en caso contrario

FUNCIÓN OBJETIVO:

Solamente una de las variables binarias tomará el valor 1. El resto de sumandos se anularán.

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } Z = & Y_{ECO} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 20 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{21 \text{ a } 120 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{> 120 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \\ & + Y_{FLEX} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 20 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{21 \text{ a } 120 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{> 120 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \\ & + Y_{TRANS} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 20 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{21 \text{ a } 120 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{> 120 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \end{aligned}$$

Donde:

$Ch_{i,k}$ = Coste horario de la gama i , tarifa k en €/h

$Ckm_{i,j}$ = Coste por kilómetro de la gama i , trayecto de longitud máxima j en €/km

Ca_k = Cuota anual de la tarifa k en €/año

RESTRICCIONES:

$Y_{ECO} + Y_{FLEX} + Y_{TRANS} = 1$ → Debe elegirse una sola de las tarifas.

- Gama ECO:

$L_{ECO, 0 \text{ a } 20} \geq 0,25$ → Al menos el 25% de los desplazamientos en gama ECO es de 0 a 20 km

$L_{ECO, 21 \text{ a } 120} \geq 0,183$ → Al menos el 18,3% de los desplazamientos en gama ECO es 21 a 120 km

$L_{ECO, >120} \geq 0,067$ → Al menos el 6,7% de los desplazamientos en gama ECO es > 120 km

$L_{ECO, 0 \text{ a } 20} + L_{ECO, 21 \text{ a } 120} + L_{ECO, >120} = 1$ → El total de trayectos de la gama ECO suma el 100%

- Gama FLEX:

$L_{COOL, 0 \text{ a } 20} \geq 0,25$

$L_{COOL, 21 \text{ a } 120} \geq 0,183$

$L_{COOL, >120} \geq 0,067$

$L_{COOL, 0 \text{ a } 20} + L_{COOL, 21 \text{ a } 120} + L_{COOL, >120} = 1$

- Gama COMFORT:

$L_{COMFORT, 0 \text{ a } 20} \geq 0,25$

$L_{COMFORT, 21 \text{ a } 120} \geq 0,183$

$L_{COMFORT, >120} \geq 0,067$

$L_{COMFORT, 0 \text{ a } 20} + L_{COMFORT, 21 \text{ a } 120} + L_{COMFORT, >120} = 1$

RESULTADOS:

En la empresa Respiro Car Sharing se pueden elegir 4 tarifas distintas: Basic, Start, Plus, y Ocasional.

La opción más económica en cada tarifa es elegir la gama ECO, marcadas en azul en la tabla 61. Sin embargo en este caso la diferencia de coste según la tarifa elegida es muy grande. Esto es debido al coste por kilometraje. Su desglose de costes se encuentra en la segunda fila de datos de la tabla.

Mientras que para la tarifa PLUS el coste por kilometraje es de 847,05 €/año porque el coste por kilómetro es **0 €/km** en trayectos de 0 a 20 km, para las tarifas BASIC y OCASIONAL es de 3512,25 €/año porque el coste por kilómetro en trayectos de 0 a 20 km es de **0,25 €/km**. En otras palabras, esta empresa incentiva los trayectos urbanos mientras que penaliza los trayectos realizados fuera del ámbito urbano, con el objetivo de que la rotación de su flota de vehículos sea la máxima posible.

BASIC			START			PLUS			OCASIONAL		
ECO	FLEX	TRANS	ECO	FLEX	TRANS	ECO	FLEX	TRANS	ECO	FLEX	TRANS
1538,65	1982,14	3375,71	2618,27	3918,93	4149,09	1678,38	2111,69	3842,36	3268,78	3918,93	4795,13
3512,25	3461,25	3442,55	816,90	2119,50	1474,11	847,05	2292,75	1586,61	3512,25	3461,25	3427,80
70,00	70,00	70,00	50,00	50,00	50,00	144,00	144,00	144,00	0,00	0,00	0,00
5120,90	5513,39	6888,26	3485,17	6088,43	5673,20	2669,43	4548,44	5572,97	6781,03	7380,18	8222,93

Tabla 91: Estimación del mínimo coste total de la empresa Respiro. Elaboración propia.

Promediando la mejor opción de cada tarifa: Basic, Start, Plus y Ocasional se estima el coste total del servicio de la empresa Respiro Car Sharing, obteniéndose **4514,13 €/año**.

En la figura de la distribución del coste vemos que el coste por kilometraje tiene ligeramente menos peso que la empresa Bluemove debido a los kilómetros realizados sin coste por ámbito urbano (menos de 20 km) a 0 €/km.

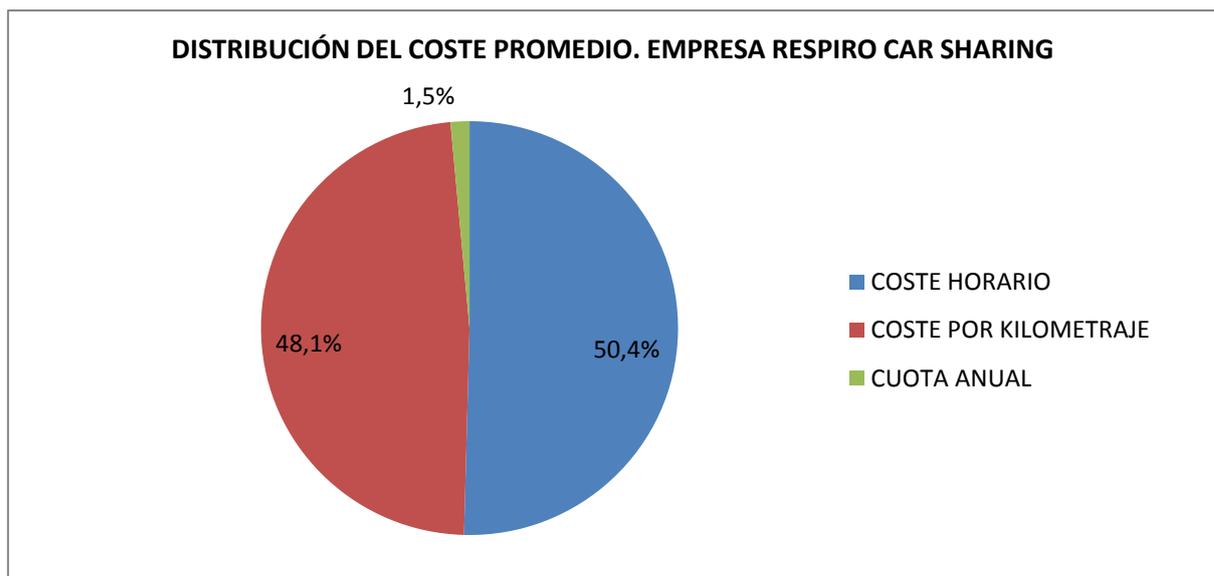


Figura 81: Distribución del coste promedio anual. Empresa Respiro Car Sharing. Elaboración propia.

8.10. Empresa Avancar

En este caso la empresa no tiene una gama de vehículos concreta sino que distingue si la reserva se realiza de Lunes a Jueves (entre semana), o de Viernes a Domingo (fin de semana).

VARIABLES DE DECISIÓN:

$L_{i,j}$ = Porcentaje de trayectos según el día seleccionado i , donde $i=\{L-J, V-D\}$. y j es la longitud máxima del trayecto, donde $j=\{0 \text{ a } 80, > 80\}$

- Variables binarias: Únicamente pueden tomar el valor 0 ó el 1.

Y_{L-J} = 1 si se decide reservar de L-J, 0 en caso contrario

Y_{V-D} = 1 si se decide reservar de V-D, 0 en caso contrario

FUNCIÓN OBJETIVO:

Solamente una de las variables binarias tomará el valor 1. El resto de sumandos se anularán.

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } Z = & Y_{L-J} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 80 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{>80 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \\ & + Y_{V-D} * \frac{Ch_{i,k}}{(L_{i,j} * v_j)} * 15.000 + (L_{0 \text{ a } 80 \text{ km}} * Ckm_{i,j} + L_{>80 \text{ km}} * Ckm_{i,j}) * 15.000 + Ca_k \end{aligned}$$

Donde:

$Ch_{i,k}$ = Coste horario de la gama i , tarifa k en €/h

$Ckm_{i,j}$ = Coste por kilómetro de la gama i , trayecto de longitud máxima j en €/km

Ca_k = Cuota anual de la tarifa k en €/año

RESTRICCIONES:

$Y_{L-J} + Y_{V-D} = 1 \rightarrow$ Debe elegirse una sola de las tarifas.

- Opción L-J:

$L_{L-J, 0 \text{ a } 80} \geq 0,25 \rightarrow$ Al menos el 25% de los desplazamientos opción L-J es de 0 a 80 km

$L_{L-J, >80} \geq 0,183 \rightarrow$ Al menos el 18,3% de los desplazamientos opción L-J es > 80 km

$L_{L-J, 0 \text{ a } 80} + L_{L-J, >80} = 1 \rightarrow$ El total de trayectos de la opción L-J suma el 100%

- Opción V-D:

$L_{V-D, 0 \text{ a } 80} \geq 0,25$

$L_{V-D, >80} \geq 0,183$

$L_{V-D, 0 \text{ a } 80} + L_{V-D, >80} = 1$

RESULTADOS:

En este caso no hay tanta desviación de coste según la tarifa elegida. Mientras que para la tarifa LIGHT y la tarifa SMART es mejor utilizar el vehículo entre semana, para la tarifa STAR es más económico utilizar el vehículo los fines de semana.

LIGHT		SMART		STAR	
L-J	V-D	L-J	V-D	L-J	V-D
4932,16	5382,56	3522,97	4036,92	2818,38	3364,10
686,25	1368,75	686,25	1368,75	686,25	1368,75
12	12	60	60	180	180
5630,41	6763,31	4269,22	5465,67	3684,63	4912,85

Tabla 92: Estimación del mínimo coste total de la empresa Avancar. Elaboración propia.

Por último, se promedia la mejor opción de cada tarifa para estimar el coste total del servicio de la empresa Avancar, siendo de **4937,49 €/año**.

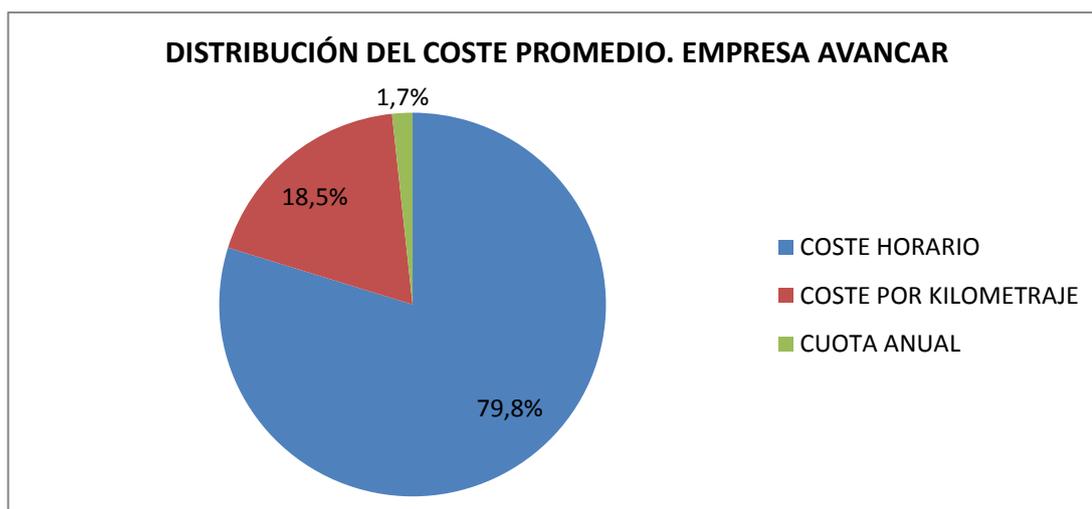


Figura 82: Distribución del coste promedio anual. Empresa Avancar. Elaboración propia.

En este caso, el coste horario es del 79,8% ya que sus tarifas horarias son mucho más costosas que en el resto de empresas, cuyo coste horario es aproximadamente del 50%.

8.11. Comparativa

El coste anual es bastante similar para las tres empresas ya que entre la opción más económica con 4514 €/año y la más costosa con 5200 €/año la diferencia es solamente un 15% mayor.

En cuanto a la estructura de costes, se observa en la tabla que:

- La cuota anual representa entre el 0,5% y el 1,7% del total cuya función parece ser la de fidelizar usuarios y hacer que la demanda de vehículo compartido no sea puntual.
- Mientras que para Bluemove y Respiro Car Sharing el coste debido al kilometraje es similar al coste horario, para la empresa Avancar es mucho más alto el coste horario.
- La empresa Respiro Car Sharing es la más económica con los cálculos realizados, pero esto se debe a las restricciones utilizadas. Si no se hubiese impuesto la restricción de que al menos el 36,5% de los desplazamientos se realizan en longitudes mayores a 80 km, Avancar habría sido la más económica porque no tiene ningún coste por kilometraje en el intervalo 0 a 80 km, a diferencia de las otras dos.

	BLUEMOVE	RESPIRO	AVANCAR
COSTE HORARIO	44,7%	50,4%	79,8%
COSTE POR KILOMETRAJE	54,8%	48,1%	18,5%
CUOTA ANUAL	0,5%	1,5%	1,7%
COSTE TOTAL	5202,04	4514,13	4937,49
	COSTE PROMEDIO:		4884,56

Tabla 93: Coste total anual estimado para las empresas de Car Sharing estudiadas. Elaboración propia.

9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE COSTES ECONÓMICOS

En este punto se calcula el coste económico total anual de disponer en propiedad un vehículo o bien de disponer un vehículo de uso compartido, en función de los kilómetros recorridos. Por último se realizará una comparativa de ambos para obtener a partir de qué kilometraje es más ventajosa la propiedad de un vehículo.

9.1. Costes económicos del vehículo privado

Los costes que no dependen de los kilómetros recorridos son: Por una parte el coste financiero debido a la compra del vehículo y por otra parte el coste fijo, ambos calculados previamente. Estos dos costes representan el coste de oportunidad de disponer de un vehículo en cualquier momento.

Como costes dependientes de los kilómetros recorridos, se tienen los costes variables. En el apartado 7.3 se expuso la fórmula de costes variables según la publicación de febrero de 2003 “el coste de su automóvil” de la OCU:

$$Cv = \frac{Cm * Pc * Km}{100} + Ra + \frac{N * 4 * Km}{d}$$

Donde Ra es el coste anual de las revisiones de mantenimiento. En la fórmula, las revisiones de mantenimiento no están asociadas a los kilómetros recorridos, porque se supone que anualmente se le dará cierto uso al vehículo. Aparece un envejecimiento prematuro en los vehículos si no se utilizan durante un periodo de tiempo largo. Los componentes que sufren un envejecimiento prematuro son, entre otros (caranddriver):

- **Neumáticos:** Pueden llegar a deformarse si el coche permanece estacionado en el mismo lugar mucho tiempo
- **Batería:** Se descarga con mayor rapidez al dejar de cargarse con el alternador del vehículo durante la marcha
- **Aire acondicionado:** Es conveniente hacerlo funcionar cada cierto tiempo ya que el aceite de dentro del circuito lubrica las juntas de estanqueidad y el compresor
- **Ejevalunas eléctricos:** La humedad puede oxidar los motores de los ejevalunas si no se utilizan
- **Motor:** La falta de lubricación puede dejar pegados los segmentos de los pistones
- **Circuito de refrigeración:** Los depósitos de cal pueden agarrotar el termostato y obstruir los conductos, así como la falta de utilización de la calefacción en algunos vehículos

Además aunque se realicen pocos kilómetros existen elementos que es necesario cambiar debido simplemente al paso del tiempo, como pueden ser:

- **Manguitos del circuito de refrigeración:** pierden flexibilidad con el paso del tiempo y aparecen fugas y/o poros por los que se pierde el líquido.
- **Líquido de frenos:** Al ser hidrófilo, capta la humedad del ambiente y pierde sus propiedades como la temperatura de ebullición y viscosidad. Además del fenómeno del fading, que se produce cuando el líquido entra en ebullición, también es peligroso un cambio en la viscosidad del mismo porque altera el funcionamiento de las electroválvulas del sistema ABS.
- **Aceite de motor:** También pierde propiedades con el paso del tiempo además de los kilómetros realizados y es conveniente cambiarlo.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Todo ello justifica que para el cálculo de las revisiones de mantenimiento se haya calculado el coste total de todas las revisiones durante la vida del vehículo para cada modelo por separado y se haya dividido por los años de vida del vehículo para obtener un dato de coste anual debido a este concepto.

