



MASTER EN INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

RECICLADO DE LOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA DE LA AUTOMOCIÓN

Autor: Dña. Laura Goldschmidt Alonso

Tutor: D. José María Pastor Barajas

Valladolid, Septiembre de 2015

Escuela Ingenierías Industriales

Depto. Ing^a Energética y Fluidomecánica

Paseo del Cauce 59

47011 Valladolid
(España)



Fundación Cidaut

Parque Tecnológico de Boecillo, 209

47151 Boecillo (Valladolid)

España



RECICLADO DE LOS PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA DE LA AUTOMOCIÓN

RESUMEN

El uso de materiales plásticos en la industria de la automoción se ha visto incrementado debido a la necesidad que existe de fabricar vehículos más ligeros con el fin de que estos sean menos contaminantes para poder cumplir con las nuevas normas que restringen las emisiones, normativa Euro VI en el caso de Europa, y con el fin de reducir el consumo de combustible, derivado de los altos precios del mismo.

Las predicciones de crecimiento del parque de vehículos ligeros nos muestran cómo en los próximos años éste seguirá creciendo motivado por los países en vías de desarrollo como Brasil, China o Turquía. Esto hará que el porcentaje de residuos plásticos que deberá ser tratado proveniente de los vehículos fuera de uso sea aún mayor en el futuro.

Por tanto, los sistemas de gestión de los vehículos fuera de uso deberán estar preparados para poder llevar a cabo un correcto reciclaje y recuperación de los materiales plásticos.

Motivado por todo esto aumenta la necesidad de diseñar los vehículos pensando en su desmontaje una vez lleguen al fin de su vida útil, para facilitar la labor a los entes responsables del desmontaje y descontaminación de los vehículos.

La Comunidad Europea, a través de una Directiva Europea, ha establecido a partir del año 2015 como objetivo que al menos el 85% del peso total de un vehículo sea reutilizable o reciclable y el 95% reutilizable o recuperable.

Estas medidas tienen como objetivo el reducir al máximo la cantidad de residuos que son enviadas a vertederos. La problemática de la deposición final de los plásticos es mayor que la de otros materiales, ya que tardan cientos de años en degradarse.

Por todo ello además de un correcto tratamiento de los residuos plásticos obtenidos en el desmontaje de los vehículos al final de su vida útil, también habrá que mejorar la eficiencia de los sistemas de recuperación y reciclaje de la fracción residual proveniente de los automóviles, cuyo tratamiento presenta una mayor complejidad debido a la necesidad de separar estos materiales de otros.

Un diseño ecológico, pensando en todas las etapas del producto, es necesario en las fases de diseño y fabricación, y el desarrollo y evolución de los sistemas y técnicas de reciclaje son necesarios para un correcto tratamiento de los residuos plásticos al final de la vida útil de los vehículos.

RECYCLING OF PLASTICS IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

ABSTRACT

The use of plastics in the automotive industry has been increased due to the need to manufacture lighter vehicles. This is motivated for the new regulations restricting emissions, standard Euro VI in the case of Europe, and in order to reduce fuel consumption.

The predictions of increase of number of light vehicles show us how, in the coming years, it will continue to grow driven by developing countries such as Brazil, China and Turkey. This will cause the percentage of plastic waste that should be managed from ELVs will be even greater in the future.

Therefore, the management systems of end-of-life vehicles should be prepared to conduct a proper recycling and recovery of plastics.

Motivated by all of this, increases the need to design vehicles thinking in the dismantling once they reach the end of its useful life to facilitate the work of the agencies responsible for dismantling and decontamination of the vehicles.

The European Community, through a European Directive, has been established since 2015 as a target that at least 85% of the total weight of a vehicle is reusable or recyclable and 95% reusable or recoverable.

These measures aim to minimize the amount of waste that is landfilled. The problem of final disposal of the plastic is higher than other materials because they take hundreds of years to decompose.

Therefore, in addition to appropriate treatment of plastic waste obtained from the dismantling of ELVs, it will also have to improve the efficiency of systems recovery and recycling of the automobile shredder residues (ASR), whose treatment shows greater complexity due to the need to separate these materials from the others.

An ecological design thinking at all stages of the product is required in the design and manufacturing stages, and the development and evolution of systems and recycling technologies are required for proper treatment of plastic waste of ELV.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a todas las personas que me han apoyado durante este año y que me han acompañado a lo largo de la elaboración de este trabajo, dándome ánimos y fuerza en los momentos en los que lo necesitaba. Familia, amigos, parte de este trabajo es vuestro.

Agradecer de igual manera a todos los profesores del Máster de Ingeniería de Automoción su labor y esfuerzo en formar y transmitir sus conocimientos a todas las personas que nos apuntamos con ilusión en este proyecto hace ya dos años.

A todos mis compañeros del máster, porque de todos he aprendido un poco y porque ha sido un placer trabajar con ellos.

Y en especial a uno de ellos, porque de mi paso por este máster no me llevo sólo experiencia y conocimientos. Gracias Diego por estar ahí en todo momento.

NOMENCLATURA

ABS acrilonitrilo butadieno estireno

ASA acrilonitrilo estireno acrilato

ASR fracción residual del automóvil

CFCs clorofluorocarbonados

ELVs vehículos fuera de uso

M1 vehículo para transporte de pasajeros y que no contenga más de 8 asientos además del asiento del conductor.

N1 vehículos utilizados para transporte de carga y con un peso máximo que no exceda las 3.5 toneladas métricas

PA poliamida

PBT polibutileno tereftalato

PC policarbonato

PE polietileno

PE-HD y HDPE polietileno de alta densidad

PE-LD polietileno de baja densidad

PE-LLD polietileno linear de baja densidad

PET polietilentereftalato

PMMA polimetilmetacrilato

PP polipropileno

PPE polipropileno expandido

PPO óxido de polifenileno

PS poliestireno

PS-E poliestireno expandido

PUR poliuretano

PVA poliacetato de vinilo

PVB butiral de polivinilo

PVC policloruro de vinilo

SAN estireno acrilonitrilo

SR fracción residual

TPU poliuretano termoplástico

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes y justificación del TFM.....	1
1.1.1	Historia y evolución de los plásticos.....	4
1.1.2	Definición de plástico.	7
1.1.3	Tipos de plásticos.	7
1.2	Objetivos.....	9
2	LOS PLÁSTICOS Y SU RECICLAJE.....	11
2.1	Estado de la industria del plástico en Europa.	11
2.2	Los plásticos, Europa y la industria de la automoción.....	14
2.3	Partes del automóvil fabricadas de material plástico.	16
2.4	Tratamiento de los vehículos fuera de uso (ELVs).....	22
2.5	Normativas aplicables sobre los sistemas de reciclaje de los vehículos fuera de uso (ELVs)	23
3	POSIBILIDADES TÉCNICAS PARA SATISFACER EL RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS.....	29
3.1	Gestión de los residuos plásticos al final de su vida útil.....	29
3.2	Reciclaje mecánico.	30
3.3	Reciclaje químico.....	31
3.4	Valorización energética.....	34
3.5	Técnicas de recuperación de fibras de vidrio y fibras de carbono de plásticos reforzados. ...	38
4	POSICIÓN DE LOS FABRICANTES DE AUTOMÓVILES ANTE LAS POLÍTICAS DE RECICLAJE.....	39
4.1	Renault.....	39
4.2	Ford.....	39
4.3	Seat.....	40
4.4	Opel.	40
4.5	Mazda.	40
5	RESULTADOS.....	41
6	CONCLUSIONES	43
6.1	Resumen de resultados.	43
6.2	Principales aportaciones del autor del TFM.	43
6.3	Sugerencias para trabajos futuros.	43
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y justificación del TFM.

A lo largo de los últimos cincuenta años la industria de los plásticos ha crecido de manera exponencial, experimentando una evolución en tiempo y magnitud de proporciones gigantescas.

Ha sido un fenómeno de sustitución progresiva de los materiales naturales tradicionales con las nuevas sustancias sintéticas que ha conseguido abaratar, estandarizar y realizar a mayor velocidad la fabricación de un sin fin de objetos.

En el caso que nos compete, la solución del uso de materiales plásticos en la industria del automóvil surge a partir de la necesidad de fabricar coches más ligeros y menos contaminantes a un precio competitivo, sin perder de vista aspectos como el diseño, la comodidad, y otros tan importantes como la fiabilidad y la seguridad.

En lo que concierne a la limitación de las emisiones de los vehículos, hay que tener en cuenta que cada vez existe una mayor conciencia ecológica en la sociedad, y que debido a ello, se han creado en cada vez más países leyes y normativas que restringen la cantidad de emisiones que los nuevos vehículos fabricados puedan tener.

En el siguiente mapa, desarrollado por *United Nations Environment The Programme Partnership for Clean Fuels and Vehicle (UNEP PCFV), 2015*, podemos observar qué países se encuentran bajo una normativa de restricción de emisiones y, la equivalencia a las normas Euro de dichas normativas.

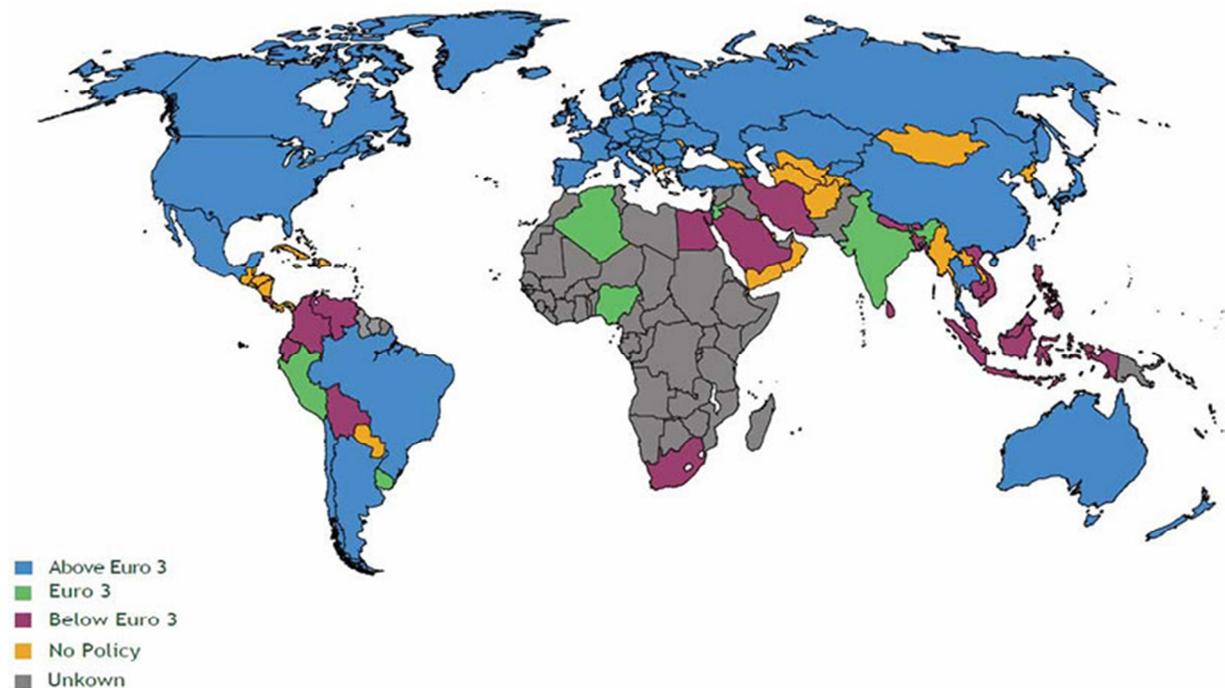


Figura 1: Normas de emisiones de vehículos, abril 2015.

Las primeras normas que restringieron las emisiones de los vehículos fueron impuestas por el gobierno americano en EEUU a finales de los años 70. En Europa no sería hasta más tarde, en el año 1987, que se crearon y aprobaron las normas Euro como medidas de obligado cumplimiento para los fabricantes desde su introducción en el año 1993. Desde entonces, y como podemos observar en la siguiente tabla, extraída del informe BASMA, elaborada a partir de datos de la Comisión Europea, dicha normativa ha evolucionado hasta encontrarnos actualmente con la aplicación de la norma Euro VI:

TIPO	AÑO	CO	HC + NO _x	HC	NO _x	PM
Vehículos con motor de Gasolina:						
Euro I	1992	2,72	0,97	-	-	
Euro II	1996	2,20	0,50	-	-	
Euro III	2000	2,30	-	0,20	0,15	
Euro IV	2005	1,00	-	0,10	0,08	
Euro V	2009	1,00	-	0,10	0,06	0,005
Euro VI	2014	1,00	-	0,10	0,06	0,005
Vehículos con motor Diesel:						
Euro I	1992	2,72	0,97	-	-	0,140
Euro II	1996	1,00	0,70	-	-	0,080
Euro III	2000	0,64	0,56	-	0,50	0,050
Euro IV	2005	0,50	0,30	-	0,25	0,025
Euro V	2009	0,50	0,23	-	0,18	0,005
Euro VI	2014	0,50	0,17	-	0,08	0,005

Tabla 1: límites de emisiones para turismos, g/km.

Por otro lado, aparte de encontrarnos con restricciones aplicadas a partir de normativas, existe también el problema del aumento del precio del combustible. Como sabemos, los combustibles fósiles son un recurso natural no renovable, finito, y cuyo precio fluctúa según las situaciones de los mercados mundiales. En el siguiente gráfico, elaborado por *Bruegel, 2015*, a partir de datos de la *U.S Energy Information Administration*, podemos apreciar el carácter fluctuante del precio del petróleo y cómo la tendencia general es a un encarecimiento del mismo.