Una vez realizados los cálculos pertinentes, se obtiene la tabla 94 donde aparece el coste total para cada modelo según los kilómetros realizados, desde 0 km al año, hasta 50.000 km/año.

	0 km	5000 km	10000 km	15000 km	20000 km	25000 km	30000 km	35000 km	40000 km	45000 km	50000 km
B 180	7150,85	7578,87	8006,88	8434,89	8862,91	9290,92	9718,93	10146,95	10574,96	11002,97	11430,99
C 180	7472,89	7860,97	8249,06	8637,14	9025,22	9413,31	9801,39	10189,47	10577,56	10965,64	11353,72
CLA 180	7206,41	7627,77	8049,13	8470,49	8891,85	9313,20	9734,56	10155,92	10577,28	10998,64	11420,00
A4 OTTO	4736,16	5208,75	5681,33	6153,92	6626,51	7099,09	7571,68	8044,27	8516,85	8989,44	9462,03
A4 DIESEL	5563,66	5951,88	6340,09	6728,31	7116,53	7504,74	7892,96	8281,18	8669,39	9057,61	9445,83
A5 OTTO	6125,28	6511,35	6897,42	7283,49	7669,57	8055,64	8441,71	8827,78	9213,85	9599,92	9986,00
A5 DIESEL	5770,97	6028,77	6286,58	6544,39	6802,19	7060,00	7317,81	7575,61	7833,42	8091,23	8349,03
PROMEDIO	6289,46	6681,19	7072,93	7464,66	7856,40	8248,13	8639,86	9031,60	9423,33	9815,06	10206,80

Tabla 94: Coste total del vehículo privado en función de los kilómetros realizados y modelo del vehículo. Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura, la ordenada en el origen no es nula, sino que tiene un coste entre 4.736 € y 7.473 €, esta variación depende sobre todo del precio del vehículo. Por otra parte, las líneas son casi paralelas por tener unos costes variables muy similares, aunque con la clara excepción del A5 Diésel, debido al bajo consumo de combustible. Mientras todos los demás vehículos tienen un consumo medio de combustible de entre 5 L/100 km (modelo Mercedes-Benz C180) hasta 6,40 L/100 km (modelo VW A4 Otto), el modelo de Volkswagen A5 Diésel tiene un consumo medio de 3, 4 L/100 km.

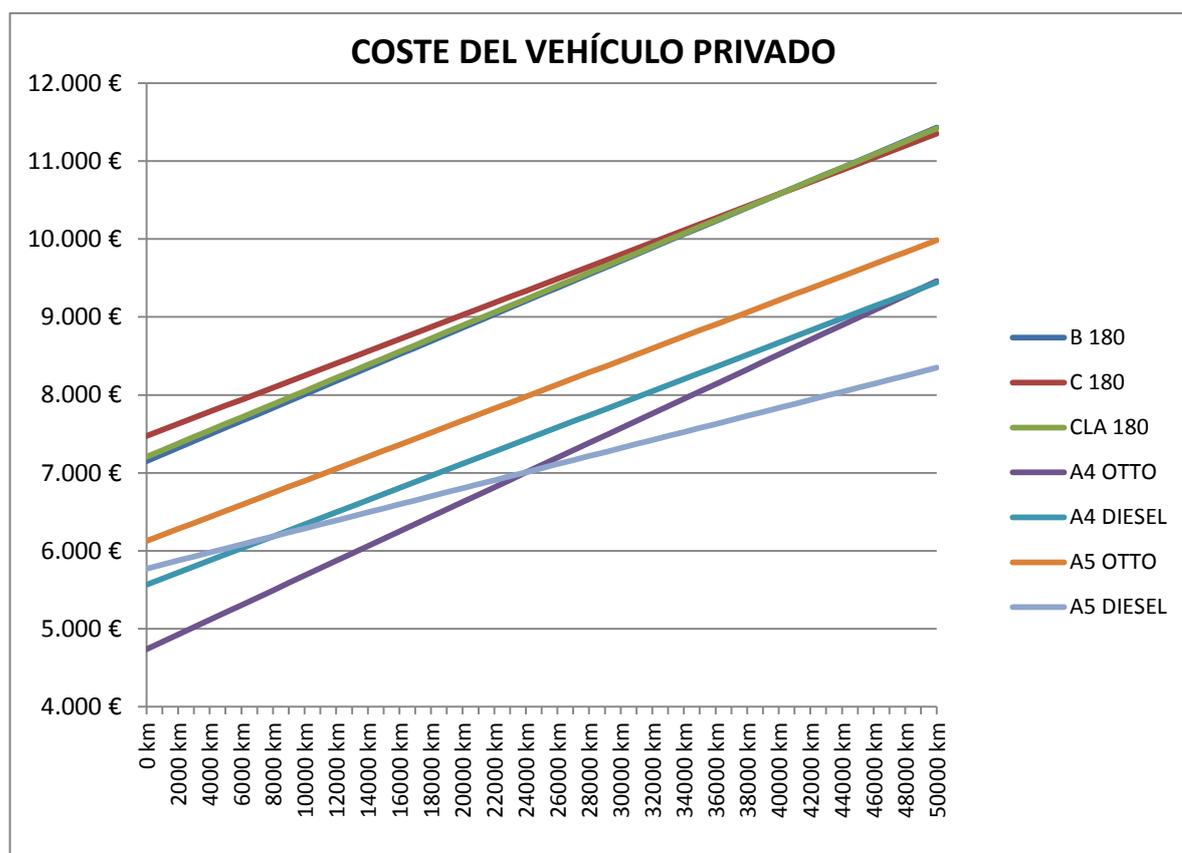


Figura 83: Coste total del vehículo privado en función de los kilómetros realizados y modelo del vehículo. Elaboración propia.

Por último se realiza un promedio entre todos los modelos para poder comparar el coste del vehículo privado con el del vehículo compartido:

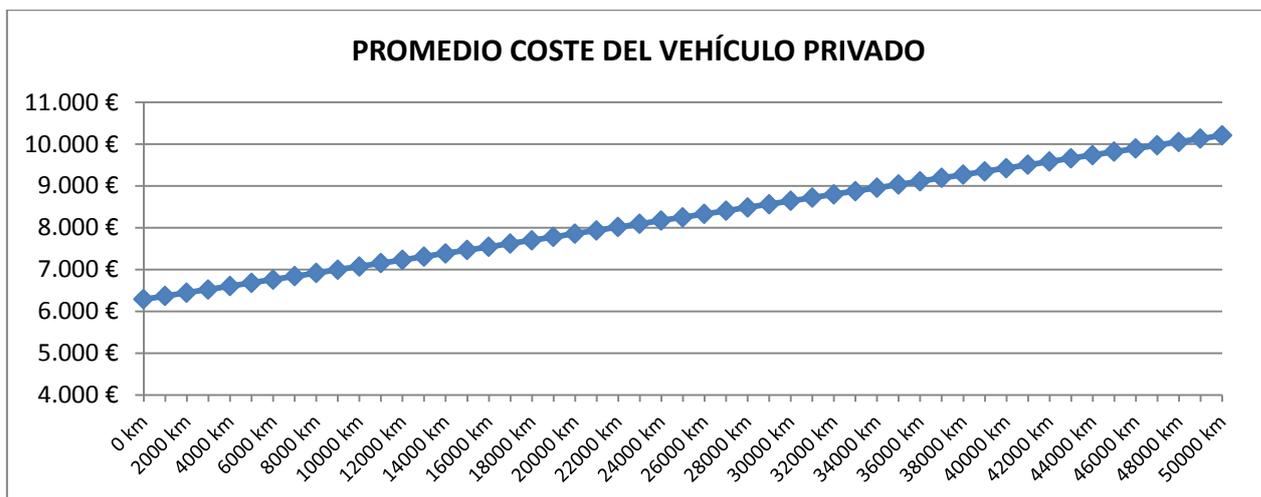


Figura 84: Promedio del coste total en vehículo privado según los km recorridos. Elaboración propia.

Es llamativo el hecho de que en promedio, el coste de un vehículo en propiedad sea de 6.000 €/año, aunque no se realice ni un solo kilómetro con el mismo.

9.2. Costes económicos de car sharing

En el uso compartido de vehículo intervienen tres parámetros:

- **Cuota de Socio:** Es un valor casi simbólico ya que el coste es muy inferior a los otros dos (menos del 2% del total) y cuyo fin es el de mantener un determinado número de miembros activos en la utilización del servicio.
- **Coste horario:** Depende de la tarifa escogida y de la gama de vehículos seleccionada, de manera que si se opta por modelos de gama superior el coste horario será mayor.
- **Coste por kilómetro recorrido:** Este coste intenta incentivar el uso urbano del vehículo en algunos casos con un coste nulo hasta cierto kilometraje, de forma que realizar un viaje largo sería antieconómico. Así los vehículos tienen mayor rotación entre los usuarios. Los tramos de coste son:
 - **Bluemove:** 0 a 100 km / > 100 km
 - **Respiro:** 0 a 20 km / 21 a 120 km / > 120 km
 - **Avancar:** 0 a 80 km / > 80 km

Para realizar los cálculos se han escogido las tarifas y gamas de vehículos de mínimo coste que se calcularon en el punto 8:

- Bluemove: Tarifa *Mensual*, Gama de vehículos *Economy Cool*
- Respiro: Tarifa *Plus*, Gama de vehículos *Eco*
- Avancar: Tarifa *Smart*, Gama de vehículos *lunes a jueves*

Los costes de las tarifas y gama de vehículos seleccionados se representan en la tabla 95:

	CUOTA ANUAL	COSTE HORARIO	COSTE POR KM	
BLUEMOVE	60 €/año	2,75 €/h	0,28 €/km	0 a 100 km
			0,16 €/km	> 100 km
RESPIRO	144 €/año	2,25 €/h	0 €/km	0 a 20 km
			0,25 €/km	21 a 120 km
			0,16 €/km	> 120 km
AVANCAR	60 €/año	5 €/h	0 €/km	0 a 80 km
			0,25 €/km	> 80 km

Tabla 95: Coste horario, coste por kilómetro y cuota anual por tarifas y gama de vehículos seleccionadas. Elaboración propia.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Finalmente con las consideraciones que se realizaron en el punto 8 sobre la velocidad media en ciudad y en ámbito interurbano, se obtiene la tabla 96 donde se muestran los costes desglosados y en total para cada una de las tres empresas en función de los kilómetros recorridos:

		0 km	5000 km	10000 km	15000 km	20000 km	25000 km	30000 km	35000 km	40000 km	45000 km	50000 km
BLUEMOVE	CUOTA	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	COSTE HORARIO	0,00	578,30	1156,60	1734,90	2313,19	2891,49	3469,79	4048,09	4626,39	5204,69	5782,99
	COSTE POR KM	0,00	950,00	1900,00	2850,00	3800,00	4750,00	5700,00	6650,00	7600,00	8550,00	9500,00
	COSTE TOTAL	60,00	1588,30	3116,60	4644,90	6173,19	7701,49	9229,79	10758,09	12286,39	13814,69	15342,99
RESPIRO	CUOTA	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	COSTE HORARIO	0,00	512,88	1025,77	1538,65	2051,53	2564,42	3077,30	3590,18	4103,07	4615,95	5128,83
	COSTE POR KM	0,00	482,35	964,70	1447,05	1929,40	2411,75	2894,10	3376,45	3858,80	4341,15	4823,50
	COSTE TOTAL	144,00	1139,23	2134,47	3129,70	4124,93	5120,17	6115,40	7110,63	8105,87	9101,10	10096,33
AVANCAR	CUOTA	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
	COSTE HORARIO	0,00	1174,32	2348,65	3522,97	4697,29	5871,62	7045,94	8220,27	9394,59	10568,91	11743,24
	COSTE POR KM	0,00	228,75	457,50	686,25	915,00	1143,75	1372,50	1601,25	1830,00	2058,75	2287,50
	COSTE TOTAL	60,00	1463,07	2866,15	4269,22	5672,29	7075,37	8478,44	9881,52	11284,59	12687,66	14090,74
PROMEDIO		88,00	1396,87	2705,74	4014,61	5323,47	6632,34	7941,21	9250,08	10558,95	11867,82	13176,68

Tabla 96: Costes totales de las empresas estudiadas en función de los kilómetros recorridos. Elaboración propia.

A continuación se representa gráficamente el coste total de cada empresa en función de los kilómetros anuales recorridos:

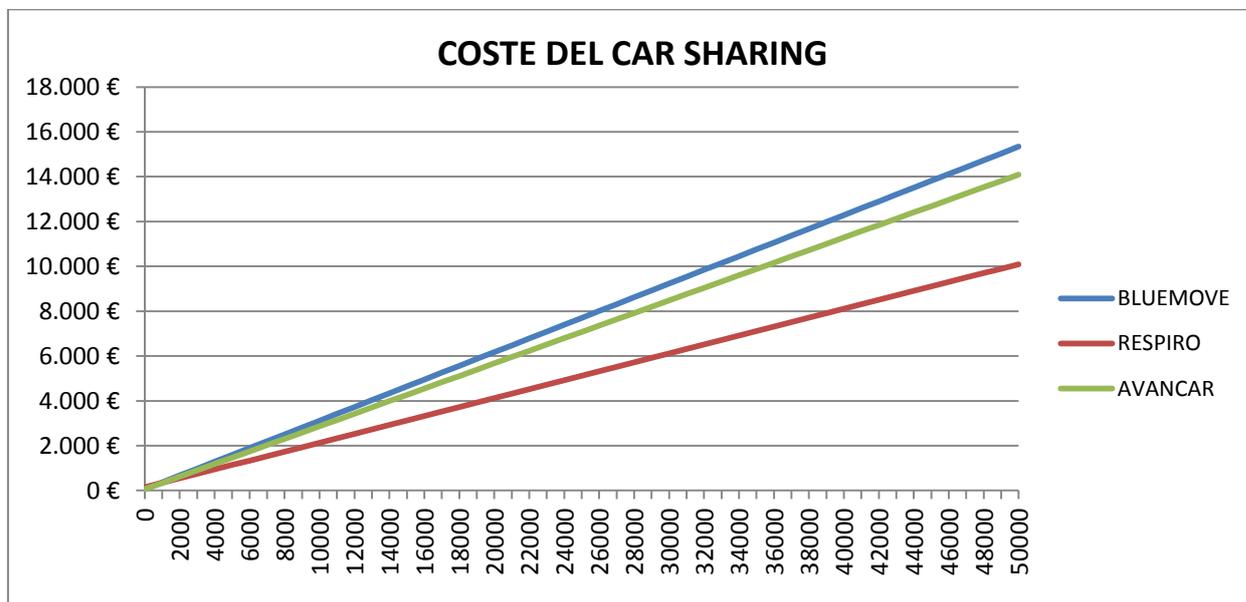


Figura 85: Coste total en función de los kilómetros recorridos: Bluemove, Respiro, Avancar. Elaboración propia.

Se observa que para los vehículos de uso compartido, el coste es casi nulo cuando no se realizan kilómetros con el vehículo. Únicamente se pagaría en este caso teórico la cuota de socio. Por otra parte las rectas tienen mayor pendiente que en el caso de vehículo privado.

En el caso de la empresa Respiro car sharing, el coste total por kilómetro es menor. A pesar de tener una cuota de socio ligeramente mayor, la suma de coste por kilómetro y coste horario es menor que en las otras dos empresas. En cualquier caso se promedian los valores de las tres opciones con el fin de obtener una sola recta apropiada para realizar la comparativa.

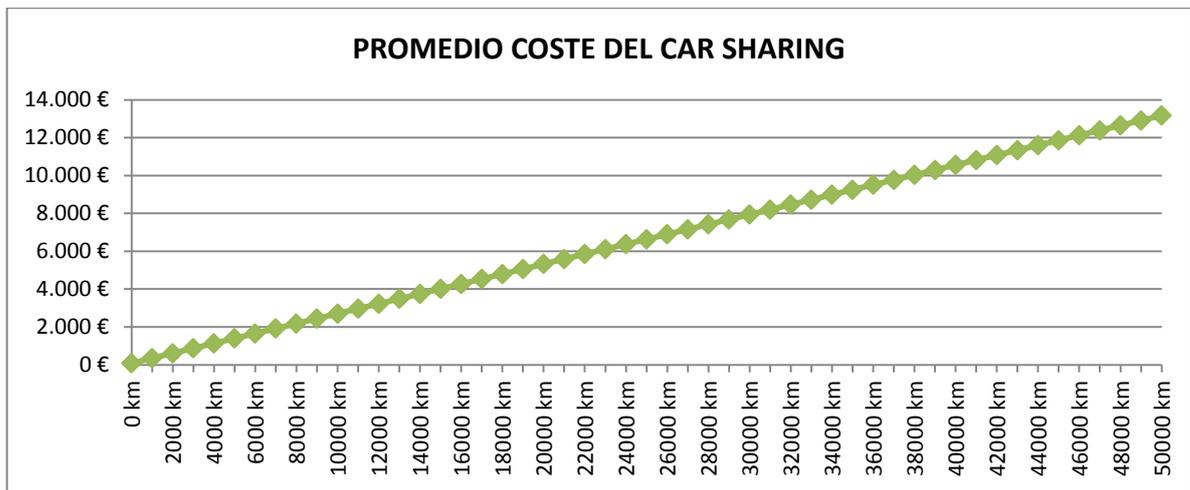


Figura 86: Promedio del coste total en uso compartido del vehículo según los km recorridos. Elaboración propia.

A continuación se comparan ambas rectas para saber qué opción es más económica según los kilómetros anuales que se recorran.

9.3.Comparativa: vehículo privado vs vehículo compartido

Se aprecia a simple vista el punto de corte entre ambas rectas que representa el kilometraje anual para el que sería indiferente económicamente la opción del vehículo privado o del car sharing. Las rectas se cortan a los 34.000 km aproximadamente:

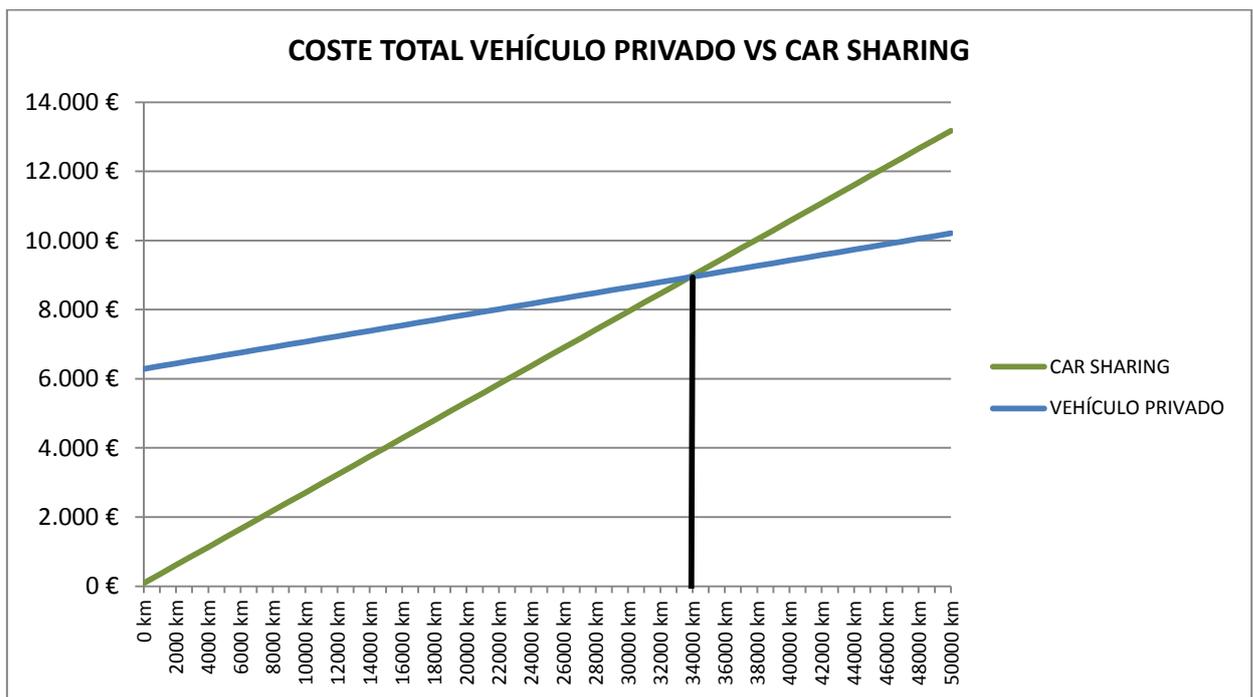


Figura 87: Comparativa del coste total vehículo privado vs car sharing. Elaboración propia.

Utilizando la ecuación de una recta, calculamos la recta en el caso de car sharing y en el caso del vehículo privado:

$$\frac{y - y_1}{x - x_1} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

En el caso de car sharing, tomamos dos puntos:

Punto 1	X ₁ =0 km	Y ₁ =88,00 €
Punto 2	X ₂ 15.000 km	Y ₂ =4014,61 €

Sustituyendo los puntos en la ecuación:

$$y - 88,00 = \frac{4.014,61 - 88}{15.000 - 0} * (x - 0)$$

Nos queda la ecuación de la recta de coste de car sharing:

$$y = 88 + 0,26178 * x$$

En el caso de vehículo privado, tomamos también dos puntos:

Punto 1	X ₁ =0 km	Y ₁ =6.289,46 €
Punto 2	X ₂ 15.000 km	Y ₂ =7.464,66 €

Sustituyendo, nos queda la ecuación de la recta de coste de vehículo privado:

$$y = 6.289,46 + 0,07835 * x$$

Igualando ambas ecuaciones se obtiene con exactitud los kilómetros para los que se produce la indiferencia entre una opción u otra:

$$88 + 0,26178 * x = 6.289,46 + 0,07835 * x$$

$$x = 33.808,81 \text{ km}$$

Sustituyendo este valor en una de las dos ecuaciones se obtiene el coste anual en dicho punto:

$$y = 6.289,46 + 0,07835 * 33.808,81 = 8.938,27 \text{ €/año}$$

9.3.1. Coste vehículo privado sin coste financiero respecto car sharing

Se representa gráficamente cuál sería el coste del vehículo privado respecto del car sharing en el hipotético caso en el que no exista coste financiero. Se observa que como se ha eliminado un coste que no depende de los kilómetros realizados, la recta se desplaza paralelamente hacia abajo respecto de la original, por lo que el punto de corte de las rectas es menor, pasando de los 34.000 km/año a los 15.000 km/año aproximadamente. Este caso podría asemejarse al de la compra de un vehículo de segunda mano de mucha antigüedad, donde el coste financiero es casi despreciable.

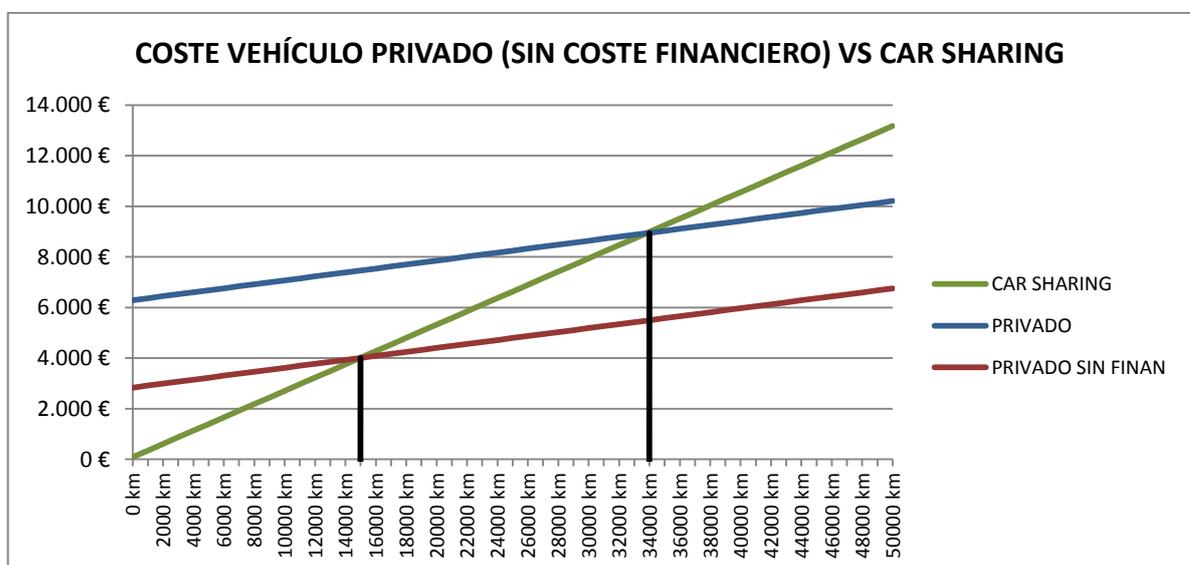


Figura 88: Coste del vehículo privado (sin coste financiero) respecto del car sharing. Elaboración propia.

9.3.2. Coste máximo del vehículo privado respecto car sharing

En el caso de suponer el máximo coste posible como se vio en la figura 75, aumentan los costes fijos (seguro y autolavado) que desplazan paralelamente hacia arriba la recta, pero también aumentan los costes variables (menor duración de los neumáticos y mayor consumo de combustible). El aumento de costes variables hace aumentar la pendiente de la recta. La representación gráfica se muestra en la figura 89:

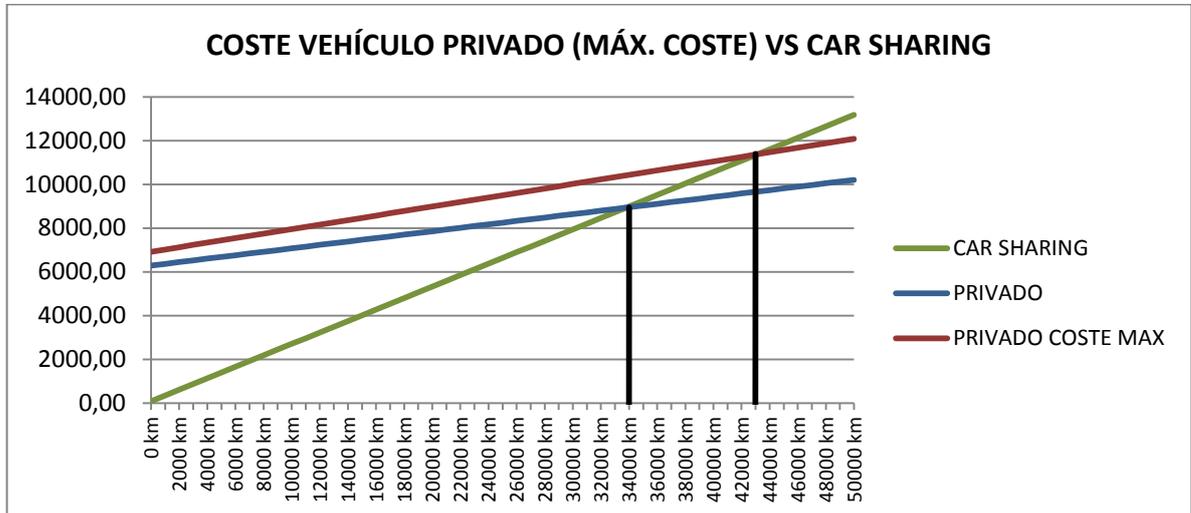


Figura 89: Coste del vehículo privado (con coste máximo) respecto del car sharing. Elaboración propia.

En este caso el punto de equilibrio aumenta de 34.000 km/año a 43.000 km/año.

9.3.3. Coste mínimo del vehículo privado respecto car sharing

En este caso la recta también se modifica paralelamente hacia abajo por la disminución de costes fijos (sin alquiler de plaza de garaje ni coste de autolavado). También disminuye muy ligeramente la pendiente de la recta porque disminuyen los costes variables (mayor duración de neumáticos y menor coste de las revisiones de mantenimiento). Aunque gráficamente es inapreciable ya que las consideraciones establecidas apenas afectan la pendiente de la nueva recta.

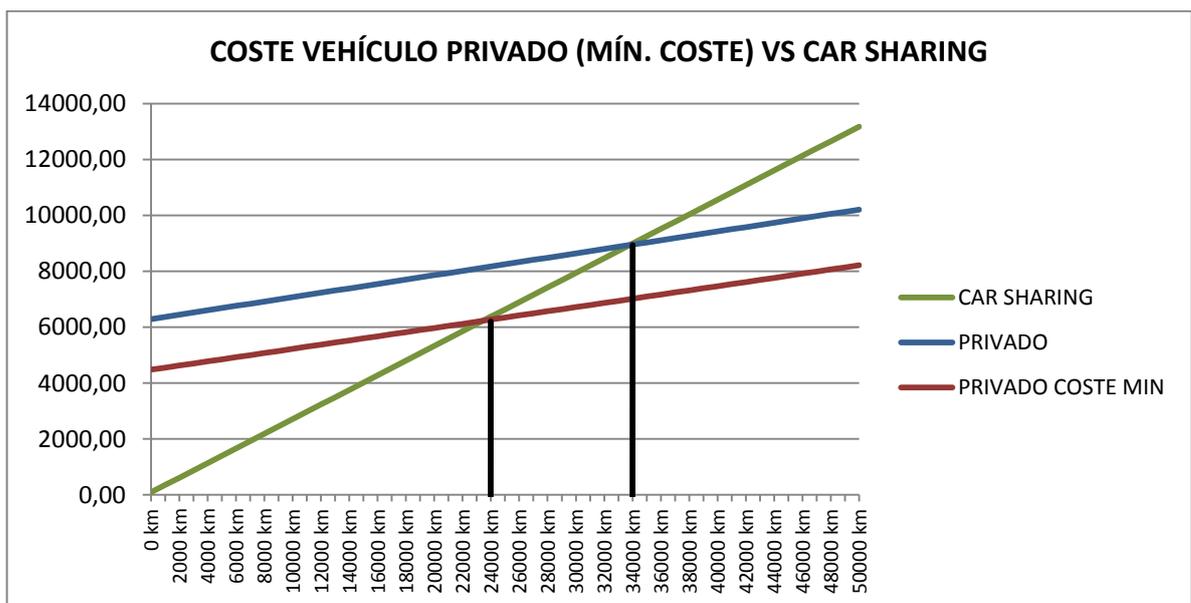


Figura 90: Coste del vehículo privado (con coste mínimo) respecto del car sharing. Elaboración propia.

En este caso disminuye el punto de corte desde los 34.000 km/año a los 24.000 km/año.

9.3.4. Conclusión del análisis de sensibilidad de costes económicos

Tras estudiar en distintos escenarios cuál es el kilometraje anual que debe realizarse para que sea mejor opción en términos económicos el vehículo privado que el car sharing, se llega a los siguientes resultados:

- Considerando un escenario de costes máximos para el vehículo privado, el kilometraje aumenta hasta los 43.000 km/año
- Considerando un escenario de costes mínimos para vehículo privado, la cifra disminuye hasta los 24.000 km/año
- Si se considera el escenario de costes normal, el kilometraje debe ser al menos 33.808 km/año
- Bajo la hipótesis de que no exista coste financiero (vehículo de segunda mano muy económico), el kilometraje a partir del que es preferible la opción de vehículo privado es de 15.000 km/año

El aspecto más destacable es que para el kilometraje medio que se realiza en España anualmente, que es de 12.562,9 km/año, siempre es más ventajoso económicamente disponer de un vehículo de uso compartido que un vehículo en propiedad.

Los factores que hacen que la utilización del car sharing no se haya popularizado de la misma manera que el vehículo privado son los siguientes:

- La mayoría de los propietarios de vehículos tiene en cuenta “la pendiente de la recta” pero no tiene en cuenta “la ordenada en el origen”. En otras palabras: una vez que se adquiere un vehículo el coste por kilómetro es muy bajo, pero no se tiene en cuenta el elevado coste de adquisición del mismo.
- A efectos prácticos el servicio de car sharing podría encarecerse si la utilización del servicio se realiza habitualmente en zonas donde se producen atascos en horas punta, por su elevado coste horario.
- Menor comodidad de utilización por la mayor dificultad para aparcar el vehículo en determinadas áreas de la ciudad en comparación con una plaza de garaje propia. Esto desanima a ciertos clientes potenciales.
- La calidad del servicio puede verse afectada por el vandalismo si el vehículo reservado para su uso tiene desperfectos.
- Aspectos psicológicos donde la adquisición de bienes en propiedad está ligada a un aumento de la felicidad de las personas, o bien para marcar cierto status social.