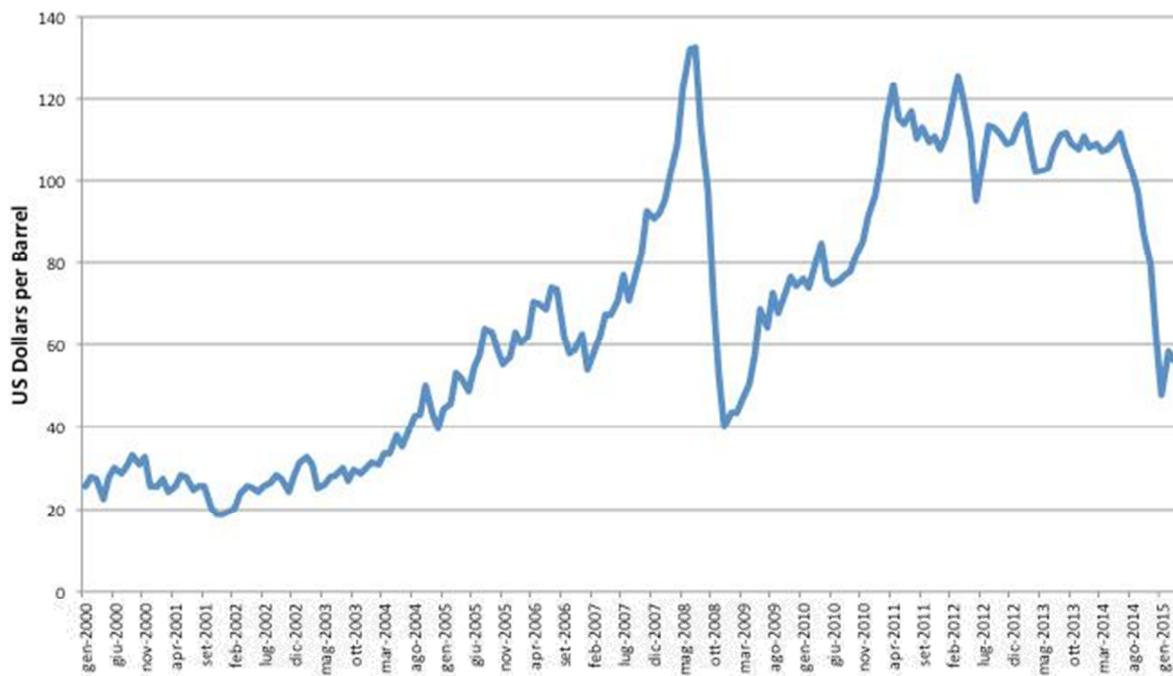


Figura 2: Evolución del precio del barril de petróleo.

La aplicación de mayores restricciones sobre las emisiones, así como la búsqueda y desarrollo de nuevas tecnologías capaces de utilizar combustibles alternativos que sustituyan a los clásicos combustibles basados en el petróleo, se traducen en un mayor coste de inversión en desarrollo, investigación y tecnología para la fabricación de nuevos automóviles.

Si los vehículos ligeros han de ser ambientalmente sostenibles, la industria automovilística deberá realizar cambios fundamentales en el diseño de los nuevos coches. Factores importantes para evaluar las necesidades de diseño son el ahorro de combustible y la disminución de emisiones.

Son muchos los parámetros de diseño que pueden impactar en las emisiones de aire y en el consumo de energía, desde el uso de combustibles alternativos o motores con nuevas tecnologías, la resistencia a la rodadura, la aerodinámica del vehículo o el peso del mismo.

Éste último, el peso del vehículo, será la clave principal, y una reducción del mismo se traducirá en un menor consumo de energía a través de todos los elementos de distribución de la misma. Los materiales ligeros como los plásticos o los composites deberán desarrollarse de manera que puedan llegar a sustituir a los actuales materiales, incorporando características de diseño que faciliten su reciclaje y recuperación al final de la vida del producto.

De acuerdo con los datos publicados por el Observatorio Cetelem, 2015, en el documento titulado “*El mercado mundial del automóvil: buenas perspectivas de crecimiento*”, en los últimos 7 años, el número de vehículos por cada 1000 habitantes ha aumentado notoriamente en países en actual crecimiento, como son Brasil, China, Turquía, o dentro de la Unión Europea, en Polonia. La evolución la podemos ver en la siguiente gráfica, adaptada de dicho informe.

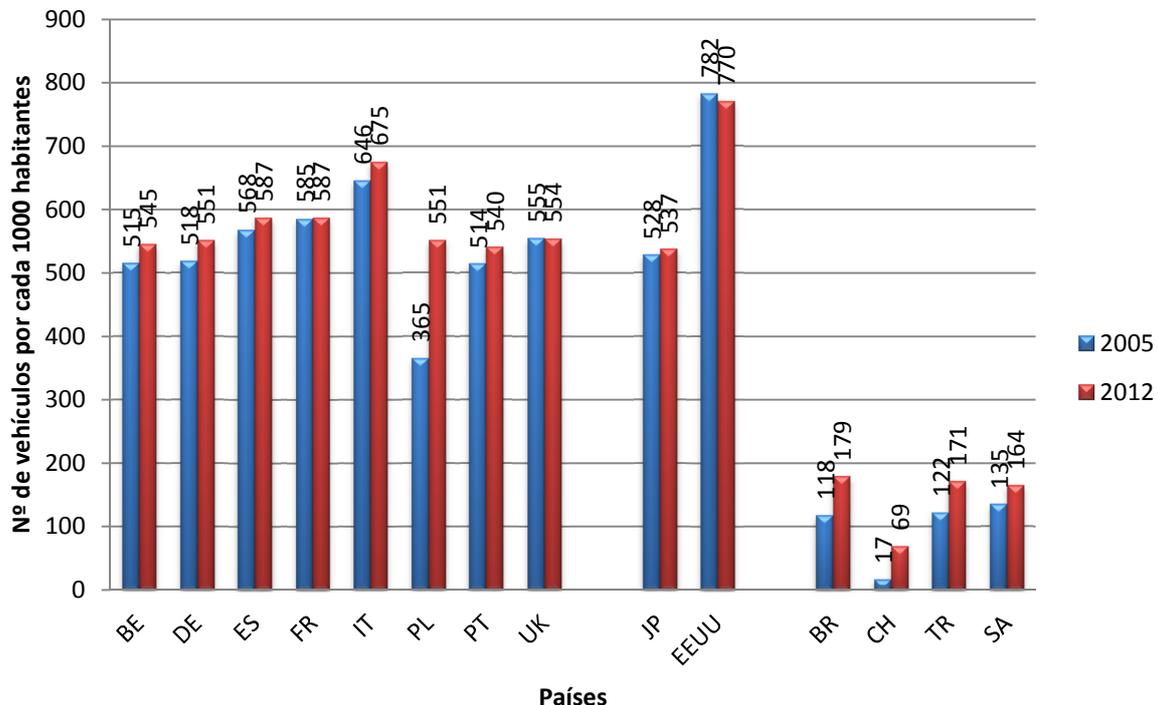


Figura 3: Parque de vehículos ligeros a disposición por cada 1000 habitantes. Años 2005 y 2012. Fuente. Observatorio Cetelem.

La previsión que recoge el mismo organismo para el parque de vehículos ligeros en el futuro, con vistas al año 2020, nos muestran cómo los países emergentes seguirán creciendo, aumentando el número de vehículos a disposición por cada 1000 habitantes, mientras que los países desarrollados se acercan a su nivel de saturación, lo que hará que se estabilicen en esos países el número de vehículos en uso.

La siguiente gráfica, adaptada del mismo documento que la mostrada anteriormente, nos muestra la previsión de crecimiento de los países anteriormente mencionados de cara al año 2020.

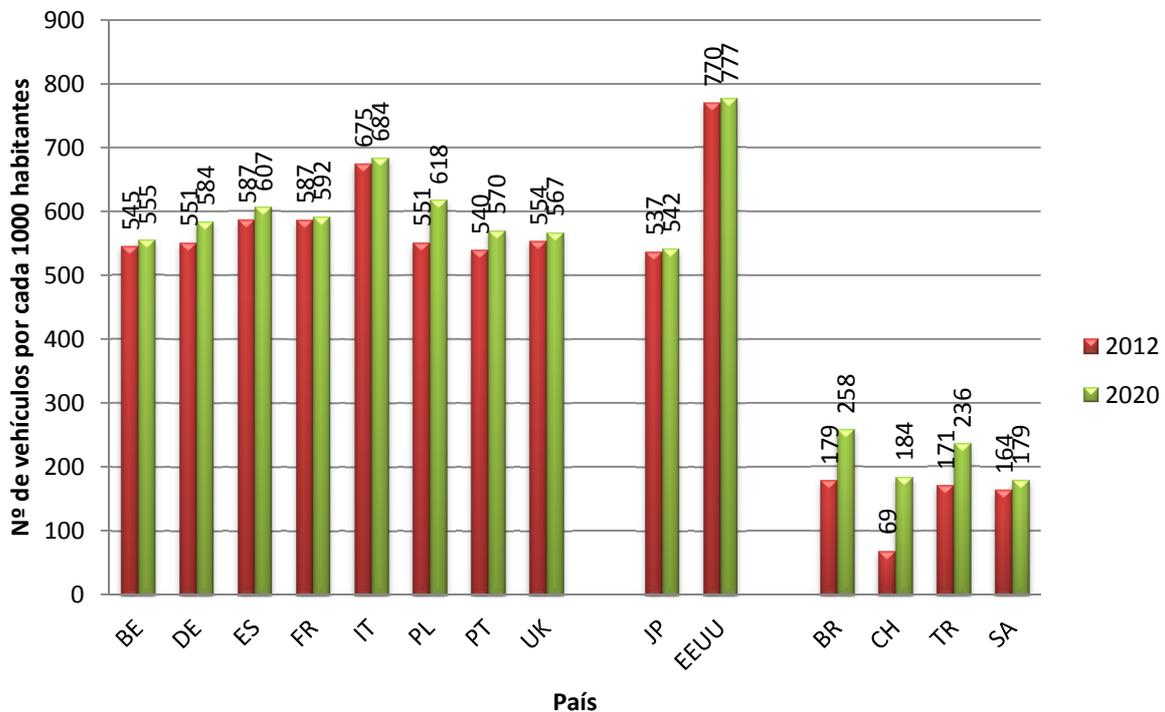


Figura 4: Parque de vehículos ligeros a disposición por cada 1000 habitantes. Años 2012 y previsión 2020. Fuente: Observatorio Cetelem.

Por tanto, en el futuro, el porcentaje de aplicación de materiales plásticos en un automóvil se incrementará notablemente, y si a esto le sumamos los pronósticos sobre la evolución del parque de vehículos ligeros en el mundo, que muestran como durante los próximos años el número de vehículos registrados aumentará en gran medida, tenemos un incremento del impacto medioambiental de los plásticos utilizados por esta industria a nivel mundial.

La tendencia que se seguirá en el futuro será la de diseñar vehículos con un menor número de materiales diferentes y de componentes, todo esto combinado con un diseño que facilite su desmontaje. La construcción monomaterial puede crear vehículos diseñados con mejor reciclabilidad, así como reducir el número de partes de la que conste el vehículo y su peso.

Teniendo en cuenta todo lo que se ha dicho hasta ahora queda demostrado como la industria de los plásticos, y concretamente la referente a la fabricación de piezas para el automóvil, sufrirá un gran crecimiento a medio plazo, lo que se traduce en la necesidad de avanzar en el desarrollo de los métodos de reciclaje de este material, ya que compondrá un porcentaje cada vez mayor del peso del vehículo y por tanto de todos los vehículos al final de su vida útil. Los sistemas de gestión de estos residuos deberán estar preparados para poder llevar a cabo un correcto reciclaje y recuperación de los materiales plásticos.

1.1.1 Historia y evolución de los plásticos.

La historia de los plásticos se remonta a más de 100 años atrás, pero a pesar de eso, y comparada con la de otros materiales, podemos decir que este tipo de material es relativamente moderno.

Bien es cierto que en la naturaleza siempre han existido los polímeros naturales, de características muy similares a las de los polímeros artificiales, y que han sido usados frecuentemente como los materiales modernos. Como ejemplo tenemos el caucho, el algodón o la celulosa.

El primer plástico semisintético fue inventado en 1856 por el británico Alexander Parkes, fruto de la mezcla de celulosa y ácido nítrico, y presentado al mundo en 1862 en la London International Exhibition. Comercializado en un inicio con el nombre de Parkesina y posteriormente como Xylonita, se comenzó a utilizar en la fabricación de objetos decorativos y de otros utensilios como mangos de cuchillos o cajas.

Más adelante, en la década de 1870, los hermanos Hyatt patentan el celuloide, material plástico surgido de la mezcla de nitrato de celulosa con alcanfor. Se dice que su desarrollo surgió de la necesidad de encontrar un material que sustituyese al marfil en la fabricación de bolas de billar durante esa época en Estados Unidos. Su primera aplicación comercial rentable sería la fabricación de piezas dentales.

El problema que presentaba el nitrato de celulosa era su alta inflamabilidad, lo que impedía que se pudiesen utilizar técnicas de moldeo a alta temperatura. Como consecuencia de esto, a principios del siglo XX se descubre el acetato de celulosa, que no presenta este problema. Inicialmente fue utilizado como barniz de revestimiento para impermeabilizar y fijar la tela de las alas y el fuselaje de los primeros aviones.

A principios de ese siglo, concretamente en el año 1907, el químico belga Leo Baekeland inventa el primer plástico sintético patentado, conocido con el nombre de baquelita. Este plástico, producto de fenol y formaldehído obtenido por condensación, es un aislante eléctrico muy eficaz, y se utilizó inicialmente con ese fin en automóviles y productos industriales. Más tarde sería utilizado en la fabricación de productos de consumo tales como teléfonos o cámaras fotográficas.

En el año 1912, el químico alemán Fritz Klatte descubre los principios básicos de la producción industrial del policloruro de vinilo (PVC), aunque no será hasta años más tarde cuando comience su extenso uso. También descubre el acetato de vinilo y consigue patentar su fabricación a partir de gas acetileno. El poliacetato de vinilo (PVA) es el polímero correspondiente que se utiliza en la fabricación de pinturas de látex.

En 1913 el ingeniero textil suizo Jacques Edwin Brandenberger inventó el celofán, el primer plástico para embalajes, traslúcido, flexible e impermeable.

En la década de 1920 se produce el primer plástico moldeable y de color claro, como resultado de una combinación de dióxido de carbono y amoníaco con formaldehído. El producto resultante de esta mezcla es urea de formaldehído, que tiene evidentes ventajas estéticas. De la posibilidad de añadir pigmentos a la mezcla deriva el que por primera vez se utilicen los plásticos por su aspecto y no solo por sus propiedades físicas.

En cuanto a procesos de fabricación, en el año 1921 se construye la primera máquina de moldeo por inyección, y al año siguiente se fabrica la primera montura de gafas en acetato de celulosa.

En 1922 el químico alemán Hermann Staudinger afirma que los plásticos son materiales formados por grandes moléculas o "macromoléculas". A pesar de la oposición de los principales químicos de la época a esta afirmación, los estudios realizados durante la década de 1920 por Staudinger y otros demuestran que las moléculas forman largas estructuras en cadenas. El revolucionario trabajo realizado por Staudinger le vale el Premio Nobel y asienta la base teórica de la química de los polímeros, lo que estimula el desarrollo de los plásticos modernos.