10. ANÁLISIS DE COSTES AMBIENTALES

Se van a estudiar los costes ambientales para tres segmentos distintos de vehículos, correspondiendo a las principales necesidades de los usuarios. La segmentación de vehículos se realiza en función del tamaño del mismo (Consumer). De esta manera se estudiarán los vehículos de los siguientes segmentos:

- **Segmento E:** Son berlinas medianas-grandes y alrededor de 4,85 metros de longitud y entre 2,4 a 5 litros de cilindrada.
- **Segmento D:** Son berlinas con espacio para 5 adultos, o para 8 en caso de monovolúmenes. Se sitúan entre los 4,5 a 4,85 metros de largo y entre 1,6 a 3 litros de cilindrada.
- **Segmento C:** Se trata de “compactos” entre 4,2 a 4,5 metros de longitud y entre 1,4 a 2 litros de cilindrada.
- **Segmento C (monovolúmenes):** Son vehículos utilizados por las familias ya que aprovechan el espacio de manera óptima. La carrocería integra en una sola unidad el compartimento del motor, el espacio de pasajeros y el maletero. La longitud varía entre 4,2 a 4,5 metros.

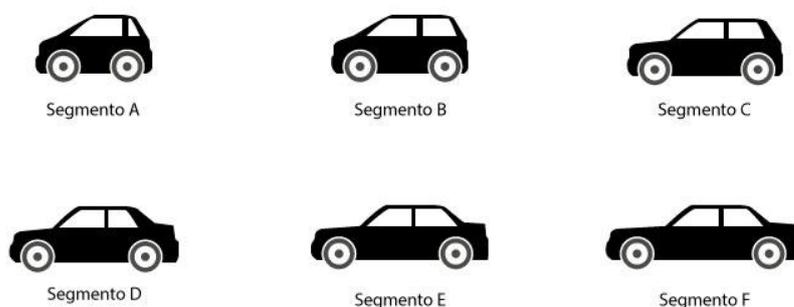


Figura 91: Segmentos de vehículos. Fuente: (motor)

A continuación se incluye la tabla con los vehículos estudiados, sus dimensiones, el segmento en el que se clasifica y la normativa anticontaminación para la que está homologado.

MARCA	MODELO	LONGITUD	ANCHO	ALTO	SEGMENTO	NORMATIVA
MERCEDES-BENZ	B 180	4393	1786	1557	C	EURO 5
	C 180 Berlina	4686	1810	1442	D	EURO 6
	CLA 180 Coupé	4630	1777	1432	D	EURO 6
	CLS 350 BlueTEC Coupé	4937	1881	1418	E	EURO 5
VOLKSWAGEN	Golf 5p Conceptline 1.4	4149	1735	1444	C	EURO 3
	Golf 5p Conceptline 1.9 TDI DPF	4149	1735	1444	C	EURO 4
	Variante Advance 1.4 TSI DSG	4562	1799	1481	C	EURO 4
	Golf 3p BlueMotion 1.6 TDI	4255	1790	1437	C	EURO 3

Tabla 97: Dimensiones y segmento de los modelos estudiados. Fuente: (km77)

10.1. Parámetros considerados para el análisis ambiental

Para realizar el análisis ambiental, se consideran los siguientes parámetros:

- Consumo de recursos: energía primaria utilizada (Giga Julios)
- Emisiones consideradas:
 - CO₂
 - CO
 - NO_x
 - SO₂
 - NMVOC (Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano)
 - CH₄
- Indicadores de Impacto considerados:
 - Potencial de Calentamiento Global en 100 años (GWP100)
 - Potencial de Agotamiento Abiótico (ADP)

- Potencial de Creación de Ozono Fotoquímico (POCP)
- Potencial de Eutrofización (EP)
- Potencial de Acidificación (AP)

Estos indicadores de impacto son los utilizados normalmente por la industria europea del automóvil, así como el proyecto LIRECAR (Light and Recyclable Car).

Por otra parte, la SETAC define las principales categorías de impacto en (IHOBE, 2009): Calentamiento Global, Consumo de Recursos Energéticos, Reducción de la Capa de Ozono, Eutrofización, Acidificación y Consumo de Materias Primas. Sin embargo, la Agencia Europea de Medio Ambiente identifica: recursos abióticos y recursos bióticos, uso de la tierra, calentamiento global, disminución de la capa de ozono, oxidantes fotoquímicos, acidificación y eutrofización entre las categorías más importantes.

Se describen a continuación las principales categorías de impacto:

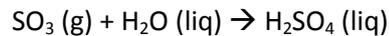
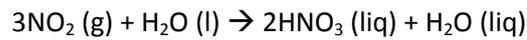
- **Potencial de Calentamiento Global en 100 años (GWP100):** Se trata de diferentes gases que potencian el efecto invernadero. Aunque es un fenómeno que ya se originaba de manera natural y sin el cual la Tierra tendría una temperatura media de -18°C , la emisión de estos gases hace que los rayos solares absorbidos en el suelo se reflejan al exterior en menor medida, porque estos gases absorben parte de la radiación infrarroja dando lugar al calentamiento de la atmósfera, como se vio en el epígrafe 4.2. El factor de caracterización es el kg de CO_2 equivalente. El valor de una masa dada de gas de efecto invernadero se compara con el efecto equivalente que tendría con la del CO_2 . Por ejemplo, se aprecia en la figura que la emisión de 1 kg de metano (CH_4) equivale a una emisión de 21 kg de CO_2 .

Gas	PCG
Dióxido de Carbono (CO_2)	1
Metano (CH_4)	21
Óxido Nitroso (N_2O)	298
Fluorocarburos	120 - 12 000
Clorofluorocarbonos	5 700 - 11 900
Hexafluoruro de azufre	22 200

Figura 92: Potencial de Calentamiento Global de los principales gases. Fuente: (greenfacts)

- **Potencial de Agotamiento Abiótico (ADP):** es el agotamiento de los recursos naturales renovables “no vivos” (viento, agua) y los no renovables (energía fósil). Se considera a los no renovables aquellos que necesitan más de 500 años para que la acción natural reponga los recursos extraídos. Se pueden distinguir entre los recursos abióticos de fuentes fósiles y no fósiles.
 - Fuentes fósiles: Carbón, Petróleo, Gas Natural
 - Fuentes no fósiles: energía nuclear, hidroeléctrica, eólica y solar.El factor de caracterización de esta categoría de impacto son las reservas de Antimonio (Sb).
- **Potencial de Creación de Ozono Fotoquímico (POCP):** Los hidrocarburos inquemados de la gasolina, monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno forman ozono en presencia de luz solar en la troposfera. El factor de caracterización es el kg de etileno equivalente (C_2H_4).
- **Potencial de Eutrofización (EP):** La emisión al aire de óxidos de nitrógeno por parte de los vehículos produce una concentración excesiva de nutrientes en el agua y el suelo, que en definitiva da lugar a un crecimiento descontrolado de algas cuya demanda de oxígeno es perjudicial para la fauna. El factor de caracterización es el kg de fosfato equivalente (PO_4).
- **Potencial de Acidificación (AP):** La emisión de SO_2 y NO_x , que provienen de la quema de combustible fósil tanto de la industria como del transporte, genera impactos en el suelo, el agua, en los seres vivos e incluso en los edificios. Estos compuestos en contacto con el agua contenida en el

aire húmedo producen lluvia ácida, que se compone de ácido nítrico y ácido sulfúrico contenido en el agua de lluvia. Estos ácidos destruyen los ecosistemas y disolviendo la superficie de los edificios en las ciudades. Las reacciones básicas son:



Su factor de caracterización es el kg de dióxido de azufre equivalente (SO_2).

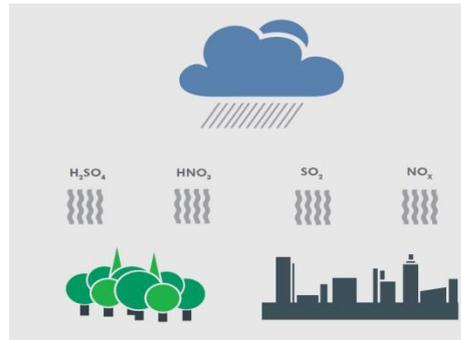


Figura 93: Esquema del proceso de acidificación (lluvia ácida). Fuente: (Volkswagen AG, 2008)

10.2. Método de obtención de las emisiones

Para el análisis del ciclo de vida, la unidad funcional considerada en Volkswagen es el transporte de 5 personas y el equipaje durante una distancia de 150.000 kilómetros en la fase de Uso. Si el vehículo cumple la norma Euro 6 los fabricantes consideran 160.000 km, aunque para simplificar y homogeneizar resultados se utilizará el valor de 150.000 km cualquier caso en los cálculos del presente trabajo. Los vehículos posteriores a la norma Euro 3 obtienen el dato de consumo de combustible mediante el **Nuevo Ciclo de Conducción Europeo** (New European Driving Cycle). Con el valor obtenido sobre el consumo se hace una estimación de las emisiones durante el ciclo de vida. Este ensayo se realiza fijando el vehículo con eslingas en un banco de pruebas, de manera que están en contacto las ruedas propulsoras con un rodillo que tiene una resistencia al giro regulable. Este par resistente reproduce el conjunto de fuerzas que debe vencer el vehículo al desplazarse debido a rozamientos internos, externos e inercias. Las fuerzas más importantes son: (Domínguez & Ferrer, 2014)

- Resistencia a la rodadura F_{rd}
- Resistencia del aire F_a
- Resistencia por pendiente (en su caso) F_p
- Resistencia por rozamiento mecánico F_{rm}
- Resistencia por inercia F_i

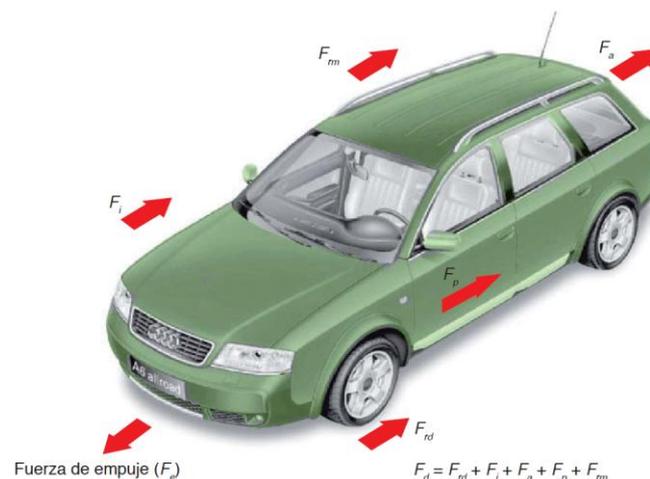


Figura 94: Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo. Fuente: (Domínguez & Ferrer, 2014)

Antes del año 93 se realizaba un ensayo que simulaba aproximadamente los viajes del tráfico urbano (Urban Driving Cycle), con paradas y aceleraciones progresivas hasta 50 km/h. Este ensayo incluía 40 segundos iniciales en parado como se ve en la figura:

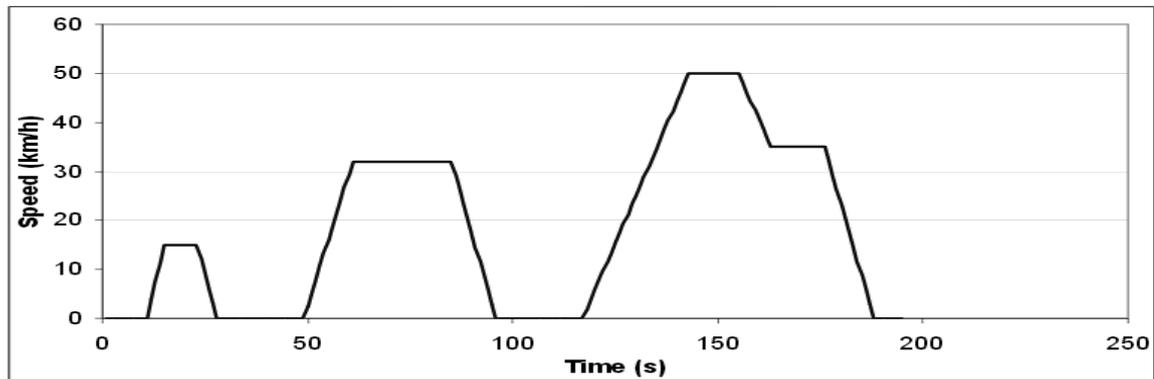


Figura 95: Urban Driving Cycle. Fuente: (Barlow, Latham, Mc Crae, & Boulter, 2009)

Posteriormente se modificó este ensayo, eliminando los 40 segundos iniciales para medir también las emisiones circulando con el motor frío. El vehículo tiene que estar previamente estacionado al menos durante 6 horas a una temperatura de -7°C para simular que ha estado toda la noche aparcado. Además el ensayo actual reproduce una conducción urbana y extraurbana: UDC + EUDC (Urban Driving Cycle + Extra Urban Driving Cycle). Este ensayo se denomina NEDC (New European Driving Cycle) citado anteriormente.

Está formado por cuatro ciclos iguales de tráfico urbano de 195 segundos con paradas y aceleraciones hasta los 50 km/h, y un ciclo de tráfico extraurbano con una velocidad punta de 120 km/h y sin paradas.

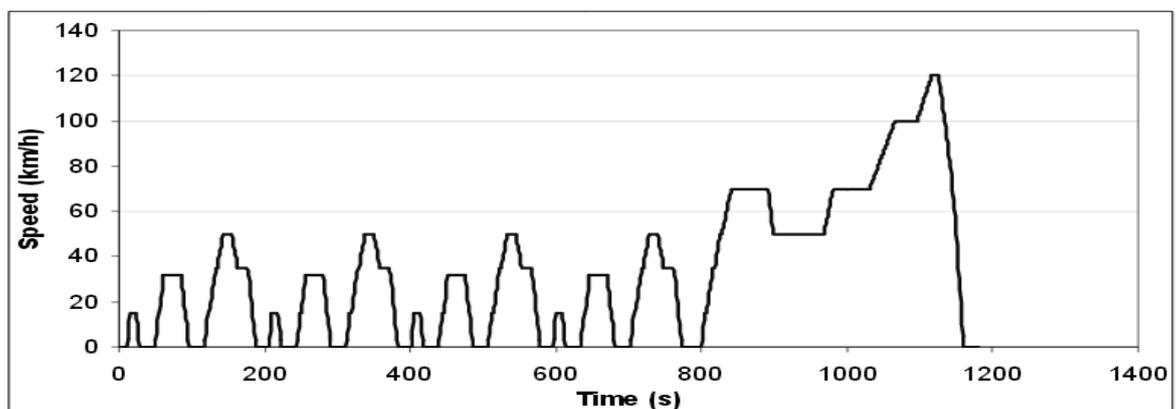


Figura 96: Extra Urban Driving Cycle. Fuente: (Barlow, Latham, Mc Crae, & Boulter, 2009)

Antes de la prueba en laboratorio del ensayo NEDC, se realiza una prueba de carga en carretera que determina el valor de la resistencia a introducir en los rodillos, denominada *coast down test*. Este ensayo se realiza llevando el vehículo hasta una velocidad de 120 km/h en la carretera para a continuación dejarlo en punto muerto y cronometrar el tiempo cada vez que disminuye la velocidad en 20 km/h.

La problemática radica en que los fabricantes aprovechan lagunas de la normativa para optimizar el resultado minimizando rozamientos. Así logran minimizar el par de frenado a utilizar en los rodillos para el ensayo. Esto hace que el consumo de combustible y las emisiones homologadas sean menores que las reales. Algunas de estas prácticas son (Dings, 2013):

- Separar las pastillas de freno para evitar su rozamiento con el disco
- Sobreinflar los neumáticos para disminuir su rozamiento con el pavimento
- Modificar la alineación de la dirección
- Utilizar los neumáticos de menor resistencia a la rodadura posible
- Tapar las juntas en puertas y ventanas para mejorar la resistencia aerodinámica
- Usar lubricantes especiales que disminuyen el rozamiento entre piezas

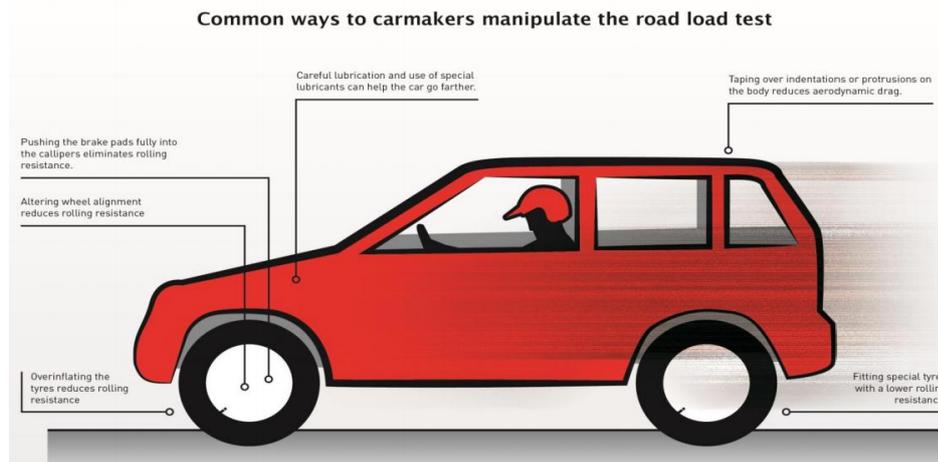


Figura 97: Principales prácticas para disminuir el consumo. Fuente: (Dings, 2013)

En la figura siguiente se muestra un estudio realizado por parte del departamento de transporte Canadiense en su programa “ecoTECHNOLOGY for Vehicles II” para la implantación de un etiquetado en neumáticos similar al europeo. En este estudio se analizan 10 neumáticos diferentes, realizándose el ensayo coast down en vehículos con M.M.A. menor o igual a 4.500 kg, es decir, el equivalente a vehículos de turismo (≤ 3.500 kg). Como puede observarse, al tener los neumáticos distinta resistencia a la rodadura, el tiempo necesario para detenerse varía. Esto provocará una disminución o incremento de consumo de combustible según el neumático montado en el vehículo.

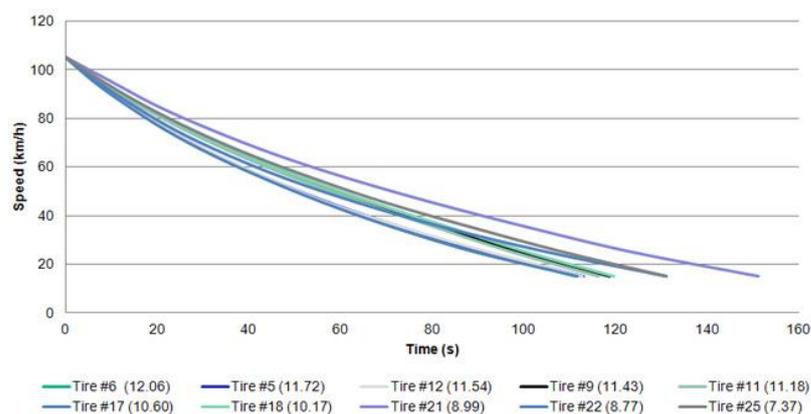


Figura 98: Relación entre la resistencia a la rodadura y tiempo necesario para detenerse. Fuente: (Transport Canada)

Además, otra de las críticas de este método del cálculo de emisiones es que no representa una conducción real, dado que los coches son cada vez más ligeros y potentes, mientras que las aceleraciones del ensayo son muy suaves. Esto hace que la diferencia en el consumo teórico y el real sea cada vez mayor: Esta diferencia pasó de ser del 8% en 2001 al 21% en 2012 (Mock, German, Bandivadekar, & Riemersma, 2012).

Por todo ello, se modificará en el futuro el ensayo de emisiones y consumo de combustible por otro más realista llamado WLTP (World Light Vehicle Test Procedure) que todavía no ha entrado en vigor.

10.3. Impacto agrupado por Categorías de impacto

Aunque en los certificados ambientales de los vehículos considerados tenemos datos sobre las emisiones y los materiales que componen el vehículo, el análisis ambiental a lo largo del Ciclo de Vida se realiza considerando las categorías de impacto, ya que la agrupación de las emisiones en las diferentes categorías de impacto es un paso complejo del que se puede prescindir, porque en el certificado ambiental se muestra el porcentaje acumulado y la masa total equivalente por categoría, de esta manera se puede conocer el impacto en cada fase del Ciclo de Vida.

		MODELO	FABRICACIÓN	TRANSPORTE	USO	RECICLAJE
POTENCIAL DE CREACIÓN DE OZONO FOTOQUÍMICO	POCP (kg C ₂ H ₄ equivalente)	B 180	3,1	2,2	3,1	0,0
		C 180	4,6	4,8	3,6	0,0
		CLA 180	3,2	2,4	2,4	0,0
		CLS 350	4,6	4,8	3,6	0,0
		A5 OTTO	5,5	3,4	8,9	0,0
		A5 DIESEL	3,7	2,2	6,0	0,4
POTENCIAL DE AGOTAMIENTO ABIÓTICO	ADP (Kg Sb- equivalente)	B 180	86,4	56,2	289,0	0,4
		C 180	104,3	56,9	312,4	0,5
		CLA 180	75,4	51,6	268,0	2,0
		CLS 350	62,7	48,0	257,9	0,4
		A5 OTTO	0,0	0,0	0,0	0,0
		A5 DIESEL	0,0	0,0	0,0	0,0
POTENCIAL DE EUTROFIZACIÓN	EP (kg NO ₃ ⁻ equivalente)	B 180	1,7	1,6	0,2	0,1
		C 180	2,2	1,4	0,4	0,1
		CLA 180	2,0	1,7	0,2	0,1
		CLS 350	6,4	2,8	0,3	0,1
		A5 OTTO	2,5	2,5	0,0	0,0
		A5 DIESEL	4,0	4,0	0,0	0,0
POTENCIAL DE ACIDIFICACIÓN	AP (kg SO ₂ ⁻ equivalente)	B 180	22,5	21,6	0,7	0,2
		C 180	37,2	19,8	2,4	0,6
		CLA 180	23,4	18,5	2,3	0,9
		CLS 350	45,4	36,1	1,7	0,8
		A5 OTTO	24,7	25,3	7,5	0,0
		A5 DIESEL	27,0	20,2	20,2	0,0
POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL	GWP100 (t CO ₂ equivalente)	B 180	6,8	5,1	20,7	1,4
		C 180	8,3	4,3	22,7	0,7
		CLA 180	6,2	5,0	19,2	0,6
		CLS 350	10,8	9,6	38,4	1,2
		A5 OTTO	5,0	5,3	20,2	0,6
		A5 DIESEL	4,3	4,3	19,7	0,3

Tabla 98: Categorías de impacto consideradas para cada fase del ciclo de vida y modelo de vehículo. Fuente: (Volkswagen AG, 2008) y (Daimler AG)

En la figura 99 mostrada a continuación se grafica cada categoría de impacto. El dato del potencial de agotamiento abiótico para los Volkswagen A5 Otto y Diésel no aparece en el certificado ambiental, aunque apenas influye en el resultado por su bajo factor de Normalización.

Por otra parte no se dispone del dato del impacto ambiental agrupado en categorías de impacto para los Volkswagen A4 debido a que el estudio ambiental es más antiguo, por lo que aunque se disponen los datos de las emisiones y la composición de materiales del vehículo no pueden incluirse en el estudio.

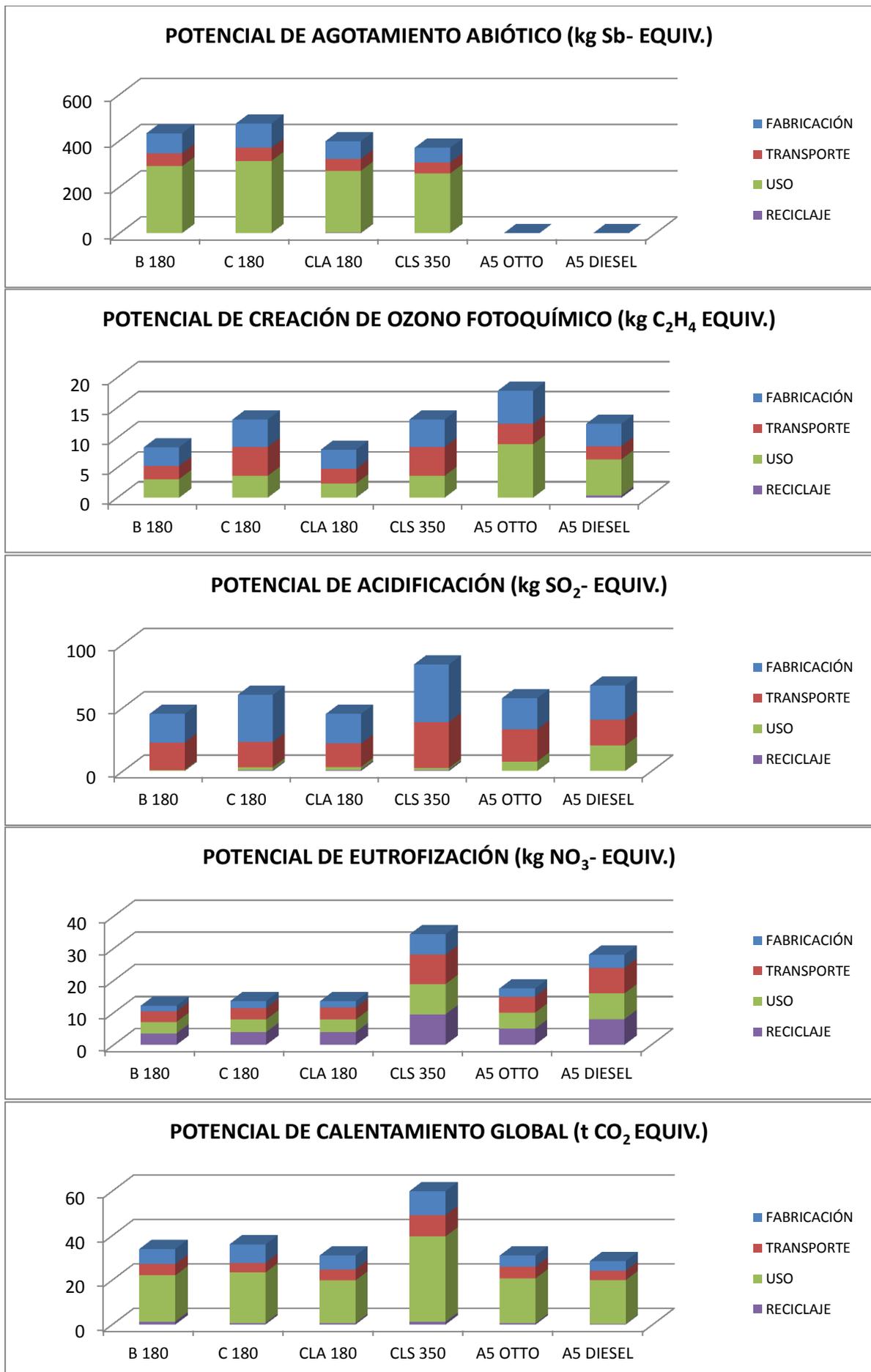


Figura 99: Categorías de impacto consideradas y para cada fase del ciclo de vida y modelo de vehículo. Elaborado a partir de: (Volkswagen AG, 2008) y (Daimler AG)

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

La Normalización es la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto de un valor de referencia. Aunque en la ISO 14044 es una fase opcional, para la SETAC esta etapa es necesaria porque las categorías de impacto están expresadas en unidades distintas y es necesario pasar a unas unidades que permitan su comparación. En la tabla siguiente tenemos los factores de normalización para cada categoría de impacto:

	FACTOR NORMALIZACION
POCP (kg C ₂ H ₄ equivalente)	0,008834
ADP (Kg Sb- equivalente)	0,008834
EP (kg NO ₃ - equivalente)	5270,824
AP (kg SO ₂ - equivalente)	5270,824
GWP100 (t CO ₂ equivalente)	0,008834

Tabla 99: Factores de normalización para las categorías de impacto. Fuente: (Open LCA)

Según la tabla son mucho más importantes el potencial de eutrofización y acidificación que el potencial de creación de ozono fotoquímico, el potencial de agotamiento abiótico y el potencial de calentamiento global.

Al multiplicar cada categoría de impacto por el factor de normalización en cada fase del ciclo de vida, la unidad se refleja en milipuntos de impacto ambiental.

Este cálculo se realiza en cuatro escenarios distintos: 5.000, 10.000, 15.000 y 20.000 kilómetros recorridos anuales. Además el cálculo del impacto se realiza por separado para los vehículos privados y de car sharing:

- Para los vehículos de uso privado, puesto que la unidad funcional considerada es la realización de 15.000 km al año, se considera el impacto de la fase de Uso como una relación lineal en cada uno de los cuatro escenarios.
- Para los vehículos de car sharing, se considera que en términos generales un vehículo de este tipo elimina de la circulación 20 vehículos de uso privado, por lo que el impacto de la fase de fabricación, transporte y reciclaje se divide por este valor.

A modo de ejemplo, se observa el cálculo de la puntuación de impacto ambiental de modelo B 180, tanto en vehículo privado como en car sharing:

MODELO B 180 VEHÍCULO PRIVADO 15.000 km					
	PRODUCCIÓN COCHE	PRODUCCIÓN ENERGÍA	USO	RECICLAJE	TOTAL
POCP	0,03	0,02	0,03	0,00	0,07
ADP	0,76	0,50	2,55	0,00	3,82
EP	9.107,98	8.348,98	1.138,50	379,50	18.974,97
AP	118.593,54	113.849,79	3.557,81	1.185,94	237.187,07
GWP100	0,06	0,05	0,18	0,01	0,30
TOTAL					256.166,23

MODELO B 180 CAR SHARING 15.000 km					
	PRODUCCIÓN COCHE	PRODUCCIÓN ENERGÍA	USO	RECICLAJE	TOTAL
POCP	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03
ADP	0,02	0,01	2,55	0,00	2,58
EP	227,70	208,72	1.138,50	9,49	1.584,41
AP	2.964,84	2.846,24	3.557,81	29,65	9.398,54
GWP100	0,00	0,00	0,18	0,00	0,19
TOTAL					10.985,75

Tabla 100: Ejemplo de cálculo de la puntuación de impacto ambiental para el modelo B 180. Elaboración propia.

Dividiendo el resultado por 1000, la unidad es el punto de impacto ambiental. Una vez realizado el cálculo para cada modelo, el impacto ambiental total para cada modelo de vehículo en los cuatro escenarios considerados para vehículo privado y car sharing se muestra en la tabla:

	VEH. PRIVADO				CAR SHARING			
	5.000 km	10.000 km	15.000 km	20.000 km	5.000 km	10.000 km	15.000 km	20.000 km
B 180	253	255	256	258	8	9	11	13
C 180	328	332	337	342	13	18	23	27
CLA 180	250	254	258	263	11	15	19	24
CLS 350	486	489	493	496	16	19	22	26
A5 GASOLINA	303	316	329	342	20	33	47	60
A5 DIESEL	327	362	398	433	43	78	114	149
PROMEDIO	324	335	345	356	18	29	39	50

Tabla 101: Impacto ambiental en vehículo privado y en car sharing para cada uno de los 4 escenarios. Elaboración propia.

En la gráfica se observa fácilmente que el modelo de Volkswagen A5 diesel tiene mayor dependencia de los kilómetros recorridos, y es más acentuado si se utiliza como vehículo compartido. Esto se debe a que el factor de normalización es un valor muy alto para el Potencial de Acidificación, y es un valor más alto para el VW A5 Diésel que en el resto de los vehículos.