Es en la década de 1930 cuando se producen dos avances que harán que la producción de los plásticos se realice de forma masiva. El primero de ellos es el conocimiento de los fabricantes sobre cómo producir plástico a partir del petróleo: poliestireno, polímeros acrílicos y policloruro de vinilo. El otro avance es la mejora y completa automatización del moldeo por inyección en el año 1937. Esta

evolución se traduce en una reducción del precio del producto terminado, lo que sitúa a los plásticos al alcance de todos los consumidores.

Durante la Segunda Guerra Mundial los plásticos avanzan rápidamente debido a que existía la necesidad de aumentar la producción para reemplazar los productos importados. Las soluciones y las técnicas de producción desarrolladas durante esta época serán utilizadas posteriormente para la obtención de productos de consumo. Muchos de los plásticos que utilizamos hoy en día son desarrollados durante esta época: polietileno, poliestireno, poliéster, politereftalato de etileno y siliconas.

En 1956 se produce una importante innovación en la industria del automóvil. Es la fecha en la que se utiliza por primera vez el plástico en la carrocería. Es Citroën quien comercializa uno de sus modelos con techo de poliéster insaturado reforzado con fibra de vidrio.

Será en esta década también cuando explote la comercialización del polietileno, porque a pesar de haber sido descubierto en 1933 y de haber sido utilizado en gran medida durante la Segunda Guerra mundial como aislante, la industria no explotó todas sus posibilidades hasta los años 50 con la introducción de nuevos catalizadores, que permitieron su producción de forma más económica y segura.

En la década de 1960 la industria de los plásticos está ya bien asentada y es capaz de responder a la demanda de una década única por la importancia del diseño y de la moda. Será en 1963 cuando la industria comience a fabricar artículos domésticos de polipropileno moldeado.

En esta década también comienza la “carrera espacial”, y los plásticos se convierten en elementos importantes para la fabricación de vehículos espaciales. Su bajo peso y facilidad de transformación serán dos elementos claves para la exploración del espacio.

En 1973 se produce la primera crisis del petróleo. El suministro es insuficiente, el precio del petróleo crudo se multiplica y la limitación de las reservas de petróleo se hace evidente. Debido a esto la producción de plásticos cobra mayor importancia, ya que se reconoce que contribuye a reducir el consumo en los transportes y a la generación de energía.

El boom de las comunicaciones durante los 80 y los 90 se deben en gran parte a los plásticos. Sus características de resistencia, bajo peso, aislamiento eléctrico y flexibilidad, hacen que la industria los utilice de manera masiva para la fabricación de ordenadores, cables de fibra óptica y teléfonos. También en la industria del transporte se aumenta la utilización de los plásticos.

Concretamente en los automóviles, entre los años 1974 y 1988, se aumenta en un 11% la utilización de estos materiales. En cuanto a la aviación, es en esta década cuando se hacen las primeras pruebas en vuelo con un avión fabricado enteramente en plástico. Por otro lado, en cuanto a los embases y embalajes, el plástico se convierte en el material de referencia, ya que contribuye a garantizar la calidad de los productos que compramos.

En la década de 1990 los plásticos ya están bien establecidos, pero esto no impide que en este periodo se consigan importantes avances técnicos. Uno de ellos es la creación de nuevos films de alta tecnología en varias capas que permiten mayor tiempo de conservación de productos frescos. Y en 1992, los catalizadores de metaloceno inauguran una nueva era en la producción de polietileno, polipropileno y otras poliolefinas. Los fabricantes son ahora capaces de determinar precisamente la estructura del polímero y por tanto las propiedades físicas de estos plásticos.

Integrando la nueva prioridad de protección del medio ambiente se crean en esta época también técnicas especiales para recuperar y reciclar los plásticos al final de su ciclo de utilización.

1.1.2 Definición de plástico.

En líneas generales se puede decir que un plástico no es más que el material resultante de la preparación de un polímero mediante su aditivación, procesado o modificación física o química.

Si nos vamos a la definición de polímero, base principal del plástico, tenemos que un polímero es un conjunto de muchas unidades más pequeñas, denominadas monómeros, que se unen secuencialmente a través de enlaces covalentes para formar una cadena. El número de monómeros que conformen dicha cadena será el que nos dé el grado de polimerización de dicho polímero.

Los plásticos, obtenidos a partir de estos polímeros, son materiales que presentan unas propiedades y características definidas, pudiendo ser procesados para lograr un acabado determinado.

Según lo expuesto hasta ahora, es fácil llegar a entender cómo a partir de un mismo polímero se pueden obtener infinidad de plásticos diferentes, dependiendo de los aditivos que se le añadan o del procesado que se le practique.

Es por esto que existen infinidad de plásticos diferentes dependiendo de las necesidades de cada industria.

1.1.3 Tipos de plásticos.

En la actualidad existen muchos tipos de plásticos diferentes, pero que se pueden agrupar en tres grandes familias con las siguientes características comunes:

– Termoplásticos:

Los termoplásticos son un tipo de plástico hecho de resina de polímero que bajo unas determinadas condiciones de presión y temperatura son capaces de fluir. Estas características son reversibles, es decir, el termoplástico es un material que puede ser calentado y enfriado repetidas veces y aun así conservará sus propiedades. Esta cualidad hace de los termoplásticos un material con posibilidad de reprocesamiento y reciclaje.

Existen docenas de tipos de termoplásticos distintos, con distinta organización cristalina y densidad. Algunos de los más comunes que se producen hoy en día son el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, poliestireno y policarbonato.

La estructura molecular de los termoplásticos es la más simple, con macromoléculas independientes.



Termoplástico

Figura 5: Estructura de un termoplástico.

El componente más básico de los termoplásticos son los monómeros, así, para la producción del polipropileno se utilizará el propileno, o para producir el polietileno se utilizará el monómero de etileno.

La materia prima utilizada para la fabricación de estos materiales hoy en día se deriva principalmente de materia prima fósil.

En cuanto a las posibles aplicaciones de estos plásticos se puede decir que son muy variadas. Son muy utilizados industrialmente y aplicables a procesos de transformación, sobre todo a inyección.

– Termoestables:

Los plásticos termoestables son compuestos poliméricos en los cuales las cadenas se unen a través de enlaces covalentes, lo que les impide fluir, y, con un aumento de temperatura, al contrario de lo que les sucede a los termoplásticos, pasan a degradarse directamente.



Termoestable

Figura 6: Estructura de un termoestable.

Presentan un carácter rígido y son utilizados en aplicaciones con un alto requerimiento de temperatura, ya que con el aumento de ésta se endurecen.

Los productos termoestables se producen introduciendo el material líquido o en polvo en el molde que le dará su forma y aportando calor. El endurecimiento se produce por reacción química, con frecuencia con enlaces cruzados entre las cadenas.

A través de este proceso el material se endurece volviéndose sólido de forma irreversible.

Los tipos de plásticos termoestables más comunes son los epoxis, poliésteres, compuestos fenólicos y siliconas.

Al contrario que los termoplásticos, los termoestables no son materiales reciclables.

– Elastómeros:

Los elastómeros son estructuras macromoleculares cuyas cadenas se encuentran unidas unas a otras formando una red tridimensional con cadenas largas.

La definición de elastómero según la norma ASTM D 1566 nos dice que un elastómero es “*un material macromolecular que regresa rápidamente a sus dimensiones y forma iniciales, después de ser sustancialmente deformado por un esfuerzo y ser liberado de él*”.



Elastomero

Figura 7: Estructura de un elastómero.

Su estructura en forma de somier, con una reticulación débil, hace que este material se deforme sin sufrir rotura. Debido a que sus moléculas no son independientes, los elastómeros no se pueden fundir ni disolver sin que se rompa la unidad molecular, por lo que su transformación se lleva a cabo durante el reticulado. Existen disolventes que pueden introducirse en la retícula, pero no provocan la disolución del elastómero, si no su hinchado.

En cuanto a las características que debe poseer un elastómero, si nos fijamos en su aspecto mecánico, debe ser blando, altamente deformable, y blando. En cuanto a su aspecto molecular, debe estar compuesto por largas cadenas enrolladas, la temperatura de transición vítrea es mucho menor que la temperatura ambiente, y son vulcanizables o entrecruzables.

El caucho vulcanizado es un ejemplo claro este tipo de material.

1.2 Objetivos.

El objetivo de este trabajo es hacer un análisis del uso de los materiales plásticos en la industria de la automoción, así como estudiar el funcionamiento de los sistemas de gestión de residuos de los vehículos fuera de uso.

Se analizará la legislación vigente para el tratamiento de los vehículos fuera de uso, y se ahondará en la normativa vigente en la Unión Europea, a la vez que se pondrá de manifiesto cuáles son las recomendaciones que hace para el tratamiento de los residuos plásticos provenientes de los automóviles.

Finalmente se estudiarán los distintos métodos que actualmente se llevan a cabo para el reciclaje de los residuos plásticos, y se realizará un análisis final sobre los mismos.

2 LOS PLÁSTICOS Y SU RECICLAJE.

2.1 Estado de la industria del plástico en Europa.

El crecimiento de la industria del plástico ha hecho que este sector sea un sector estratégico de la economía mundial, y más concretamente de la economía europea. Este ocurre no solo directa si no indirectamente también, ya que la industria del plástico es clave para la innovación de muchos productos y tecnologías en otros sectores, como son la generación de energía, construcción, electrónica, embalajes, textil, y el que nos compete en este trabajo, el sector de la automoción.

En el año 2013 la producción mundial de plásticos se elevó a los 299 millones de toneladas, lo que supuso un aumento del 3,9% respecto a los niveles alcanzados en el año 2012. En Europa, y después de la caída que sufrió la industria en el año 2009 debido a la crisis económica, la producción de plásticos se estabilizó, alcanzando los 57 millones de toneladas, lo que supone en torno a un 20% de la producción mundial.

Comparando la industria de plásticos europea con la de otras potencias económicas, vemos cómo Europa se encuentra en el segundo puesto, sólo por detrás de China, en cuanto a la producción de materiales plásticos.

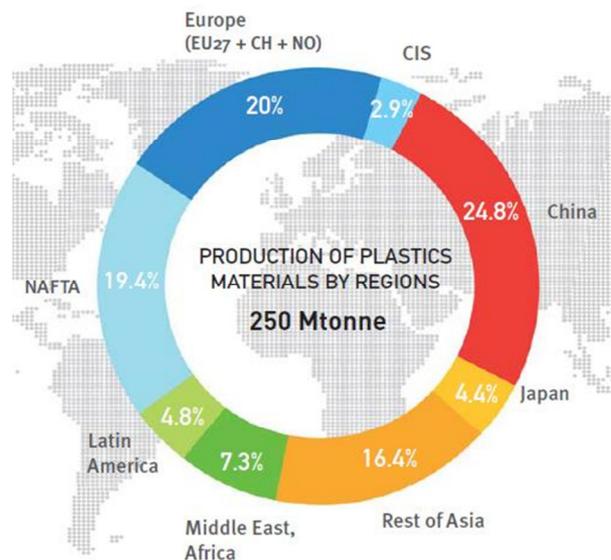


Figura 8: Producción mundial de materiales plásticos, año 2013. Fuente: PlasticEurope (PEMRG) / Consultic.

Si nos fijamos en los datos económicos, la producción de materia prima supuso en el año 2013 a los países europeos un negocio de 99 mil millones de euros. Por otro lado, el procesado y transformación de esta materia prima movió 212 mil millones de euros.

En cuanto al grado de empleabilidad de esta industria, según datos de la Oficina Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT), en el año 2013 estaban empleados 1,4 millones de ciudadanos europeos.

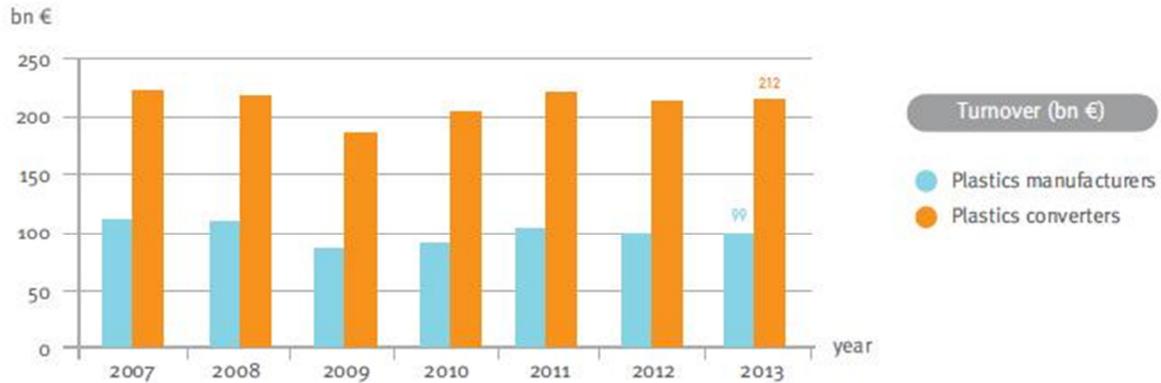


Figura 9: Evolución de las ventas en EU-27. Fuente: PlasticEurope (PEMRG).

No cabe duda por tanto, que la industria de los plásticos es una industria fuerte, y dado que está presente en muchos sectores, seguirá en auge durante los próximos años.

En cuanto a los sectores de aplicación de este material, en Europa los embalajes es el sector de aplicación que mayor porcentaje de plástico demanda. En el año 2013, sobre un consumo total de 46,3 millones de toneladas, este sector acaparó el 39,6% del plástico.

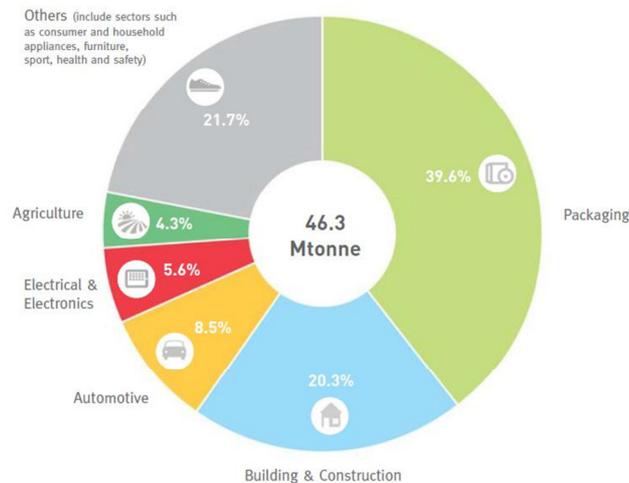


Figura 10: Demanda de plásticos por sectores en Europa en 2013. Fuente: PlasticEurope (PEMRG) / Consultic / ECEBD.