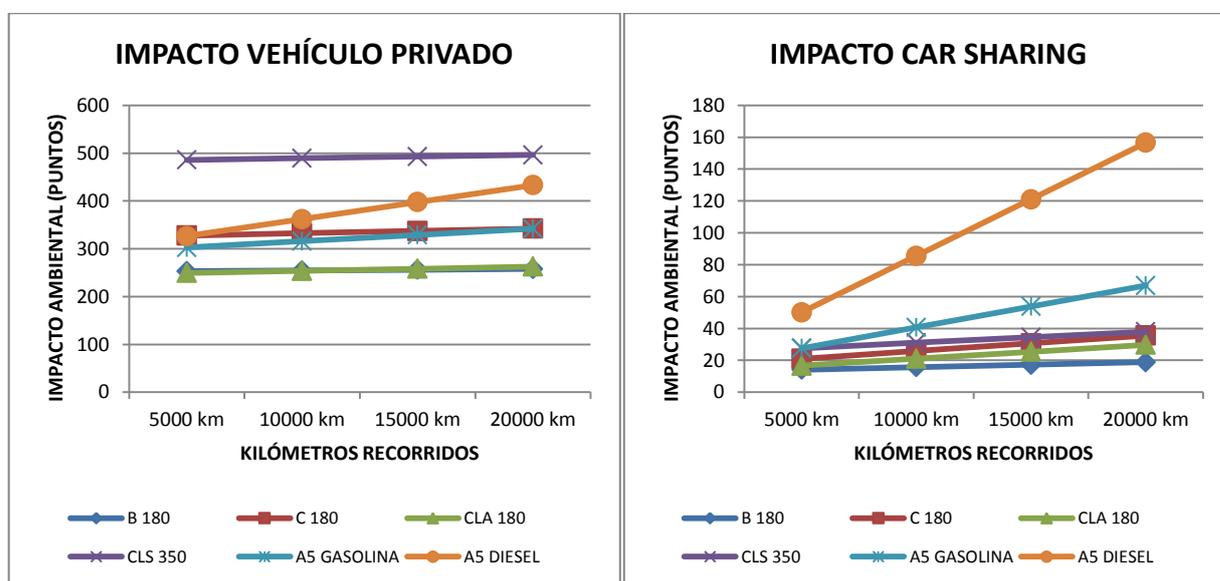


Figura 100: Impacto ambiental en vehículo privado y en car sharing para cada uno de los 4 escenarios. Elaboración propia.

Sin embargo como se ve en la tabla anterior, no afecta excesivamente al valor promedio, que es el que se utilizará en el apartado siguiente:

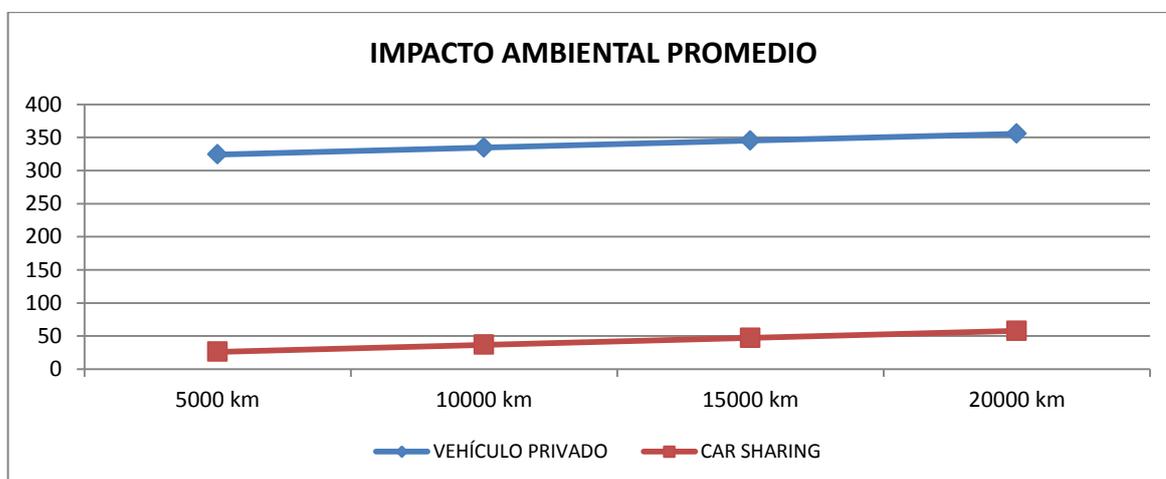


Figura 101: Impacto ambiental promedio en vehículo privado y en car sharing para cada escenario. Elaboración propia.

10.4. Análisis de sensibilidad del impacto en Car Sharing

El análisis de sensibilidad se realiza porque el dato del número de vehículos privados que elimina el uso compartido no es conocido con exactitud, aunque según la empresa Respiro Car Sharing el valor ronda los 20 vehículos privados por cada vehículo compartido.

Se han considerado tres escenarios:

- Eliminación de 20 vehículos privados por vehículo compartido (Escenario más probable)
- Eliminación de 5 vehículos privados por vehículo compartido (Escenario pesimista)
- Eliminación de 40 vehículos privados por vehículo compartido (Escenario optimista)

Además se considera otro escenario donde elimina un solo vehículo privado, es decir, produce el mismo impacto ambiental que el vehículo privado pero con los costes considerados en car sharing.

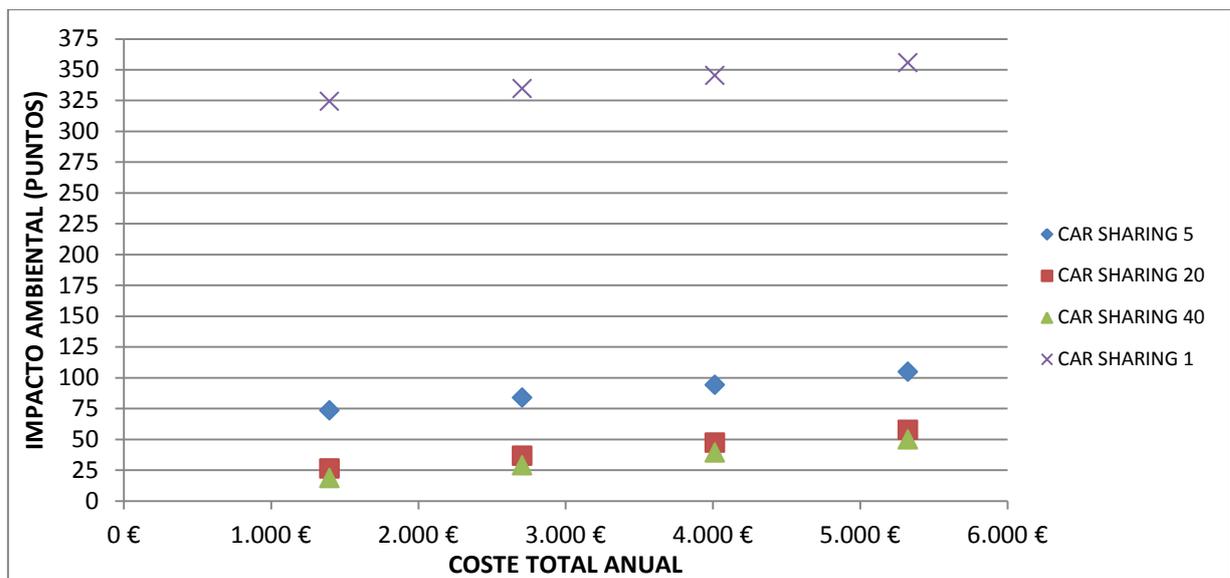


Figura 102: Análisis de sensibilidad de los distintos escenarios del uso compartido del vehículo. Elaboración propia.

Se comprueba que:

- El uso compartido considerando que elimina 20 vehículos de uso privado, reduce en torno a 8 veces el impacto ambiental que el uso del vehículo privado.
- Sin embargo el impacto ambiental considerando la eliminación de 20 vehículos respecto la eliminación de 5 vehículos, es únicamente de la mitad.
- Por otra parte, apenas varía la disminución del impacto en el escenario optimista si se considera la eliminación de 40 vehículos privados por cada vehículo de car sharing. Además se trata de un escenario teórico como se explica a continuación:

El escenario en el que un vehículo de car sharing reduce el uso de 20 vehículos es prácticamente el máximo posible porque implica que el vehículo sea utilizado durante todo el día y apenas permanezca estacionado sin uso. Si se considera que se utiliza entre los 20 usuarios ininterrumpidamente durante 16 horas al día (excepto entre las 23:00 pm y las 7:00 am), cada usuario podría utilizar el vehículo durante 48 minutos al día. Si velocidad media en ámbito urbano de 20 km/h, cada usuario podría recorrer hasta 16 kilómetros con el vehículo, que es una distancia habitual en dicho ámbito.

Además como se ha comprobado en la figura 102, aunque pudiera utilizarse el vehículo por un número aún mayor de usuarios, apenas se vería reducido su impacto ambiental.

11. RELACIÓN IMPACTO AMBIENTAL Y COSTE ECONÓMICO

En este apartado se analiza la relación entre el coste económico e impacto ambiental para vehículo privado y car sharing en cuatro escenarios: 5.000, 10.000, 15.000 y 20.000 km/año.

- Por una parte, el coste económico promedio que se ha considerado en cada escenario:
 - En vehículo privado, el coste habitual de utilización del vehículo considerando coste financiero, costes fijos y variables.
 - En car sharing, el coste promedio de las tres empresas estudiadas: Bluemove, Avancar y Respiro Car Sharing utilizando la mejor tarifa de cada una de ellas.
- El coste ambiental:
 - En vehículo privado es el promedio del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de los vehículos estudiados, ponderados por su factor de normalización.
 - En car sharing se ha considerado la hipótesis de que su uso sustituye 20 vehículos privados de la circulación. Es decir, el impacto en las fases de fabricación, transporte y eliminación es 20 veces menor al impacto del vehículo privado.

Tras realizar los cálculos pertinentes se obtiene la tabla 102:

VEHÍCULO PRIVADO				
	5.000 km	10.000 km	15.000 km	20.000 km
IMPACTO AMBIENTAL	324	335	345	356
COSTE ECONÓMICO (€)	6.681,19	7.072,93	7.464,66	7.856,40
CAR SHARING				
	5.000 km	10.000 km	15.000 km	20.000 km
IMPACTO AMBIENTAL	26	37	47	58
COSTE ECONÓMICO (€)	1.396,87	2705,74	4.014,61	5.323,47

Tabla 102: Coste económico e impacto ambiental para cada uno de los cuatro escenarios. Elaboración propia.

Finalmente, se elabora la figura 103 a partir de la tabla anterior. Se muestra en distintos tonos de color azul a los escenarios del vehículo compartido y en tonos de verde a los escenarios de Vehículo Privado:

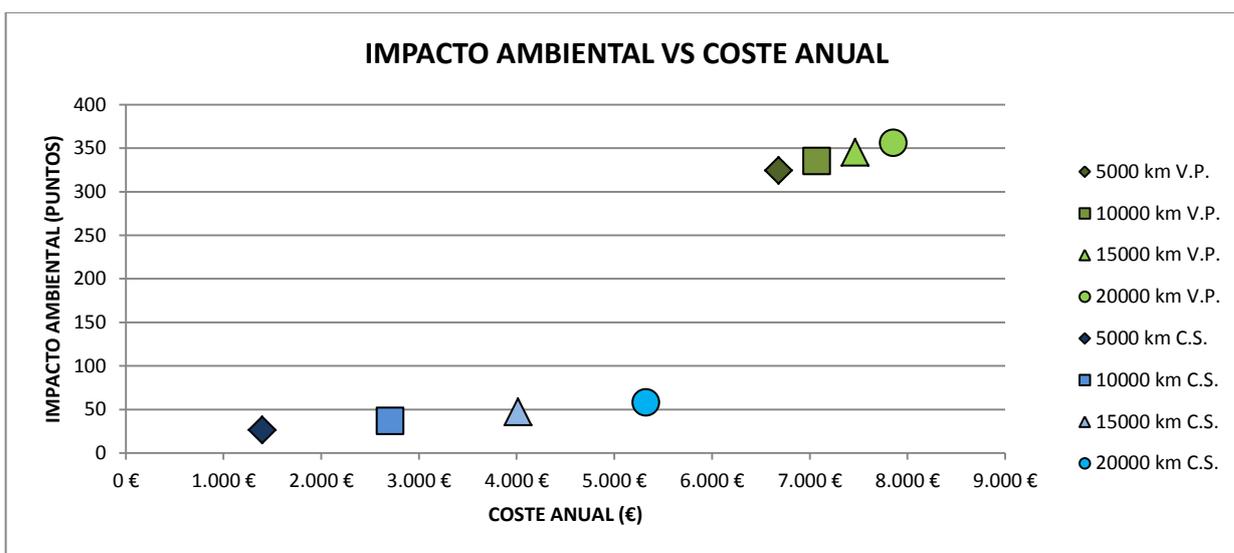


Figura 103: Coste económico e impacto ambiental para cada uno de los cuatro escenarios. Elaboración propia.

Como era obvio, el impacto ambiental es mucho menor para los vehículos de uso compartido que los de uso privado. Además el coste económico de los vehículos de uso compartido en cada escenario también es menor que el coste del vehículo privado.

Análisis Económico Ambiental del uso privado de vehículos frente a su uso compartido

Se han calculado también las rectas de tendencia en ambos casos mediante mínimos cuadrados. Para el vehículo privado la línea de tendencia es:

$$y = 145,58 + 0,0267 * x$$

Para car sharing la línea de tendencia es:

$$y = 14,98 + 0,0080 * x$$

Dado que todos los puntos han sido obtenidos a partir de datos promediados sobre rectas, en realidad forman otra recta y por ello el ajuste con las líneas de tendencia es perfecto.

De todas maneras es imposible que las rectas lleguen a cortar en realidad con el eje de ordenadas, porque como se vio en el apartado anterior al realizar cero kilómetros anuales, en vehículo privado se incurre en promedio a un coste de 6.289,46 €/año en caso de vehículo privado debido al coste financiero y los costes fijos, y 88,00 €/año en car sharing debido a la cuota de socio. Por ello se representa la línea por debajo del coste de cero kilómetros/año mediante otro color y línea discontinua, ya que se trata de puntos teóricos que no se pueden alcanzar en la realidad.

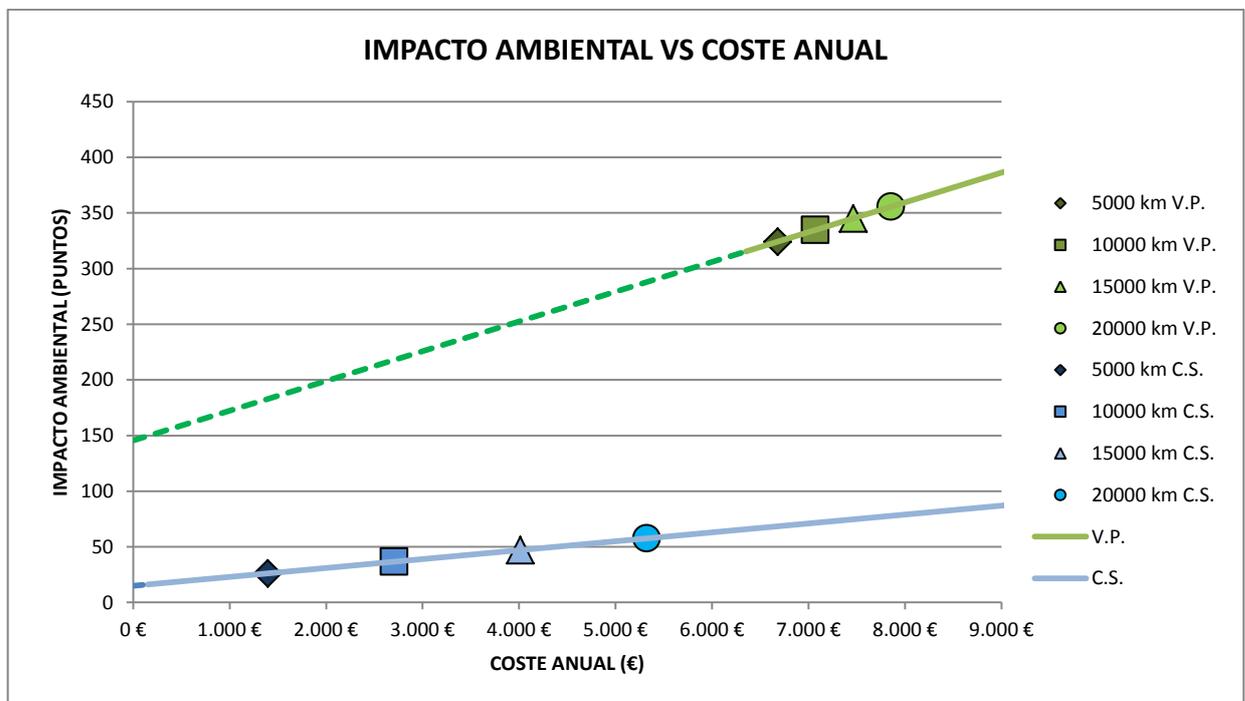


Figura 104: Coste económico e impacto ambiental para cada uno de los cuatro escenarios, considerando el coste mínimo. Elaboración propia.

La pendiente de la recta en el caso del vehículo privado es mayor que la de car sharing, lo que implica que se produce mayor impacto ambiental por kilómetro recorrido que en el uso compartido.

Por otra parte, en el uso compartido del vehículo los puntos en cada escenario están mucho más espaciados que en el uso privado. Esto se debe a que el coste económico es bastante mayor por kilómetro recorrido para el uso compartido del vehículo que para el uso privado, como se vio en la figura 87 del apartado 9.3, donde a partir de 34.000 km/año el coste anual del uso compartido supera al del uso privado.

11.1. Impacto ambiental y coste económico por tipo de combustible

Se analiza por una parte el coste económico anual del vehículo privado en función de los kilómetros recorridos para los vehículos de gasolina: C 180, CLS 180 y VW A5 y por otra parte para los vehículos Diésel: B 180 y VW A5.

Para los vehículos de uso compartido, desde el punto de vista del usuario el coste es el mismo aunque varíe el tipo de combustible y por ello se han tomado los valores del apartado anterior.

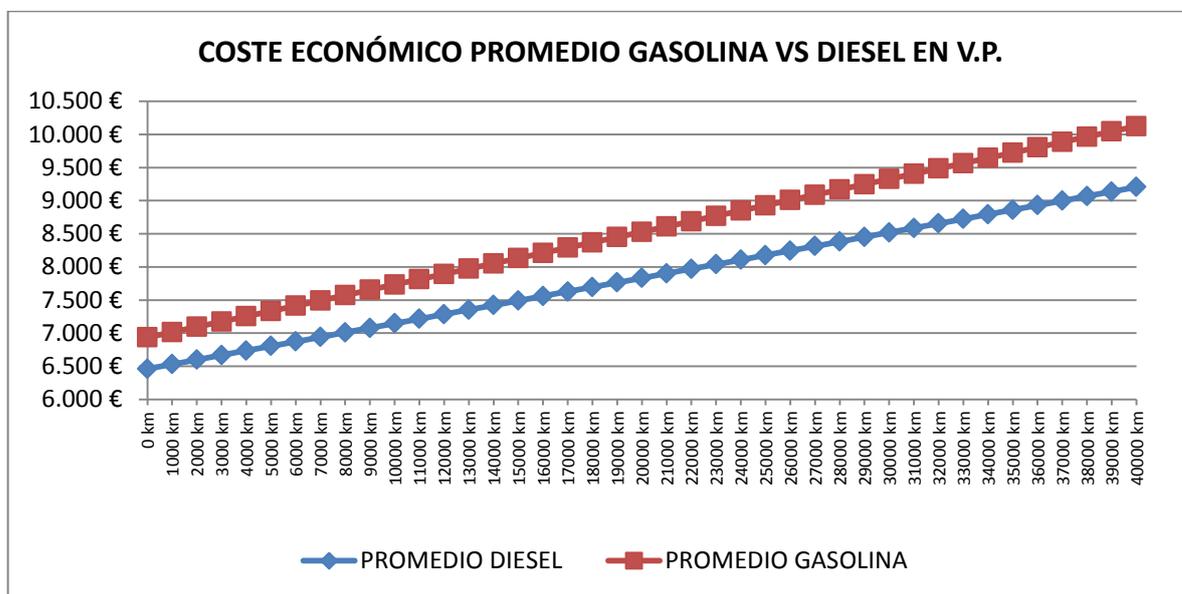


Figura 105: Coste económico promedio vehículos gasolina y diésel. Elaboración propia.

Se comprueba que, realizando el promedio en cada caso, el coste económico anual del vehículo privado es ligeramente mayor para los vehículos de gasolina que para los vehículos Diésel. Además la pendiente también es mayor para los vehículos de gasolina, por lo que la diferencia de costes aumenta a mayor número de kilómetros realizados.

Se ha calculado el impacto ambiental en cada escenario para los vehículos gasolina y Diésel distinguiendo entre vehículo privado y vehículo de uso compartido, promediando los resultados. Las hipótesis tenidas en cuenta son las mismas que las del apartado 10.5: El uso de vehículo compartido sustituye 20 vehículos privados de la circulación, reduciéndose el impacto en las fases de fabricación, transporte y reciclaje.

La tabla 103 recoge los cálculos realizados:

VEHÍCULO PRIVADO				
	5000 km V.P.	10000 km V.P.	15000 km V.P.	20000 km V.P.
COSTE AMB. GASOLINA (PUNTOS)	293	301	308	316
COSTE AMB. DIESEL (PUNTOS)	290	308	327	345
COSTE ECO. GASOLINA (€)	7.333,36 €	7.731,87 €	8.130,37 €	8.528,88 €
COSTE ECO. DIESEL (€)	6.803,82 €	7.146,73 €	7.489,64 €	7.832,55 €
CAR SHARING				
	5000 km C.S.	10000 km C.S.	15000 km C.S.	20000 km C.S.
COSTE AMB. GASOLINA (PUNTOS)	22	29	37	44
COSTE AMB. DIESEL (PUNTOS)	32	51	69	88
COSTE ECO. GASOLINA/DIESEL (€)	1.396,87 €	2.705,74 €	4.014,61 €	5.323,47 €

Tabla 103: Coste económico e impacto ambiental para cada escenario y por tipo de combustible. Elaboración propia.

A continuación se representan gráficamente los valores de la tabla:

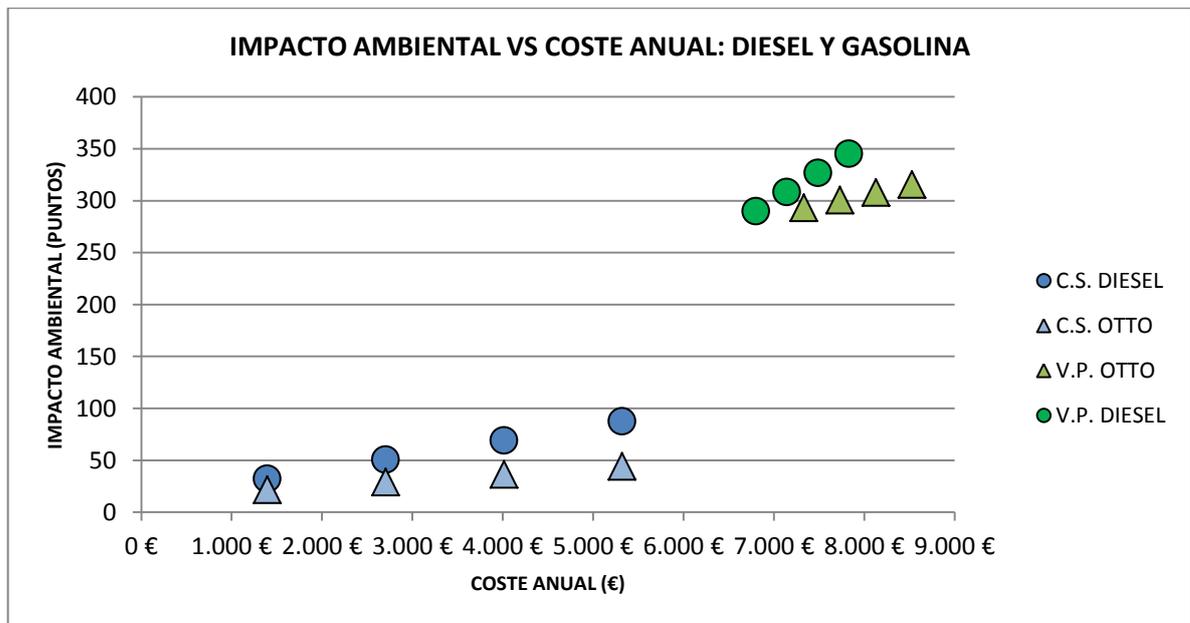


Figura 106: Coste económico e impacto ambiental para cada escenario y por tipo de combustible. Elaboración propia.

A partir de la figura se observa que:

- Para el caso de vehículo compartido, tanto si se trata de combustible gasolina o diésel cada escenario permanece sobre la misma vertical en ambos casos porque el coste para el cliente se supone el mismo. Las empresas ofrecen una tarifa u otra según el segmento de vehículo pero no según su tipo de combustible. La diferencia en este caso es que tienen mayor impacto ambiental los vehículos Diésel que los de gasolina.
- Sin embargo en el caso de vehículo privado, los vehículos Diésel tienen mayor impacto ambiental que los de gasolina en todos los escenarios por lo que cada punto está situado más hacia arriba, pero además los vehículos Diésel tienen un coste económico inferior que los de gasolina por lo que se sitúan más hacia la izquierda. Este hecho aumenta a mayor número de kilómetros recorridos: en el escenario de 5.000 km/año el ahorro usando un vehículo Diésel es alrededor de 500 €/año, pero en el escenario de 20.000 km/año el ahorro es de 700 €/año.

Si los usuarios de vehículo privado valoran únicamente el coste económico, es preferible utilizar combustible Diésel, pero el impacto ambiental es mayor como se ha comprobado.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desarrollo sostenible. Fuente: (Öberg, 2005)2

Figura 2: Sostenibilidad basada en criterios. Fuente: (Xercavins, Cayuela, Cervantes, & Sabater, 2005)2

Figura 3: Resultados de la simulación del modelo en 1972 y en 2004 respectivamente. Fuente: (Bardi, 2011)3

Figura 4: Crecimiento de la población desde el Neolítico hasta la actualidad. Fuente: (U.S. Census Bureau).....4

Figura 5: Población estimada por continentes. Elaboración propia a partir de: (U.S. Census Bureau).....5

Figura 6: Clasificación de los recursos. Fuente: (biología sur)6

Figura 7: Ratio Reservas/Consumo de los años 1968 y 1988. Fuente: (Nalder, 1993)6

Figura 8: Ratio Reservas/Consumo de combustibles fósiles. Elaboración propia a partir de los datos de BP (BP, 2014)7

Figura 9: Toneladas de CO₂ per cápita emitidas en el 2011. Fuente: (WEC)8

Figura 10: Tasa de incremento anual de la emisión de CO₂ per cápita durante el periodo 2000-2011. Elaboración propia a partir de los datos de (WEC)8

Figura 11: Tendencia del IDH por regiones. Elaboración propia a partir de: (PNUD, 2014)10

Figura 12: Fases del ciclo de vida. Fuente: (Capuz Rizo & Gómez Navarro, 2002)11

Figura 13: Fases del Análisis del Ciclo de Vida. Fuente: (ISO 14040, 2006)12

Figura 14: Elementos obligatorios (en azul) y optativos (en verde) de la fase de EICV. (UNE-EN ISO 14044, 2006)14

Figura 15: Principales indicadores de impacto según la SETAC. Fuente: (IHOBE, 2009)15

Figura 16: Sistema productivo abierto y cerrado. Elaboración propia.18

Figura 17: Fases del ciclo de vida del automóvil. Fuente: (Viñoles Cebolla R. , Bastante Ceca, López García, Vivancos Bono, & Capuz Rizo, 2004).....19

Figura 18: Medidas para mejorar los impactos en cada fase del ciclo de vida de un automóvil. Fuente: (Viñoles Cebolla R. , Bastante Ceca, López García, Vivancos Bono, & Capuz Rizo, 2003).....20

Figura 19: Concentración de CO y NO₂ y efectos sobre la salud. Fuente: (Peidró Barrachina & Ruiz Rosales, 2007)21

Figura 20: Esquema del efecto invernadero como balance entre la energía absorbida y emitida. Fuente: (Observatorio Industrial del Sector Fabricantes de Automóviles y Camiones)22

Figura 21: El ciclo del CO₂. Elaboración propia.23

Figura 22: Tendencia del CO₂ atmosférico desde el observatorio de Mauna Loa. Fuente: (NOAA, 2014).23

Figura 23: Comparación de emisiones Gasolina-Diésel. Adaptado de (Pardiñas, 2014)24

Figura 24: Emisiones de los gases de escape según su coeficiente lambda. Fuente: (mdhmotors).....25

Figura 25: Catalizador de 3 vías y situación de las sondas lambda. Fuente: (Pardiñas, 2014)26

Figura 26: Esquema de la inyección secundaria de aire. Fuente: (Pardiñas, 2014)26

Figura 27: Sistema EGR con intercambio de calor. Fuente: (Scania)27

Figura 28: Diferencia entre EGR de baja y alta presión. Fuente: (SAE)28

Figura 29: Límite de emisión de NO_x en las normas Euro. Elaboración propia.....29

Figura 30: Sistema de escape con inyector de AdBlue. Fuente: (Pardiñas, 2014)30

Figura 31: Detalle del panel del filtro de partículas DPF. Fuente: (dieselgrossisten.no)30

Figura 32: Etiqueta informativa del consumo de combustible y emisiones de CO₂. Fuente: (Real Decreto 837/2002).....32

Figura 33: Etiqueta voluntaria de consumo de combustible y emisión de CO₂. Fuente: (Real Decreto 837/2002).....32

Figura 34: Curva de valor límite de emisión para vehículos ligeros. Fuente: (Reglamento nº 443, 2009) .33

Figura 35: Valor límite de emisión de CO₂ para vehículos M1 y N1. Elaboración propia.34

Figura 36: Impactos ambientales más importantes en cada etapa del ciclo de vida. Fuente: (Viñoles Cebolla, Bastante Ceca, López García, Vivancos Bono, & Capuz Rizo, 2003).....	35
Figura 37: Composición de los vehículos a lo largo del tiempo. Fuente: (Plan Nacional de Vehículos al final de su vida útil (2001-2006))	36
Figura 38: Consumo de agua en fase de producción del vehículo. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association)	37
Figura 39: Consumo de energía y consumo de CO ₂ por vehículo producido. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association)	37
Figura 40: Emisión de VOC. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association).....	38
Figura 41: Producción de residuos. Fuente: (European Automobile Manufacturers Association)	38
Figura 42: Gases de escape en motores gasolina (izquierda) y diesel (derecha). Fuente: (NGK)	39
Figura 43: Emisiones medias por tipo de combustible utilizado. Fuente: (European Environmental Agency, 2014).....	40
Figura 44: Emisiones de los distintos vehículos de combustible alternativo. Fuente: (European Environmental Agency, 2014)	40
Figura 45: Distribución de los vehículos de combustible alternativo. Fuente: (European Environmental Agency, 2014).....	41
Figura 46: Generación de residuos: fase de uso, reparación y fin de vida. Fuente: (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001)	41
Figura 47: Residuos generados por vehículos en uso y fuera de uso. Fuente: (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001)	42
Figura 48: Porcentajes de Recuperación total, Reutilización y eliminación. Fuente: (EUROSTAT).....	43
Figura 49: Proceso de reutilización, reciclado y valoración de los VFU. Fuente: (López, 2011)	44
Figura 50: Proceso genérico de refabricación. Adaptado de (Kerr & Ryan, 2000)	49
Figura 51: Distribución de edades usuarios de Car sharing en Austria. Fuente: (Prettenthaler & Steininger, 1998)	53
Figura 52: Motivos por los que se han hecho usuarios de car sharing. Fuente: (Prettenthaler & Steininger, 1998)	53
Figura 53: Punto de equilibrio del coste/km. Fuente: (Prettenthaler & Steininger, 1998)	54
Figura 54: Uso Semanal del Vehículo privado. Fuente: (Bluemove)	55
Figura 55: Gasto mensual dedicado al vehículo privado. Fuente: (Bluemove).....	55
Figura 56: km medios recorridos al año por tipo de combustible. Fuente: (INE)	56
Figura 57: km medios recorridos al año por sexo y tipo de combustible. Fuente: (INE)	56
Figura 58: km medios recorridos al año por edad y tipo de combustible. Fuente: (INE)	57
Figura 59: Encuesta de Hogares y Medio Ambiente. Detalle de la pregunta nº 70 apartado 5. Fuente: (INE).....	58
Figura 60: km medios recorridos al año según la antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)	58
Figura 61: Porcentaje de vehículos por antigüedad. Fuente: (INE)	59
Figura 62: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)	60
Figura 63: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y lugar de aparcamiento. Fuente: (INE)	60
Figura 64: Porcentaje de vehículos respecto la edad del conductor. Fuente: (INE)	61
Figura 65: Vehículos de turismo matriculados respecto la edad del conductor. Fuente: (INE)	62
Figura 66: Vehículos por habitante 2002 a 2014: Ciclomotores, motos y turismos. Fuente: (INE)	63
Figura 67: Parque de vehículos por sexo y tipo de turismo. Fuente: (INE).....	64
Figura 68: Parque de vehículos por edad y tipo de turismo. Fuente: (INE)	64
Figura 69: Porcentajes de valoración de vehículos de segunda mano en función de los años de uso. Fuente: (BOE)	65