En segundo lugar y con un 20,3% de aplicación del total de la demanda europea se encuentra el sector de la construcción. La automoción es el tercer sector con un 8,5% de la demanda, lo que supone en torno a 3,94 millones de toneladas de plástico destinadas a este sector. Las aplicaciones eléctricas y electrónicas representan el 5,6% de la demanda de plástico, y está seguida de cerca por las aplicaciones en la industria de la agricultura, las cuales representan el 4,3%. Otros sectores de aplicación como son los electrodomésticos, el hogar y productos de consumo, muebles, y productos médicos representan en conjunto un 21,7% de la demanda de plásticos en Europa.

En esta clasificación se han tenido en cuenta todos los distintos plásticos consumidos, pero para hacernos una idea de los porcentajes de distribución de los diferentes tipos de plásticos tenemos que

observar el siguiente gráfico en el que se muestra según el tipo de polímero la distribución en el año 2013, datos publicados por *PlasticsEurope, 2015*.

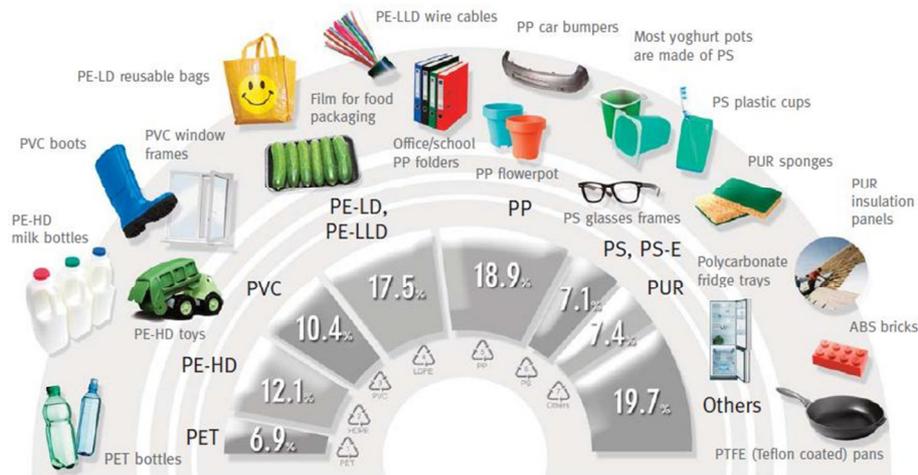


Figura 11: Demanda de plásticos según el tipo de polímero en Europa en 2013. Fuente: PlasticEurope (PEMRG) / Consultic / ECEBD.

Podemos observar como las poliolefinas, polipropileno y polietileno principalmente, fueron los plásticos utilizados en casi el 50% de las aplicaciones en las que se requirió el uso del mismo durante el año 2013 en Europa.

En comparación con el 2012, la demanda de plásticos creció en Europa un 1%. En el siguiente gráfico vemos la evolución entre los años 2011 y 2013.

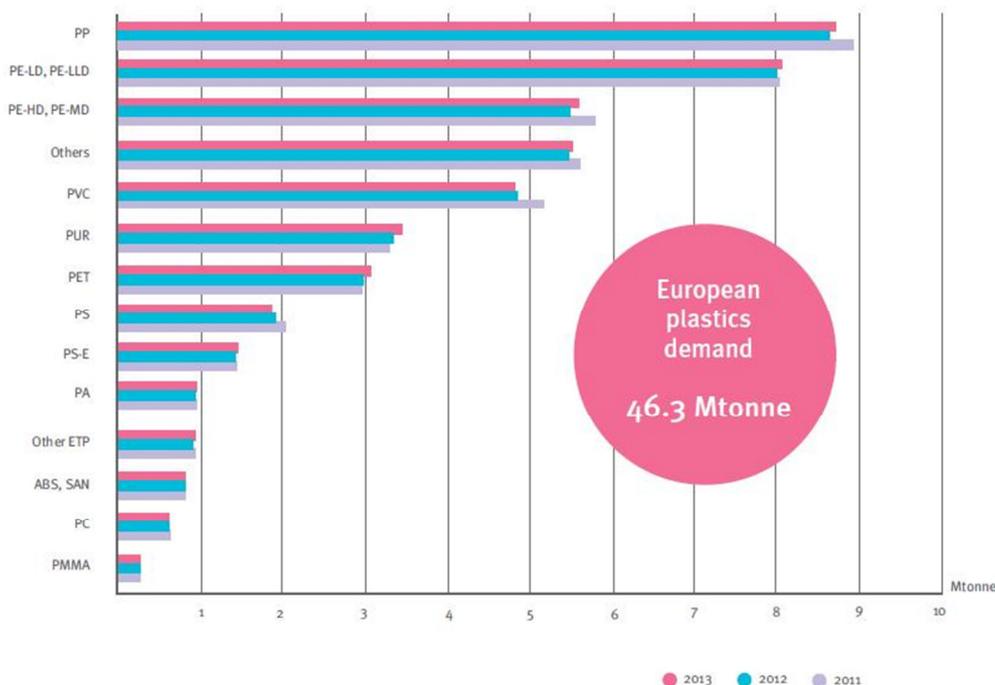


Figura 12: Demanda de plásticos según el tipo de polímero en Europa. Fuente: PlasticEurope (PEMRG) / Consultic / ECEBD.

2.2 Los plásticos, Europa y la industria de la automoción.

Centrándonos ya en el tema que nos compete, vamos a hablar sobre ese 8,5% de plásticos demandados en Europa en el año 2013 para la industria de la automoción. Como ya se ha dicho, estamos hablando de la nada despreciable cantidad de 3,9 millones de toneladas de plástico las que se destinaron ese año al sector automovilístico.

En el siguiente gráfico observamos la distribución en función del tipo de polímero utilizado y del sector de aplicación.

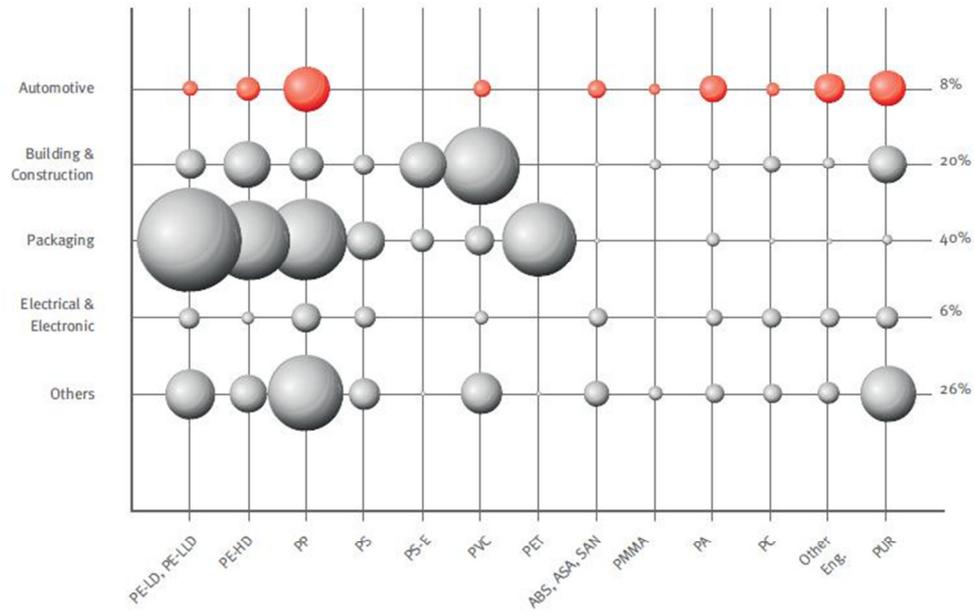


Figura 13: Demanda de plásticos por sectores y tipos en Europa, 2013. Fuente: PlasticEurope (PEMRG).

A lo largo de los últimos años, la cantidad de plásticos utilizados en los vehículos ha aumentado en gran medida. En los años 50, la cantidad de plásticos que podía ser encontrada en un vehículo era nula. Sin embargo hoy en día los plásticos se han convertido en el futuro de la industria del automóvil debido a la creciente preocupación por el medio ambiente.

Como ya se ha dicho, incluso en los países emergentes los cuerpos legislativos están sacando leyes que regulan las emisiones de los vehículos. Sumado a todo esto están los aún persistentes efectos de la crisis global económica, lo que ha tenido como resultado un cambio en el mundo de la fabricación.

Al mismo tiempo una creciente competencia por los recursos energéticos así como el aumento de la demanda por parte de los automóviles ha llevado al incremento del precio del petróleo. Y si a todo esto sumamos que los organismos competentes ponen de manifiesto el reciclaje como medio y solución a estos dos problemas, ya tenemos la respuesta a por qué la tendencia de fabricar vehículos más ligeros.

En el siguiente gráfico, elaborado a partir de datos publicados por *A.T. Kearney, 2012*, podemos observar una evolución de la cantidad de plástico utilizada en la fabricación de un automóvil, desde el año 1970 hasta la predicción para el año 2020.

El aumento del uso de este material en los vehículos, así como de otros materiales ligeros, como pueden ser el magnesio y el aluminio, harán posible que el peso medio de un vehículo en el año 2020 pueda volver a situarse en mínimos como los de 1970, en torno a los 1100 kilogramos, después de haber llegado a los 1400 kilogramos en el año 2010, según publica *A.T. Kearney, 2012*.

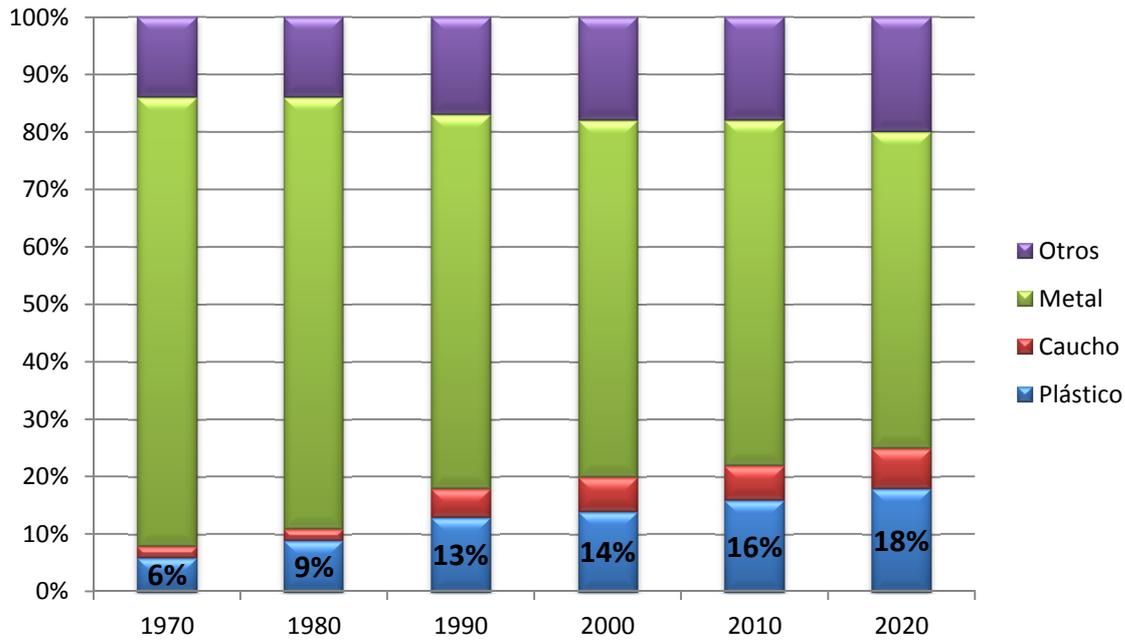


Figura 14: Materiales usados en un vehículo de peso medio. Fuente: A.T. Kearney.

Basándonos en datos proporcionados por *PlasticEurope*, 2013, observamos cómo entre el polipropileno (PP) y el poliuretano (PUR) se llevan prácticamente la mitad del mercado de los plásticos en la industria de la automoción, y que más del 50% de estos plásticos son utilizados para la fabricación de componentes de interior.

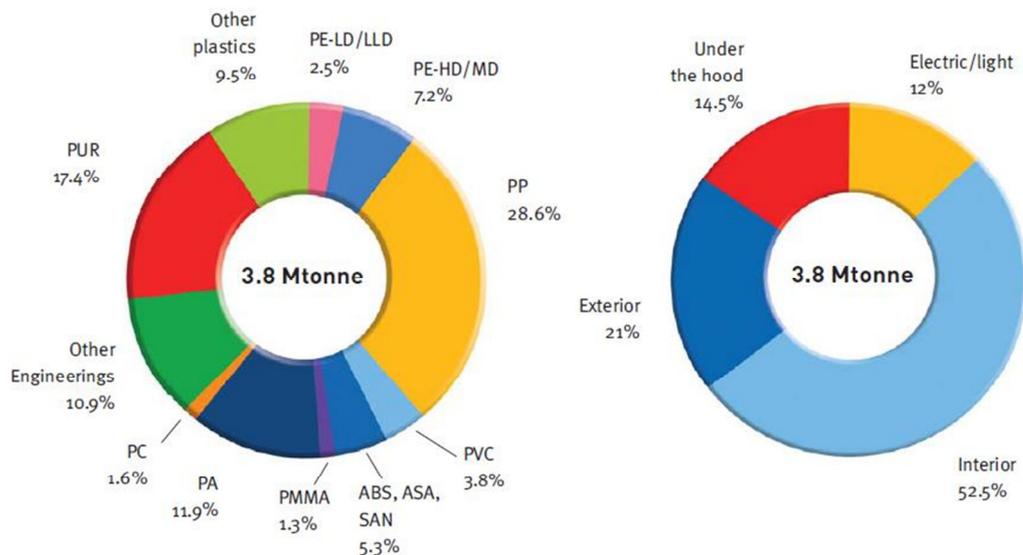


Figura 15: Uso de los plásticos en el sector de la automoción, Europa 2012. Fuente: PlasticEurope.

En el siguiente gráfico, publicado por *PlasticEurope*, 2013, en el mismo documento, podemos ver exactamente la proporción por aplicación y producto de los plásticos utilizados en los vehículos.

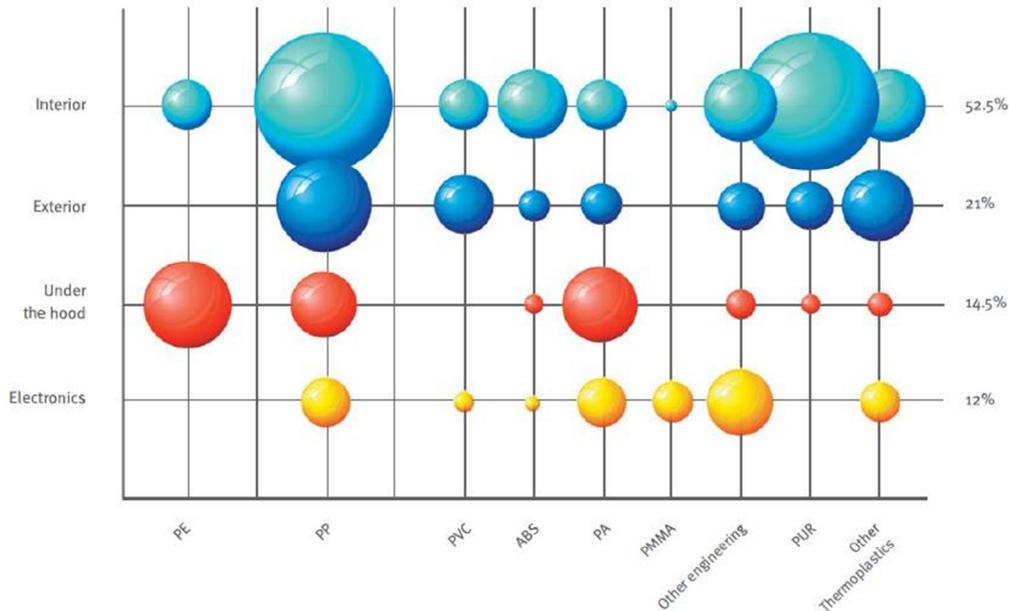


Figura 16: Uso de los plásticos en la industria de la automoción por producto y aplicación, Europa 2012. Fuente: PlasticEurope (PEMRG) / Consultic Marketing & Industrieberatung GmbH.

2.3 Partes del automóvil fabricadas de material plástico.

Existen, en un automóvil de tamaño medio, más de 1000 piezas de distintas formas y tamaños realizadas con polímeros. Aunque hasta trece polímeros diferentes pueden ser usados en un modelo de un coche de gama media, son tres familias las que se emplean en más del 50% de las piezas plásticas: el polipropileno (28,6%), el polietileno (9,7%) y el poliuretano (17,4%).

Estas piezas se encuentran presentes tanto en el interior como en el exterior del vehículo. En este apartado hablaremos de algunas de las partes del vehículo que están fabricadas en plástico y cuál es el polímero utilizado para su fabricación.

Como hemos visto en el gráfico anterior, las piezas interiores del vehículo se llevan más de la mitad del plástico utilizado en el coche, y los polímeros que prevalecen son el polipropileno y el poliuretano.

Entre las piezas fabricadas con este material se encuentran:

- **Paneles de puerta:** los paneles de puerta se fabrican principalmente de PP, PUR, ABS, PVC, o más actualmente a partir de materiales compuestos con matriz polimérica y refuerzo con fibras de materiales naturales. Las matrices de PP o PUR. Las nuevas tecnologías han permitido a los fabricantes dar distintos acabados a las piezas, dotándolas de un tacto “soft” que aporta calidez y confort al habitáculo del vehículo simulando la estética y el tacto de la piel.



Figura 17: Panel de puerta. Fuente: Grupo Antolín.

- Manillas y elevelunas: los elementos que conforman la manilla y el elevelunas de un coche deben ser resistentes a la corrosión, ya que estarán en contacto con agua en muchas ocasiones. El uso de materiales plásticos en su fabricación ha posibilitado que se inyecten piezas rígidas y tenaces que incorporan además un agente lubricante y deslizante que aumenta la vida útil de la pieza. Se utilizan para esta aplicación poliamidas, estando reforzadas en muchas ocasiones con fibra de vidrio para hacer más resistente el material.

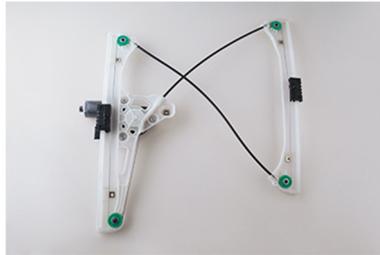


Figura 18: Elevelunas de plástico. Fuente: Grupo Antolín.

- Cuadro de instrumentos: la fabricación del tablero de bordo o cuadro de instrumentos suele estar realizada a partir de espumas de poliuretano que le confieren unas excelentes propiedades, así como consiguen darle un aspecto y un tacto agradable.

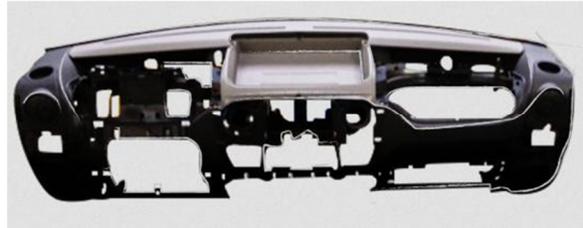


Figura 19: Cuadro de instrumentos. Fuente: Reydel Automotive.

- Volante: para la elección del material del volante se valora que es una de las zonas que más se tiene en cuenta en la ergonomía del coche, por lo que se requiere que el material sea suave y blando. Además de esto, deberá de ser compatible con elementos de seguridad muy importantes, como son el airbag. Se suele realizar su fabricación a partir de espumas de poliuretano.



Figura 20: Volante. Fuente: Mercedes.

- Palanca de cambios: aunque hoy en día la mayoría de las palancas de cambio vienen cubiertas por cuero u otro material, el interior suele estar fabricado a partir de PP reforzado con fibra de vidrio.



Figura 21: Palanca de cambios. Fuente: Volkswagen.

- Asientos: para el relleno de los asientos en los automóviles se suelen utilizar espumas de poliuretano (PUR), así como polipropileno expandido (PPE). Para los revestimientos se utilizan materiales como el poliuretano termoplástico (TPU), el ABS o poliamidas.



Figura 22: Espuma asiento. Fuente: Johnson Controls.

- Reposacabezas: los reposacabezas, al ser un elemento incorporado en el asiento del vehículo, suele estar realizado del mismo material, por lo que el relleno podrá ser espuma de poliuretano (PUR) o polipropileno expandido (PPE).



Figura 23: Reposacabezas. Fuente: Arpem.

- Alfombrillas: cuando hablamos de alfombrillas nos referimos a la alfombra bajo piso, que recubre todo el suelo del habitáculo, así como de las alfombrillas individuales que son colocadas en cada una de las cuatro posiciones de pasajeros del vehículo. Estas alfombras suelen estar fabricadas a partir de espumas flexibles de poliuretanos (PUR).



Figura 24: Alfombrilla. Fuente: Arpem.

- Techo: los techos de los coches son fabricados a partir de espumas de poliuretano, reforzadas con fibras, para aportar a la pieza la capacidad de soportar mayores presiones. Las fibras que se suelen utilizar como refuerzo suelen ser fibras de vidrio, pero cada vez más los fabricantes están incorporando las fibras naturales en sus procesos de fabricación.

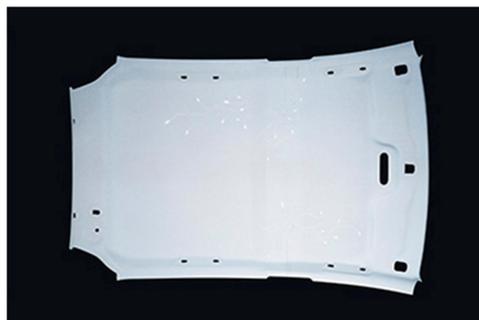


Figura 25: Techo. Fuente: Grupo Antolín.

- Parasoles: este complemento del vehículo se suele fabricar a partir de PP, o de PPE, pudiendo ser este recubierto con otros materiales.



Figura 26: Parasol. Fuente: Grupo Antolín.

- Airbag: suelen estar fabricados de nylon, concretamente de nylon 66.



Figura 27: Airbag. Fuente: TRW.

- Cinturones de seguridad: el material utilizado para la fabricación de estos elementos de seguridad son fibras de polyester.



Figura 28: Cinturón de seguridad.

- Cables: los cables se componen de un núcleo de cobre, que será el material conductor, que estará recubierto del aislante. Éste puede ser de diferentes compuestos como policloruro de vinilo (PVC), polietileno, un elastómero o teflón, entre otros. La elección de uno u otro material depende de la aplicación de dicho cable, lo que determinará las propiedades que deba tener, como la resistencia del cable al calor o a otros elementos, como lubricantes, ácidos y químicos.



Figura 29: Cableado coche. Fuente: Twenga.

- Parachoques: el parachoques, tanto delantero como trasero, suele estar fabricado principalmente de PP, PC o PBT+PC, aunque también es posible encontrarlos de copolímeros de etileno-propileno, PA, PPO, ABS o poliéster reforzado con fibra de vidrio. Además, a veces incluyen PU como absorbente en caso de impacto.



Figura 30: Parachoques. Fuente: Plastic Omnium.

- Aletas: cada vez más elementos de la carrocería de un coche se están empezando a fabricar en plástico, como sustitución al metal. Un ejemplo de ello son las aletas, que para su fabricación utilizarán materiales similares a los ya mencionados para los parachoques: PP, PC o PBT+PC, así como copolímeros de etileno-propileno, PA, PPO, ABS o poliéster reforzado con fibra de vidrio.



Figura 31: Aleta. Fuente: Plastic Omnium.

- Carcasas de retrovisores: para la fabricación de las carcasas de los espejos retrovisores se suelen utilizar polímeros con peores características mecánicas pero de menor coste y peso. Entre los materiales que se utilizan están resinas de ABS, PC y PBT.



Figura 32: Carcasa retrovisor. Fuente: Twenga.

- Iluminación: la fabricación de las carcasas de los intermitentes, los pilotos y los faros se utilizan materiales como ABS y PP habitualmente. Para la fabricación de los faros propiamente dichos, el material que se utiliza es el polimetilmetacrilato (PMMA).



Figura 33: Iluminación. Fuente: Branson.

- Depósito combustible: para la fabricación de los depósitos de combustible se utiliza polietileno de alta densidad (HDPE) y son fabricados mediante moldeo por soplado. Este material y esta tecnología permiten la fabricación del depósito con formas complejas.



Figura 34: Depósito de combustible. Fuente: Plastic Omnium.

- Depósito líquido de freno: para la fabricación de estos depósitos se utiliza el polietileno (PE) reforzado con fibra de vidrio.



Figura 35: Depósito Líquido de frenos. Fuente: Doga.

- Cristales: la fabricación del parabrisas a día de hoy se realiza con vidrio templado, es decir, dos láminas de vidrio unidas mediante una película intermedia de butiral de polivinilo (PVB). Éste tipo de cristal se denomina de seguridad, ya que ante una fractura del mismo, la lámina de plástico retendrá los fragmentos.



Figura 36: Luna de coche. Fuente: Jumasa.

- Neumáticos: los neumáticos de un vehículo están conformados a partir de distintas capas, en las cuales podemos encontrar elementos textiles o lonas con cables de acero, pero cuyo componente principal será siempre el caucho. Una vez se han unido todas las distintas capas, el neumático es llevado a moldes calientes donde se produce el proceso de vulcanizado, y donde el neumático adquiere su forma final.



Figura 37: Neumático. Fuente: Goodyear.

Estos sólo son algunos ejemplos de las piezas que nos podemos encontrar en un coche fabricadas en material plástico. No todos los materiales de los que hemos hablado serán reciclables, pero lo que los fabricantes pretenden, y a lo que esperan llegar, es alcanzar un grado de reciclabilidad del automóvil que supere los mínimos impuestos por las directivas europeas actuales.

2.4 Tratamiento de los vehículos fuera de uso (ELVs).

El proceso de recuperación y reciclado que existe actualmente para los ELVs (vehículos fuera de uso) consiste en el desmontaje, descontaminación y triturado, tratamiento físico y químico de la fracción residual (SR), y el tratamiento de SR para la recuperación de energía.

Durante las etapas de descontaminación y desmontaje se recupera entre un 10% y un 40% del total del vehículo, siendo el 60-90% restante lo enviado a la trituradora para obtener la fracción residual (SR).

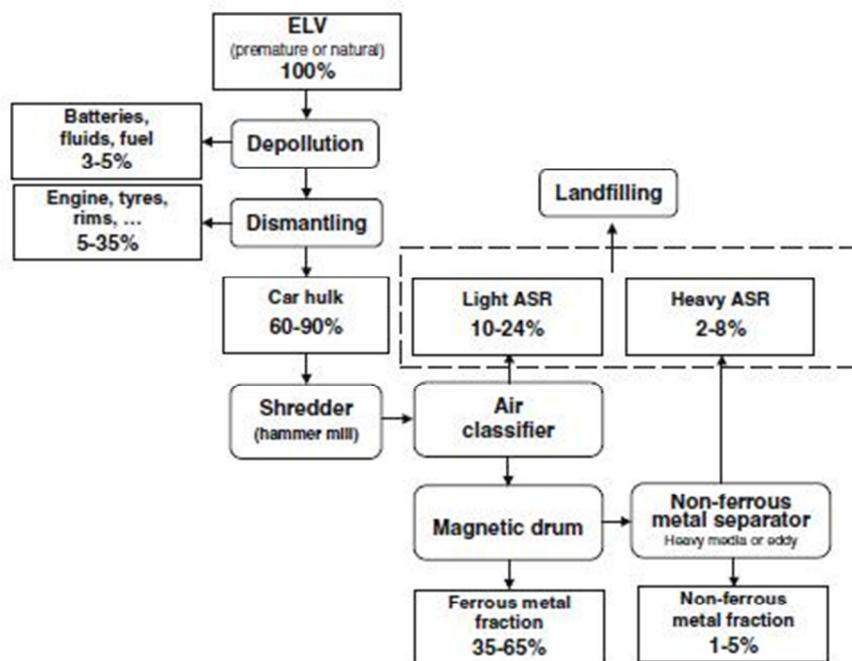


Figura 38: Diagrama esquemático del tratamiento de vehículos fuera de uso (ELVs). Fuente: Journal of Hazardous Materials, I. Vermeulen et al.