Figura 70: Precio promedio a terceros. Aseguradoras de venta directa o tradicional. Elaboración a partir de (expansion.com).....	68
Figura 71: Precio medio de los combustibles en España, 2011-2016. Fuente: (dieselgasolina.com)	75
Figura 72: Estructura de precios de los carburantes. Fuente: (AOP)	76
Figura 73: Costes fijos promedio. Elaboración propia.	80
Figura 74: Costes Variables Promedio. Elaboración propia.	81
Figura 75: Hipótesis realizadas en los escenarios de coste mínimo y máximo. Elaboración propia.	84
Figura 76: Costes fijos, variables y coste financiero en promedio en los diferentes escenarios. Elaboración propia.	85
Figura 77: Vehículos Smart de la empresa Car2go en Madrid. Fuente: (el confidencial).....	88
Figura 78: Velocidad media del tráfico en Madrid en el año 2005. Fuente: (20minutos, 2006)	90
Figura 79: Número de viajes entre coronas en medios mecanizados. Fuente: (EDM 04, 2004)	91
Figura 80: Distribución del coste promedio anual. Empresa Bluemove. Elaboración propia.....	96
Figura 81: Distribución del coste promedio anual. Empresa Respiro Car Sharing. Elaboración propia.	98
Figura 82: Distribución del coste promedio anual. Empresa Avancar. Elaboración propia.....	100
Figura 83: Coste total del vehículo privado en función de los kilómetros realizados y modelo del vehículo. Elaboración propia.	102
Figura 84: Promedio del coste total en vehículo privado según los km recorridos. Elaboración propia..	103
Figura 85: Coste total en función de los kilómetros recorridos: Bluemove, Respiro, Avancar. Elaboración propia.	104
Figura 86: Promedio del coste total en uso compartido del vehículo según los km recorridos. Elaboración propia.	105
Figura 87: Comparativa del coste total vehículo privado vs car sharing. Elaboración propia.	105
Figura 88: Coste del vehículo privado (sin coste financiero) respecto del car sharing. Elaboración propia.	106
Figura 89: Coste del vehículo privado (con coste máximo) respecto del car sharing. Elaboración propia.	107
Figura 90: Coste del vehículo privado (con coste mínimo) respecto del car sharing. Elaboración propia.	107
Figura 91: Segmentos de vehículos. Fuente: (motor)	109
Figura 92: Potencial de Calentamiento Global de los principales gases. Fuente: (greenfacts)	110
Figura 93: Esquema del proceso de acidificación (lluvia ácida). Fuente: (Volkswagen AG, 2008)	111
Figura 94: Fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo. Fuente: (Domínguez & Ferrer, 2014)....	111
Figura 95: Urban Driving Cycle. Fuente: (Barlow, Latham, Mc Crae, & Boulter, 2009)	112
Figura 96: Extra Urban Driving Cycle. Fuente: (Barlow, Latham, Mc Crae, & Boulter, 2009)	112
Figura 97: Principales prácticas para disminuir el consumo. Fuente: (Dings, 2013).....	113
Figura 98: Relación entre la resistencia a la rodadura y tiempo necesario para detenerse. Fuente: (Transport Canada).....	113
Figura 99: Categorías de impacto consideradas y para cada fase del ciclo de vida y modelo de vehículo. Elaborado a partir de: (Volkswagen AG, 2008) y (Daimler AG).....	115
Figura 100: Impacto ambiental en vehículo privado y en car sharing para cada uno de los 4 escenarios. Elaboración propia.	117
Figura 101: Impacto ambiental promedio en vehículo privado y en car sharing para cada escenario. Elaboración propia.	117
Figura 102: Análisis de sensibilidad de los distintos escenarios del uso compartido del vehículo. Elaboración propia.	118
Figura 103: Coste económico e impacto ambiental para cada uno de los cuatro escenarios. Elaboración propia.	119

Figura 104: Coste económico e impacto ambiental para cada uno de los cuatro escenarios, considerando el coste mínimo. Elaboración propia.....	120
Figura 105: Coste económico promedio vehículos gasolina y diésel. Elaboración propia.	121
Figura 106: Coste económico e impacto ambiental para cada escenario y por tipo de combustible. Elaboración propia.	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estimación de la población mundial, 1960-2012. Elaboración propia a partir de:(U.S. Census Bureau).....	5
Tabla 2: Reservas probadas y consumo anual de combustibles fósiles Gas Natural, Carbón y Petróleo. Elaboración propia a partir de los datos de BP (BP, 2014)	7
Tabla 3: Parámetros del Índice de Desarrollo Humano y datos utilizados. Elaboración propia.	9
Tabla 4: Índice de Desarrollo Humano por regiones. Fuente: (PNUD, 2014)	9
Tabla 5: Matriz MET: Materiales, Energía, Emisiones. Fuente: (REMAR: Red Energía y Medio Ambiente, junio 2011)	13
Tabla 6: Ejemplos de términos. Fuente: (UNE-EN ISO 14044, 2006)	14
Tabla 7: Las cuatro variantes básicas de la ecoeficiencia. Fuente: (Huppes & Ishikawa, 2007)	17
Tabla 8: Normas Euro para motores gasolina y diésel. Adaptado de: (NGK) y (lubrizol).....	24
Tabla 9: Normas EN 590 y EN 228. Fuente: (transportpolicy.net)	31
Tabla 10: Composición media de los vehículos fuera de uso. Fuente: (Plan Nacional de Vehículos al final de su vida útil (2001-2006))	35
Tabla 11: Tipo de combustible usado en los vehículos de los países de la U.E. - 27. Fuente: (European Environmental Agency, 2014)	39
Tabla 12: Energía por unidad de volumen para energía y gasóleo. Adaptado de: (Martínez)	39
Tabla 13: Toneladas de residuos durante el uso y al final de la vida útil de los vehículos durante el año 1999. Fuente: (Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001).....	42
Tabla 14: Objetivos a alcanzar por la Directiva 2000/53/CE antes de 2015. Fuente: (SIGRAUTO).....	43
Tabla 15: Residuos de VFU generados, recuperados y reciclados. Fuente: (EUROSTAT)	43
Tabla 16: Coste de fabricación de un neumático promedio. Fuente: (Ferrer, 1996).....	51
Tabla 17: km medios recorridos al año por sexo y tipo de combustible. Fuente: (INE)	56
Tabla 18: km medios recorridos al año por edad y tipo de combustible. Fuente: (INE).....	57
Tabla 19: km medios recorridos al año por sexo y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE).....	57
Tabla 20: Porcentaje de vehículos por sexo y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)	58
Tabla 21: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y antigüedad del vehículo. Fuente: (INE)	59
Tabla 22: Porcentaje de vehículos por edad del conductor y lugar de aparcamiento. Fuente: (INE)	60
Tabla 23: Parque automovilístico respecto la edad del conductor. Fuente: (INE)	61
Tabla 24: Parque de vehículos 2002 a 2014. Fuente: (DGT)	62
Tabla 25: Población residente por sexo, de 2002 a 2014. Fuente: (INE)	62
Tabla 26: Parque de vehículos por sexo y tipo de turismo. Fuente: (INE)	63
Tabla 27: Parque de vehículos por edad y tipo de turismo. Fuente: (INE)	64
Tabla 28: Marca, modelo y tipo de motor de los vehículos estudiados. Fuente: (km77)	65
Tabla 29: Coste financiero anual para los modelos estudiados. Elaboración propia a partir de (km 77)...	66
Tabla 30: Coste del seguro a terceros básico de las principales aseguradoras. Elaboración propia a partir de (kelisto.es)	67

Tabla 31: Coste promedio del seguro a todo riesgo de las principales aseguradoras. Elaboración propia a partir de (kelisto.es)	67
Tabla 32: Precio medio de compra de plaza de garaje. Fuente: (Consumer)	68
Tabla 33: Cuota del Impuesto sobre Vehículos de Tracción Mecánica, según su Potencia Fiscal. Fuente: (R.D. 2/2004)	69
Tabla 34: Cuota anual del Impuesto de Vehículos de Tracción Mecánica. Elaboración propia.....	70
Tabla 35: Tasa del impuesto de matriculación según el nivel de emisiones. Fuente: (Agencia Tributaria)	70
Tabla 36: Coste del impuesto de matriculación de los vehículos estudiados. Elaboración propia.	70
Tabla 37: Tipología de Vehículos 1, 2 y 3.(Real Decreto 2822/1998, de 23 de Diciembre)	71
Tabla 38: Cuadro de tarifas de inspecciones periódicas, sin IVA. Fuente:(Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)	71
Tabla 39: Cuadro de tarifas de contaminantes de gases de escape. Fuente:(Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)	71
Tabla 40: Cuadro de tarifas para la prueba de emisión sonora, sin IVA. Fuente: (Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)	72
Tabla 41: Coste de la ITV en la Comunidad Valenciana en 2015 según tipología de motor. Fuente: (Acuerdo de 28 de marzo de 2014, del Consell)	72
Tabla 42: Tarifas aplicadas por Comunidades Autónomas de la ITV en turismos. Elaboración propia a partir de: (Autofácil).....	72
Tabla 43: Tarifa promedio utilizada en el cálculo del coste de la Inspección Técnica de Vehículos.....	72
Tabla 44: Empresas de autolavado objeto de estudio, dirección y página web. Elaboración propia.....	73
Tabla 45: Precios de los distintos lavados para las empresas consideradas, según tipo de vehículo. Elaboración propia.	73
Tabla 46: Precios promedio según tipo de lavado y tipo de vehículo. Elaboración propia.	74
Tabla 47: Coste total anual promedio del lavado según tipo de vehículo. Elaboración propia.....	74
Tabla 48: Coste anual del autolavado de los vehículos estudiados. Elaboración propia.....	74
Tabla 49: Precio promedio de los carburantes en el periodo 2011-2016. Elaboración propia.	76
Tabla 50: Coste anual debido al consumo de combustible. Elaboración propia.	76
Tabla 51: Coste de las revisiones de mantenimiento del Mercedes B 180. Fuente: (coches.net)	77
Tabla 52: Coste de las revisiones de mantenimiento del Mercedes C 180. Fuente: (coches.net)	77
Tabla 53: Coste de las revisiones de mantenimiento del Mercedes CLS 180. Fuente: (coches.net)	77
Tabla 54: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A4 Gasolina. Fuente: (coches.net)	77
Tabla 55: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A4 Diésel. Fuente: (coches.net)	78
Tabla 56: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A5 Otto. Fuente: (coches.net)	78
Tabla 57: Coste de las revisiones de mantenimiento del VW Golf A5 Diésel. Fuente: (coches.net)	78
Tabla 58: Coste anual promedio de operaciones de mantenimiento. Elaboración propia.	78
Tabla 59: Lista de precios y características de neumáticos 175/65 R14 T. Fuente: (OCU, Abril 2014).....	79
Tabla 60: Lista de precios y características de neumáticos 195/65 R15 V. Fuente: (OCU, Abril 2014)	79
Tabla 61: Coste anual de los neumáticos para los diferentes modelos estudiados. Elaboración propia. ...	80
Tabla 62: Costes fijos de los diferentes modelos. Elaboración propia.....	80
Tabla 63: Costes variables de los diferentes modelos. Elaboración propia.....	81
Tabla 64: Coste total anual. Elaboración propia.	81
Tabla 65: Costes fijos en el escenario de mínimo coste. Elaboración propia	82
Tabla 66: Frecuencia de las revisiones de mantenimiento según marca del vehículo. Fuente: (coches.net)	82
Tabla 67: Costes variables en el escenario de mínimo coste. Elaboración propia.	82
Tabla 68: Coste total en el escenario de mínimo coste. Elaboración propia.....	83
Tabla 69: Costes fijos en el escenario de máximo coste. Elaboración propia.....	83

Tabla 70: Costes variables en el escenario de máximo coste. Elaboración propia.	83
Tabla 71: Costes fijos, variables y totales en los diferentes escenarios. Elaboración propia.	84
Tabla 72: Tarifas de la empresa Bluemove. Fuente: (Bluemove)	86
Tabla 73: Tarifas de la empresa Respiro Car Sharing. Fuente: (Respiro Car Sharing)	87
Tabla 74: Tarifas de la empresa Avancar. Fuente: (Avancar)	87
Tabla 75: Tarifas de la empresa Car2go. Fuente: (Car2go)	88
Tabla 76: Distribución de velocidades de vehículos ligeros 2002-2014 en carreteras convencionales. Fuente: (DGT)	89
Tabla 77: Distribución de velocidades de vehículos ligeros 2002-2014 en autovías. Fuente: (DGT).....	90
Tabla 78: Distribución de velocidades en distintas zonas de Madrid, periodo 2004-2012. Fuente: (6º Informe del Estado de la Movilidad de la ciudad de Madrid, 2013)	90
Tabla 79: Velocidad media global en Ciudad, Carretera y Autopista. Elaboración propia.	91
Tabla 80: Matriz origen-destino entre coronas. Elaboración propia.	91
Tabla 81: Estimación de los kilómetros recorridos entre zonas. Elaboración propia.	92
Tabla 82: Número de viajes según el tipo de vía utilizada y los kilómetros recorridos. Elaboración propia.	92
Tabla 83: Porcentaje de viajes según el tipo de vía utilizada y kilómetros recorridos. Elaboración propia.	92
Tabla 84: Velocidad promedio en función de la longitud del trayecto a realizar. Elaboración propia.....	93
Tabla 85: Longitud total recorrida por tipo de vía. Fuente: (DGT).....	93
Tabla 86: Longitud recorrida porcentual según tipo de vía: Urbano, Carretera y Autopista. Elaboración propia.	93
Tabla 87: Tarifa horaria promedio empresas Bluemove, Respiro y Avancar. Elaboración propia.	94
Tabla 88: Coste por kilometraje empresas Bluemove, Respiro y Avancar. Elaboración propia.	94
Tabla 89: Cuota de usuario de las empresas Bluemove, Respiro y Avancar. Elaboración propia.	94
Tabla 90: Estimación del mínimo coste total de la empresa Bluemove. Elaboración propia.	96
Tabla 91: Estimación del mínimo coste total de la empresa Respiro. Elaboración propia.	98
Tabla 92: Estimación del mínimo coste total de la empresa Avancar. Elaboración propia.	100
Tabla 93: Coste total anual estimado para las empresas de Car Sharing estudiadas. Elaboración propia.	100
Tabla 94: Coste total del vehículo privado en función de los kilómetros realizados y modelo del vehículo. Elaboración propia.	102
Tabla 95: Coste horario, coste por kilómetro y cuota anual por tarifas y gama de vehículos seleccionadas. Elaboración propia.	103
Tabla 96: Costes totales de las empresas estudiadas en función de los kilómetros recorridos. Elaboración propia.	104
Tabla 97: Dimensiones y segmento de los modelos estudiados. Fuente: (km77)	109
Tabla 98: Categorías de impacto consideradas para cada fase del ciclo de vida y modelo de vehículo. Fuente: (Volkswagen AG, 2008) y (Daimler AG)	114
Tabla 99: Factores de normalización para las categorías de impacto. Fuente: (Open LCA)	116
Tabla 100: Ejemplo de cálculo de la puntuación de impacto ambiental para el modelo B 180. Elaboración propia.	116
Tabla 101: Impacto ambiental en vehículo privado y en car sharing para cada uno de los 4 escenarios. Elaboración propia.	117
Tabla 102: Coste económico e impacto ambiental para cada uno de los cuatro escenarios. Elaboración propia.	119
Tabla 103: Coste económico e impacto ambiental para cada escenario y por tipo de combustible. Elaboración propia.	121