Los entes encargados del desmontaje de los vehículos eliminan las partes reutilizables de los mismos para su reutilización en otros vehículos como piezas de segunda mano. Las partes que son reutilizables incluyen motores, transmisiones, puertas y parachoques. Aquellas piezas que pueden ser reparadas o reconstruidas también se quitan, incluyendo alternadores, bombas de agua y embragues. Las piezas a reparar son desmontadas y limpiadas, y los componentes que lo requieren son reemplazados.

Los encargados del desmontaje del vehículo también eliminan los líquidos y demás materiales reciclables, como son las baterías, los convertidores catalíticos, los neumáticos y los plásticos, como método de descontaminación del vehículo. Entre los líquidos que se pueden reciclar están el aceite del motor, el líquido refrigerante y la gasolina.

Se ha desarrollado una herramienta con el fin de ayudar a los encargados de desmontar los ELVs, la base de datos *International Dismantling Information System (IDIS)*. Esta base de datos surge con la intención de aportar información que ayude a la hora de realizar el desmontaje. En ella se muestra

información sobre dónde se pueden encontrar qué materiales dentro del vehículo. Aunque aún tiene muchas limitaciones, puede ser de gran ayuda para identificar en qué parte del coche se encuentran los materiales reciclables, como por ejemplo los plásticos.

Completado el desmontaje y la descontaminación del vehículo, este se compacta y es enviado a una trituradora donde los fragmentos son separados magnéticamente en materiales metálicos y no metálicos.

Como ejemplo de los materiales metálicos que pueden encontrarse en un coche están el acero, aluminio, magnesio, cobre, latón y zinc.

El metal eliminado, incluyendo el recuperado durante la etapa de desmontaje y el que se encuentra en la fracción residual, que se trata de aproximadamente del 75% de un vehículo, es mezclado a continuación con metal virgen antes de ser enviado de nuevo a los fabricantes para su reutilización. Según datos de *American Iron and Steel Institute (AISI)*, más de 18 millones de toneladas de acero provenientes de ELVs son recicladas y reutilizadas cada año. El metal eliminado se vuelve a utilizar, por ejemplo, para la fabricación de chasis y motores de vehículos nuevos.

Entre el resto de materiales no metálicos que componen la fracción residual podemos encontrar: plásticos, madera, cartón, textiles, cuero, pinturas, óxido, cristales, entre otros.

Una vez hecho esto, los materiales que no pueden ser reutilizados ni reciclados, son utilizados para la recuperación de energía. En último lugar lo que se hará será una disposición y gestión final de los residuos.

En el siguiente esquema vemos cuáles son las opciones que existen para el tratamiento de desechos, donde queda clara la tendencia global, la cual prioriza la minimización de residuos y penaliza la incineración de los mismos o su traslado a vertederos.



Figura 39: Pirámide de gestión de residuos. Fuente: Repsol.

2.5 Normativas aplicables sobre los sistemas de reciclaje de los vehículos fuera de uso (ELVs)

La preocupación por la gestión de los vehículos al final de su vida útil no es algo nuevo. Suecia fue uno de los países pioneros en establecer políticas para el reciclaje de los vehículos promulgando ya en el

año 1975 un programa a través del cual devolvía dinero a quien entregaba su vehículo una vez éste había llegado al final de su vida útil. Más tarde, en el año 1997 cambió su estrategia, y optó por establecer una ordenanza sobre la responsabilidad de los productores, exigiendo a los fabricantes que aceptasen de manera gratuita los ELVs y estableciesen un sistema para su gestión.

La industria de automoción sueca comenzó entonces a realizar el reciclaje de los coches usados aplicando métodos avanzados para desmontar y clasificar los componentes del vehículo.

Por otro lado, Suiza y Japón fueron precursores en la conversión térmica de ASR, hecho impulsado en ambos casos por la escasa capacidad de los vertederos en ambos países.

Importadores de automóviles suizos crearon la fundación The Foundation for the Environment-Friendly Disposal of Motor Vehicles (1992), convirtiéndose este país en el primero en deshacerse de todos los residuos de la fragmentación a través de procesos térmicos.

En Holanda, la industria automotriz fundó la organización Auto Recycling Nederland (ARN) para recoger los coches enviados a chatarra y supervisar su desmontaje y reciclado, sin que esto suponga ningún coste para su último propietario. Las tasas de eliminación de los vehículos son financiadas durante el registro de los coches.

Posteriormente, la Unión Europea abordó el problema de los vehículos fuera de uso a través de varias directivas, como la Directiva 2000/53/EC, aplicada a los vehículos fuera de uso, la Directiva 2000/76/EC sobre la incineración de desechos y la Directiva 1999/31/CE relativa a la gestión de residuos en vertederos.

La Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los vehículos al final de su vida útil es la directiva que se aplica a los vehículos y a los vehículos al final de su vida útil, incluidos sus componentes y materiales.

Los objetivos que persigue esta directiva son varios, y conciernen no solo a los Estados miembros, si no también a los operadores económicos (productores, distribuidores, desmontadores, etc.).

El primero de los objetivos que persigue esta Directiva es disminuir la cantidad de residuos que proceden de los vehículos, animando a los fabricantes e importadores de vehículos a reducir el uso de sustancias peligrosas en sus vehículos, así como diseñar y construir vehículos de tal manera que al final de su vida útil de facilite la reutilización y reciclado, y fomentar el uso de materiales reciclados.

Con este fin se prohíbe el uso de ciertos materiales muy contaminantes, como mercurio, cromo hexavalente, cadmio y plomo en la fabricación de componentes de vehículos comercializados con fecha posterior a de julio de 2003.

Para la recogida de los residuos de los vehículos serán los Estados miembros los encargados de establecer los sistemas necesarios, garantizando que los vehículos al final de su vida útil sean trasladados a las instalaciones de tratamiento autorizadas.

El propietario del vehículo recibirá en este punto un certificado de destrucción, Issuance of Certificate of Destruction (CoD), que le permitirá dar de baja la matriculación de su vehículo ante las autoridades públicas. El coste del traslado de los vehículos a las instalaciones será responsabilidad directa de los fabricantes.

El tratamiento de los residuos deberá hacerse conforme a la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, y las instalaciones de tratamiento estarán obligadas a realizar la descontaminación de los vehículos con anterioridad a cualquier otro tratamiento y deberán recuperar todos los componentes que sean nocivos para el medio ambiente.

Otro de los objetivos principales de esta directiva es fomentar la reutilización y valorización, por ello, desde el 1 de enero de 2015, el porcentaje de reutilización y valorización de los vehículos al final de su vida útil debe ser como mínimo de un 95%, y el porcentaje de reutilización y reciclaje de al menos el 85%. Esto quiere decir que solamente un máximo del 10% podrá ser destinado a valorización.

Para facilitar el desmontaje de los componentes, los Estados miembros deberán vigilar que los fabricantes utilicen normas de codificación de componentes y materiales con el fin de poder realizar una correcta identificación de los mismos, lo que al final resultará en una mayor facilidad de desmontaje.

Se obliga por tanto a los productores que por cada nuevo vehículo que saquen al mercado faciliten la información de desmontaje en un plazo de seis meses a partir del inicio de su comercialización.

Fuera ya de Europa, podemos hablar del caso de Japón, donde en el año 2004 se puso en práctica una ley sobre el reciclaje de los automóviles. En ella se obliga a la recuperación de los compuestos clorofluorocarbonados (CFCs), los airbag, y los ASR de los vehículos fuera de uso y a reciclar los materiales restantes de manera correcta.

Es por esto que la mayoría de los fabricantes invierten dinero en el negocio del reciclaje y desarrollan los coches desde la fase de diseño con el fin de que a término sean fáciles de reciclar. Los objetivos de reciclaje fueron situados para el año 2015 en el 70% (incluyendo la recuperación térmica). Bajo la ley del año 2002 ELV Recycling Law, que se basa en la responsabilidad compartida, los consumidores en Japón pagan una cuota cuando compran un coche nuevo (o en el momento de la primera inspección periódica), cuota que es gestionada por el Japan Automobile Recycling Promotion Center (JARC).

Los ratios de reciclaje que tienen establecidos son altos, ya que se obliga a que un 20-30% de las piezas sean recicladas, el 50-55% del material sea reciclado, un 12% del ASR sea reciclado y sólo un 5% enviado a vertedero.

La ley de Corea del Sur, del año 2007, Resource Recycling of Electrical and Electronic Equipment and Vehicles, crea un marco para animar a los productores e importadores a ser responsables sobre el uso de sus recursos.

Además de éstas, también existen en Japón leyes referentes al uso de sustancias peligrosas, la reciclabilidad de materiales, la recogida de ELVs, tasas de reciclaje y el intercambio de información a través de una base de datos on-line.

Por el contrario, en Estados Unidos no existe ninguna ley federal que rija la gestión de los ELVs. Lo que se busca en ese país es que todas las partes implicadas (productores, fabricantes, minoristas, usuarios y eliminadores) compartan la responsabilidad de reducir el impacto de sus productos sobre el medio ambiente. La atención se ha centrado en medidas voluntarias que hagan frente a determinados contaminantes, o que resalten objetivos específicos a la hora de realizar el reciclaje.

Un ejemplo es el National Vehicle Mercury Switch Recovery Program (NVMSRP), que ha puesto en marcha un proyecto voluntario para promover la eliminación segura de los interruptores de mercurio de los vehículos al final de su vida útil antes de su trituración.

End of life vehicle solutions (ELVS) es una organización nacional sin ánimo de lucro formada por los fabricantes de automóviles, que proporciona material educativo y recoge y recicla interruptores sin que esto les cueste a los encargados del desmontaje y recicladores.

Los responsables políticos han prestado especial atención a los neumáticos, apoyando su reciclaje y reutilización y algunos de los estados, de forma individual, han tomado medidas concretas para prevenir la contaminación asociada al mercurio, neumáticos de desecho, y las baterías de plomo-ácido.

También existe desde el año 1992 una alianza entre Ford, Chrysler y General Motors, los cuales fundaron The Vehicle Recycling Partnership.

Como forma de facilitar la reutilización y el reciclaje, existe en Estados Unidos una plataforma a través de la cual compartir información sobre los materiales utilizados en los vehículos, The International Materials Data System.

A continuación, y a modo de resumen, se recoge en el siguiente cuadro una comparativa de los distintos métodos de gestión sobre los que hemos hablado, comparando los existentes en la Unión Europea, Japón y Estados Unidos.

	<i>Unión Europea</i>	<i>Japón</i>	<i>Estados Unidos</i>
Sistema de gestión de ELVs	Ley: Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de septiembre de 2000.	Ley. Ley para el Reciclaje de Vehículos Fuera de Uso (2004).	Sin ley específica. Regido por medidas voluntarias implementadas por productores, fabricantes, minoristas, usuarios y eliminadores.
Antecedentes del sistema de gestión	Medidas para el ASR creciente. Medidas contra los vehículos abandonados. Medidas ambientales tomadas sobre los lugares de desmontaje.	Escasez de lugares para el depósito final de desechos. Vertido ilegal de ASR. Efectividad de los recursos.	Estricta implementación de regulaciones. Medidas de conservación medioambiental relacionadas con el reciclaje de ELVs.
Partes responsables de los costes del reciclaje	Fabricantes de automóviles e importadores (si el reciclaje incluye costes), usuarios finales.	Usuarios.	Sin regulación (negociado como un recurso secundario valioso).
Automóviles objeto de las normativas	M1, N1.	Todos los vehículos con excepción de los vehículos de dos ruedas.	Sin regulación.
Objetivos de reciclaje	De 2006 hasta 2015: <ul style="list-style-type: none"> - Reutilización + Recuperación: 85% - Reutilización + Reciclaje. 80% A partir de 2015: <ul style="list-style-type: none"> - Reutilización + Recuperación: 95% - Reutilización + Reciclaje. 85% 	Airbag: 85% ASR: <ul style="list-style-type: none"> - 70% (a partir de 2015 en adelante) - 50% (de 2010 a 2014) - 30% (de 2005 a 2009) 	Sin objetivos específicos (el 95% de los ELVs entran en la vía del reciclaje, de los cuales el 80% de los materiales son reciclados)
Gestión de la información	Issuance of Certificate of Destruction (CoD), siguiendo el gobierno el cumplimiento de objetivos.	Sistema de manifiesto electrónico.	Recogida de la información y gestión por parte de los grupos de industrias del reciclaje.
Características del sistema	Basado en el principio de subsidiariedad y el principio de responsabilidad extendida del productor. Reglamento para prohibir la inclusión de metales	Los fabricantes de automóviles y los importadores asumen la responsabilidad sobre el reciclaje. Sin objetivo para la tasa de	No existe un sistema de regulación que administre directamente los ELVs a nivel nacional. En virtud de la Ley Anti-Robo del coche (1992), la

	<p>pesados (mercurio, cadmio, cromo hexavalente, plomo).</p> <p>Las leyes nacionales se están aplicando, pero el modo de funcionamiento varía según el país.</p>	<p>reciclaje y recuperación con respecto al peso total del automóvil.</p> <p>La recuperación térmica se reconoce en el reciclaje de ASR.</p>	<p>información sobre los vehículos recogidos por los recicladores es administrado por el National Motor Vehicle Titrting Information System.</p> <p>La asociación Automotive Recycling Association de la industria del reciclaje de ELVs opera un portal para los reglamentos conexos para lograr un cumplimiento más estricto.</p>
--	--	--	---

Tabla 2: Comparativa de los métodos de gestión de ELVs en varios países. Fuente: Shin-ichi Sakai, 2013.

Además de la Directiva Europea que se comentado, la Comisión Europea, en el documento *Plastic Waste in the Environment*, realiza un amplio estudio sobre los tipos de plásticos y sus principales usos, recopilando y analizando la información disponible sobre su generación y sus residuos, así como las opciones actuales que existen de gestión de residuos y sus impactos sobre el medio ambiente y la salud.

El objetivo que persigue es el de considerar nuevas medidas que se puedan tomar en cuenta para reducir la cantidad de residuos plásticos así como los impactos que estos tienen.

En este trabajo, nos centraremos en lo concerniente a los desechos de plástico provenientes de la industria de la automoción.

El documento recoge datos que muestran que aunque la tasa de reciclaje del automóvil es alta, la proporción de plásticos que son reciclados al final de la vida útil es pequeña. Esto es debido a la alta variedad de tipos de polímeros que conforman un automóvil, lo que hará necesaria una mejora de las tecnologías de clasificación de los mismos.

Los datos sobre la gestión de los residuos plásticos muestran cómo, en el año 2008, de 1247 Mt de desechos plásticos provenientes de automóviles en los 27 países de la Unión Europea, Noruega y Suiza, más del 78% fue depositado en vertederos mientras que poco más del 20% fue recuperado.

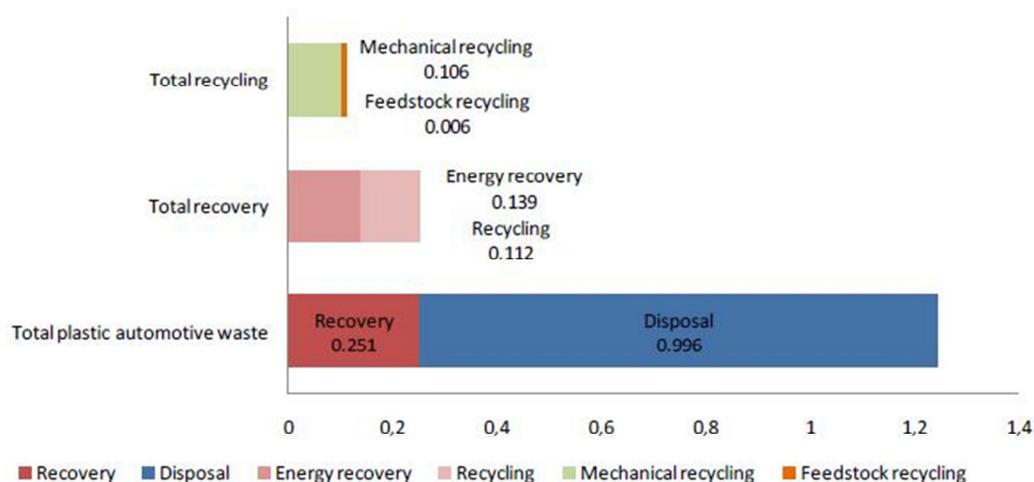


Figura 40: Tratamiento del total de los desechos plásticos del automóvil en EU-27, Noruega y Suiza. Fuente: European Commission DG ENV, *Plastic Waste in the environment*.

En torno al 78-80% de los residuos de ELV sobre el peso total del vehículo es metal recuperable. Del resto, un máximo del 50% (lo que supone un 13% del peso del vehículo) se estima que son polímeros. En la siguiente tabla, se muestra cuál es el contenido de polímeros que se estima estará disponible para su recuperación.

	2005 car (made in 1992)		2015 car (made in 2002)	
	%	Kg	%	Kg
PP	31	26.04	42	44.63
PU	20	16.8	11	11.69
ABS	15	12.6	7	7.44
PVC	12	10.08	7	7.44
PA/PC	8	6.72	8	8.50
PE	7	5.88	12	12.75
Other	7	5.88	13	13.81
Total	100	84	100	106.26

Tabla 3: Cantidad de polímeros estimada disponible para su recuperación en los coches. Fuente: European Commission DG ENV, *Plastic Waste in the environment*.

La Comisión Europea estimaba que la tasa de recuperación alcanzada en el año 2015 se situaría en torno al 23% y que a partir de entonces seguiría creciendo lentamente hasta el año 2020.

Entre las opciones de políticas que podrían reducir el impacto ambiental de los residuos plásticos, así como las acciones que se deberían tomar para conseguir tal objetivo para los residuos de ELVs están la modificación de las Directivas que existen sobre ellos, así como directrices específicas que definan específicamente lo que se considera recuperación, para determinar si la incineración de materiales compuestos de plástico para su uso en la producción de cemento es de hecho considerada eliminación o recuperación.

3 POSIBILIDADES TÉCNICAS PARA SATISFACER EL RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS.

3.1 Gestión de los residuos plásticos al final de su vida útil.

Como ya se ha comentado con anterioridad los únicos plásticos que permiten su reciclaje son los termoplásticos, ya que los termoestables y elastómeros se degradan con la aplicación de temperatura, lo que imposibilita su transformación al final de su vida útil en materia prima para la fabricación de nuevos componentes.

Por el contrario, los termoplásticos son fácilmente reciclables. Se funden cuando se calientan y eso hace posible que se puedan moldear en repetidas ocasiones sin que sus propiedades originales sufran grandes alteraciones. Sin embargo, y a pesar de lo dicho, durante los distintos ciclos de reprocesado a los que puede verse sometido va sufriendo modificaciones, por lo que no es aconsejable que sea reciclado el mismo material más de cinco o siete veces.

La obtención de residuos plásticos de los ELVs puede darse en dos de las etapas, la primera en el desmontaje del vehículo y la segunda, una vez triturado el resto del material del vehículo, obteniéndolo del ASR. Aquí se aplicarán distintas tecnologías para separar los residuos plásticos del resto, y posteriormente para poder separar unos tipos de plásticos de otros. La diferencia entre estos métodos radica en la tecnología usada para la eliminación de los materiales no plásticos y para la clasificación y separación de los mismos. Las diferencias que existen entre unos plásticos y otros radican en la densidad, la carga electrostática y las propiedades superficiales.

La utilización de diferentes etapas de separación por flotación/hundimiento es la técnica más comúnmente utilizada cuando tenemos una mezcla de plásticos, donde las diferentes densidades hacen que el plástico se hunda o flote en un tanque lleno de un líquido de densidad apropiada. Se suelen utilizar sucesiones de tanques llenos de agua, mezcla de agua-metanol y salmuera. Los separadores cuyo principio de funcionamiento se basa en las densidades del material suelen estar compuestos por tanques de sedimentación e hidrociclones.

Otras técnicas están siendo desarrolladas y aplicadas para el tratamiento de ASR. En la siguiente tabla, desarrollada por *I. Vermeulen, 2013*, quedan recogidas distintas tecnologías utilizadas por Argonne/Salyp, Galloo, MBA Polymers, R-Plus y VW-Sicon.

El uso de diferentes técnicas de separación mejora la pureza del material obtenido.

	Argonne	Galloo	MBA-polymers	Salyp process	Stena	R-plus (WESA-SLF)	VW-Sicon
Separation techniques							
Air classification	X	X	X	X	X	X	X
Magnetic separation	X	X	X	X	X	X	X
Eddy current separation	X	X	X	X	X		X
Screening		X		X	X	X	X
Trommel separation	X	X		X	X		
Optical sorting				X			X
Manual sorting					X		
Drying						X	
Float/sink separation		X		X	X		X
Froth flotation	X						
Thermo-mechanical sorting				X			
Wet grinding			X				
Hydrocyclone			X				
Static, hydrodynamic separation tanks		X					
Heavy media separation					X		
Status of development	Operating plants	Operating plants	Operating plants	Operating plants	Operating plants	Operating plants	1 trial plant+2 under construction
Overall recovery rate	90% of polymers > 6 mm 90% of metals > 6mm	90%	Not given	86%	80%	92%	95%

Tabla 4: Información sobre tecnologías de tratamiento de los ASR. Fuente: *Journal of Hazardous Materials, I. Vermeulen et al.*

A través del desarrollo de estas tecnologías utilizadas en el tratamiento de los ASR, se espera poder llegar a alcanzar los valores impuestos por las legislaciones vigentes para la recuperación de los ELVs, que se sitúan en casi el 95% para casi la totalidad de los países en los que está regulado.

Los plásticos tienen un elevado poder calorífico, lo que podría llevarnos a pensar que la valorización energética de los mismos es la mejor salida que se le puede dar a sus residuos. No obstante, esto sólo debe llevarse a cabo para aquellas fracciones de residuo plástico que no puedan ser tratadas por medio de reciclaje mecánico o químico.

Se denominará valorización material al reciclaje mecánico y químico, y valorización energética al proceso de recuperación del calor sensible contenido en los gases.

A continuación se describen por separado cada uno de los tipos de gestión de residuos plásticos que se han mencionado.

3.2 Reciclaje mecánico.

El reciclaje mecánico de productos plásticos consiste en trocear el material de desecho e introducirlo en una extrusora, para a partir de él fabricar granza reciclada que será posteriormente transformada en nuevos productos de consumo a través de métodos tales como la extrusión, la inyección o el calandrado, entre otros.

Para poder llevar a cabo un reciclaje mecánico se han de cumplir una serie de condiciones, las cuales detallamos a continuación:

- Los plásticos sometidos a este proceso no pueden estar muy degradados debido a los procesos de transformación y/o utilización.
- Se debe haber llevado a cabo con anterioridad una completa separación de los plásticos por tipos, por lo tanto la recogida selectiva de los mismos juega un factor muy importante.
- El material seleccionado debe estar limpio, en ausencia de materiales o partículas extrañas que puedan interferir con los equipos de transformación dañándolos o que puedan interferir en las características físicas del producto transformado.
- La recogida selectiva de los materiales debe hacerse en cantidades tales que hagan el proceso viable desde un punto de vista industrial y económico.

Las distintas etapas que presenta un proceso de reciclaje mecánico son las siguientes:

- Limpieza del material: en esta primera fase se llevará a cabo el acondicionamiento del material para obtener una materia prima adecuada, sin suciedad ni sustancias por las que se puedan ver comprometidas las máquinas que componen los equipos de transformación o el producto final.
- Clasificación del material: esta etapa comprende la selección y separación de los plásticos. Se han desarrollado varias técnicas de separación basadas en métodos físicos de diferente naturaleza como por ejemplo técnicas de flotación-hundimiento basadas en la diferencia de densidad, la utilización de disolventes, técnicas espectroscópicas, técnicas electrostáticas y técnicas basadas en la incorporación de marcadores químicos entre otras.
- Trituración o molienda del material: una vez finalizada esta etapa, y mediante la utilización de cuchillas de acero inoxidable, lo que obtendremos será un tamaño de grano adecuado para la continuación del proceso.
- Lavado del material: en esta etapa se llevará a cabo la eliminación de cualquier tipo de suciedad o impureza mediante lavado, aclarado y centrifugación, técnica llevada a cabo para realizar el secado del material. Seguidamente los residuos se vuelven a moler y a secar.

- Obtención de la granza reciclada: la granza se obtiene a partir de un proceso de extrusión. El material introducido en la extrusora se homogeniza por fundición, y posteriormente la masa fundida se moldea en filamentos. Tras finalizar la extrusión, el plástico pasa a través de un filtro para eliminar los restos de contaminantes distintos a los plásticos y se corta en pequeños trozos con una hélice obteniendo la granza reciclada.

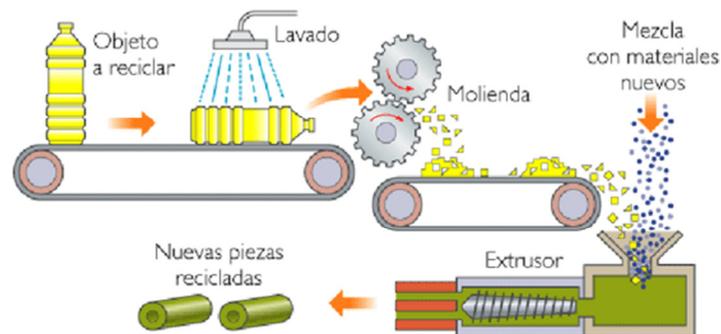


Figura 41: Reciclaje mecánico de residuo plástico.

Posteriormente el material se enfría haciéndolo pasar por agua, tras lo que se llevará a una centrifugadora para realizar el secado y eliminar la humedad de la granza. Una vez que esta está seca, se hace pasar por una tolva a través de la cual se llenan los sacos del material reciclado.

Sin embargo, no todos los materiales son susceptibles de ser reciclados mediante reciclaje mecánico, ya sea porque se encuentran muy degradados al final de su vida útil y no darían productos con buenas características o porque se encuentran tan contaminados de otro tipo de sustancias que su separación y limpieza no serían rentables.

El reciclaje mecánico es la forma de reciclaje con mayor nivel de desarrollo para la recuperación de residuos plásticos, aunque a veces este tipo de reciclaje no es el más adecuado. Esto es debido a que el rendimiento no es suficiente para poder lograr una eficiencia económica a través de una eficiencia ecológica.

En los casos en los que no sea posible su aplicación, existen otras opciones que permitirán alargar la vida útil del material a través de distintos tipos de reacciones químicas. Estas opciones de recuperación son lo que se denomina reciclaje químico, sobre el que se tratará en el siguiente apartado.

3.3 Reciclaje químico.

El reciclaje químico puede ser un complemento del reciclaje mecánico explicado en el anterior apartado, ya que da solución a algunas de las limitaciones que presenta este último. Una de las limitaciones a las que presta solución puede ser la necesidad de disponer de grandes cantidades de producto plástico limpio, separado y homogéneo, el cual garantiza la calidad deseada del producto final.

El principio básico de funcionamiento del reciclaje químico es la descomposición del polímero tratado en los monómeros de partida de dicho polímero. A partir de los monómeros obtenidos se llevan a cabo nuevos procesos de polimerización que darán como resultado nuevos materiales poliméricos.

Una importante ventaja que ofrece este tipo de reciclaje frente al reciclaje mecánico es que es aplicable a mezclas de distintos polímeros, por lo que los costes de recolección y clasificación se minimizan ya que evita la separación.

Existen diferentes procesos a través de los cuales puede realizarse el reciclaje químico, los cuales pueden clasificarse en:

- Despolimerización térmica: este tipo de reciclaje químico agrupa todas las tecnologías que hacen posible la transformación de los polímeros en monómeros u oligómeros, sin que ningún reactivo químico intervenga en las reacciones de ruptura de las cadenas, a través del aporte de calor. Incluye diversos procesos como pueden ser la pirólisis de algunos plásticos, la hidrogenación o hidro craqueo y el craqueo.
 - Pirólisis.

Se lleva a cabo bajo condiciones de reacción severas mediante la aplicación de temperaturas por encima de los 450 °C a lo largo de un tiempo largo, ya que se necesita aportar grandes cantidades de calor para conseguir romper los enlaces entre los carbonos. La ruptura de las cadenas tiene lugar a través de una reacción primaria con una velocidad suficiente. Además de esto, se produce la formación de radicales a partir de reacciones secundarias menos selectivas que dificultan el control de la reacción primaria. Este proceso permite obtener los monómeros, etileno o propileno, pero en presencia de muchos subproductos y con bajos rendimientos, por lo que se hace casi necesaria la presencia de catalizadores en estas reacciones. Si las condiciones aplicadas en vez de ser estas fuesen otras, los polímeros se transformarían en materias químicas de tipo petroquímico como el gas de síntesis o parafinas.
 - Hidrogenación o hidro craqueo.

En este tipo de proceso se hace necesaria la presencia de hidrógeno durante el tratamiento térmico del residuo plástico, normalmente a temperaturas entre los 400 y 500 °C, y a elevadas presiones, que se sitúan entre los 10 y los 100 kPa. Se emplean catalizadores bifuncionales (con funciones de craqueo e hidrogenación) compuestos por metales de transición soportados sobre matrices ácidas. El hidro craqueo da lugar a la formación de productos altamente saturados que pueden usarse directamente como combustible o como materia prima en refinería. El punto fuerte de este tipo de reciclaje es que permite el tratamiento de mezclas de plásticos y la obtención de hidrocarburos líquidos con unos rendimientos que están cercanos al 85%. Por el contrario, la utilización de hidrógeno a altas temperaturas y presiones hace que el sistema resulte costoso ya que requiere de la aplicación de medidas de seguridad específicas.
 - Craqueo térmico.

En este caso, la ruptura de las cadenas de los residuos plásticos se lleva a cabo por la acción de calor pero en ausencia de oxígeno. Normalmente, el producto obtenido es una mezcla de hidrocarburos heterogénea con una distribución muy amplia de tamaños moleculares. La proporción de hidrocarburos líquidos, gaseosos y sólidos es función de la temperatura a la que se desarrolla el proceso, que suele efectuarse entre 500 y 800 °C.
- Disolución: los procesos de disolución de los plásticos hacen posible la eliminación de los materiales contaminantes contenidos en los desechos, permitiendo recuperar los polímeros purificados. Éstos no implican la modificación química de las moléculas de polímeros, pero no corresponden ni a un reciclaje mecánico ni a una valorización energética de los residuos.
- Solvólisis: este término define un procedimiento por el que el disolvente actúa en la reacción también como reactivo. En función de la naturaleza del disolvente se distinguen distintas clases de solvólisis, como puede ser la quimiólisis (glicólisis, hidrólisis y metanolisis), donde se utilizan también fluidos supercríticos.

- Hidrólisis.

Normalmente se realiza en medio básico, pero necesita de una etapa de post-tratamiento para lograr la transformación del producto en monómeros utilizables. Este procedimiento permite tratar los desechos coloreados y mezclados.

- Metanólisis.

Es un proceso avanzado de reciclaje en el que se aplica metanos en el PET, permitiendo la obtención de sus moléculas base, incluidos el dimetiltereftalato y el etilenglicol, que podrán polimerizarse nuevamente para producir resina virgen.

- Glicólisis.

Se realiza en presencia de etilenglicol y en condiciones menos severas que las anteriores, lo que hace de éste un sistema más económico, aunque es menos eficaz para el tratamiento de desechos coloreados y heterogéneos. Los productos así obtenidos pueden utilizarse posteriormente para recuperar PET o como precursores de espumas de poliuretano o poliésteres insaturados.

- Otras despolimerizaciones químicas: a parte de los ya mencionados, existen otros procesos de reciclaje químico en los que se utiliza un reactivo químico determinado, como puede ser un ácido o un derivado del fenol, por ejemplo, u otros que se llevan a cabo mediante craqueo catalítico.

La aplicación de craqueo catalítico sobre residuos plásticos presenta una serie de ventajas frente a los procesos de craqueo térmico, como por ejemplo la posibilidad de trabajar a menores temperaturas de reacción, 300 a 400 °C, debido a la presencia de catalizadores. Además de esto, si se realiza una correcta selección de éstos, permitirá obtener una distribución controlada de los productos obtenidos al final del proceso.

Una alternativa interesante consiste en el reformado catalítico de los gases obtenidos en el craqueo térmico de los residuos plásticos dando lugar a diversos productos como gasolina, gasóleo y queroseno entre otros.

Podemos distinguir nueve grandes grupos de polímeros que pueden ser reciclados a partir del reciclaje químico. Los polímeros de adición, PE, PP, PVC, PS y PMMA, que se tratan principalmente a través de la despolimerización térmica, y por otro lado los polímeros de condensación, PET, PA, PC y PUR, que aceptan la mayoría de los tratamientos químicos mencionados.

Por otro lado, tenemos la disolución, que pese a que es un proceso que se puede aplicar a la mayoría de los plásticos, desde el punto de vista de la calidad de los materiales reciclados, es menos satisfactoria que la despolimerización térmica.

En la siguiente figura podemos observar el grado de desarrollo de los procesos de reciclaje químico.

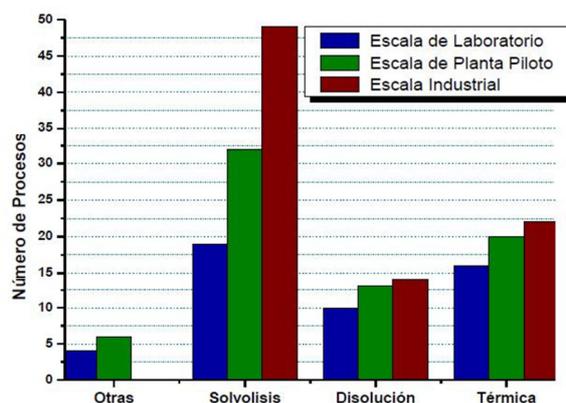


Figura 42: Representación del desarrollo de los diferentes procedimientos en Europa. Fuente: Datos ADEME.

Como podemos observar el proceso de reciclaje químico más desarrollado industrialmente es la solvólisis, seguido por la despolimerización térmica, encontrándose la disolución en el último lugar. En los dos últimos casos, la explotación a escala industrial es muy similar a la de la escala de planta piloto, mientras que en el caso de la solvólisis la diferencia es mayor.

Para la investigación de los procesos de reciclaje químico los grandes grupos químicos industriales trabajan colaborando de manera activa con los laboratorios para iniciar la fase de desarrollo en planta piloto.

3.4 Valorización energética.

La valorización energética consiste en la recuperación del calor sensible que contienen los gases, y el rendimiento obtenido de este proceso dependerá de la tecnología y del proceso de combustión utilizado.

La aplicación de este procedimiento de recuperación en plásticos al final de su vida útil deberá realizarse únicamente para aquellas fracciones de residuos plásticos que no sean susceptibles de ser tratadas a través del reciclaje mecánico o del reciclaje químico. Es un proceso aconsejable en el caso de que lo que se tenga sean materiales plásticos deteriorados, sucios o que se encuentren mezclados con otros materiales y su separación sea muy difícil y costosa. Éste método también es aplicable a termoestables y elastómeros.

Si comparamos el poder calorífico de los plásticos con los de otros materiales vemos cómo, la cantidad de energía que se puede obtener a través de ellos es muy elevada:

MATERIAL	PODER CALORÍFICO (MJ/kg)
PP	44
PE	44
PS	37
PA	37
PET	33
PMMA	25
PVC	20
Gas natural	48
Fuel-oil	44
Hulla	29
Lignito	20
Cuero	19
Papel	17
Madera	16
Basura doméstica	8

Tabla 5: Capacidad calorífica de diferentes plásticos y otros combustibles.

Los procesos de valorización energética pueden clasificarse en tres grupos: combustión, pirólisis y gasificación.

– Combustión (incineración):

El proceso de combustión directa o incineración en masa es el sistema más simple y antiguo utilizado para la recuperación energética de los residuos sólidos urbanos. Se trata de un proceso exotérmico de oxidación completa de la materia a alta temperatura para convertirla en gas, principalmente dióxido de carbono y vapor de agua, y cenizas, además de calor, por lo que éste es el único componente energético útil del proceso. El comburente utilizado en este proceso es el oxígeno.

La combustión completa es muy difícil que se logre, por lo que es habitual que en los procesos de combustión reales se generen diversas cantidades de partículas sin quemar que contienen carbono, así como escorias y alquitranes que disminuyen su eficiencia energética y que si no se eliminan convenientemente causan problemas medioambientales.

Actualmente, mediante la incineración en hornos de lecho fluidizado es posible la destrucción térmica de los contaminantes orgánicos contenidos en los residuos, sobre todo de los compuestos formados por dioxinas y furanos mediante una técnica controlada de incineración sin regiones frías ligada a la regulación de la potencia de la combustión a temperaturas superiores a 850 °C.

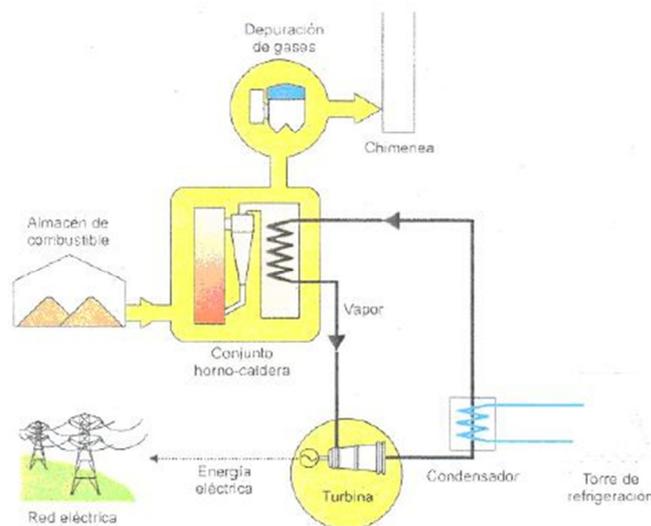


Figura 43: Esquema de un sistema de incineración con recuperación de energía. Fuente: SOGAMA.

– Pirólisis:

El proceso de pirólisis también es denominado como combustión con defecto de aire, ya que la descomposición térmica de la materia orgánica se lleva a cabo a través de la acción de calor en ausencia de oxígeno. La naturaleza del residuo que se trate, las condiciones de operación y los tiempos que permanezcan los materiales en el reactor, serán los que definan la naturaleza y composición de los productos resultantes.

Los principios de la pirólisis se pueden dividir en dos grandes grupos, aquellos cuya aportación de calor al proceso se lleva a cabo utilizando como combustible la fracción gaseosa de la pirólisis, y aquellos en los que la energía la proporciona la combustión de una parte de la carga.

En un inicio la pirólisis fue concebida como un sistema de obtención de productos combustibles, pero cada vez se está enfocando más su uso hacia la recuperación de materias primas susceptibles de ser utilizadas en la síntesis orgánica, es decir, hacia un reciclaje químico.

El principio de funcionamiento de la pirólisis es teórico, por lo que se generan menos gases que en una incineración convencional, pero tiene como inconveniente la necesidad de que el producto a la entrada del proceso sea un producto muy homogéneo, tanto desde el punto de vista físico como químico.

El uso de este sistema está desaconsejado, ya que al tratarse de una reacción endotérmica, el balance económico del proceso es negativo, ya que tiene grandes necesidades energéticas. Además de esto, el producto resultante que se obtiene tiene una baja calidad.

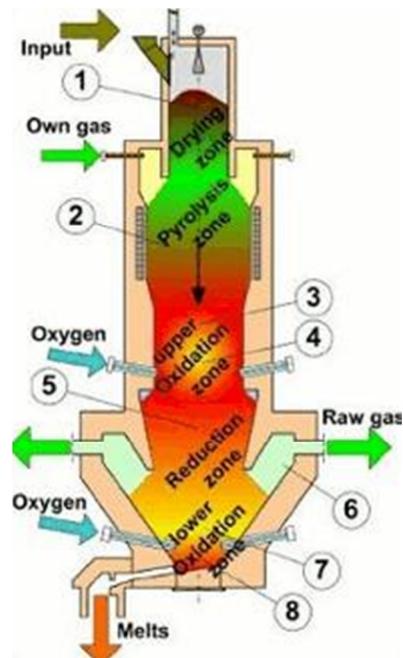


Figura 44: Esquema de pirólisis. Fuente: HTCW.

– Gasificación:

Se entiende por gasificación aquel proceso que lleve implícita una combustión en condiciones de defecto de oxígeno, con producción de monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno y metano en proporciones diversas según la composición de la materia prima utilizada en el proceso y las condiciones del mismo.

El proceso de gasificación ha recibido en estos últimos años un gran impulso tecnológico debido a los excelentes éxitos cosechados por el proceso durante las fases de experimentación en laboratorio o a escala de planta piloto. Este proceso puede utilizarse para la producción de electricidad, y un ejemplo de ello es la planta piloto tipo Poligás situada en Castellón (España).

La mayor parte de las gasificaciones convencionales requieren un material de tamaño de partícula homogéneo, a fin de que pueda garantizarse la constancia de la reacción, y que no presenten un espectro de densidad amplio para evitar en la medida de lo posible segregaciones que puedan ser motivo de acumulación de sólidos o de arrastres excesivos, que constituyen el mayor problema de este sistema.

En la siguiente figura podemos observar un esquema de un gasificador, en el que se indican los productos que se obtienen en el proceso.

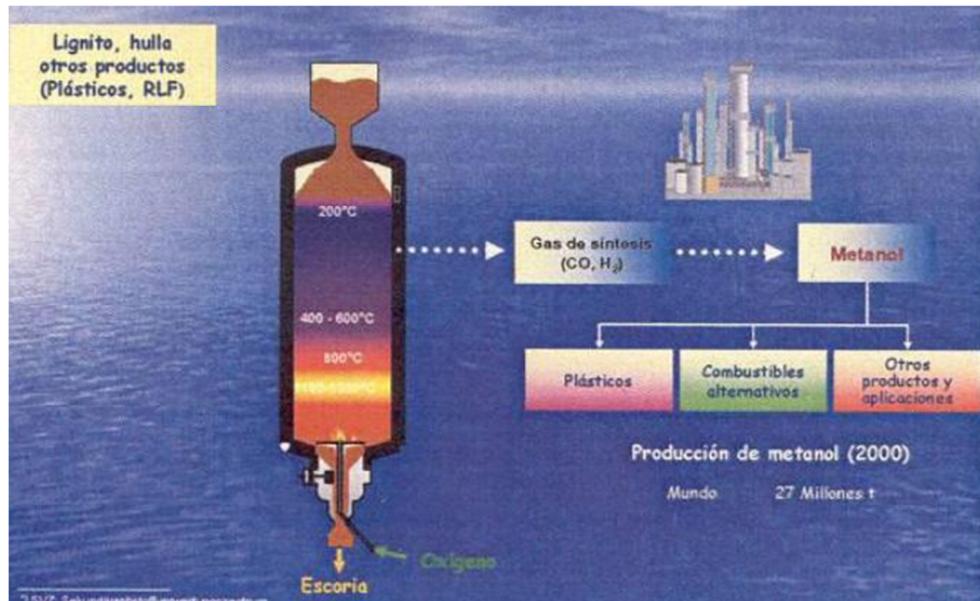


Figura 45: Esquema de un gasificador. Fuente: CICLOPLAST.

Existe una gran relación entre los procesos de valorización energética y reciclaje químico. La combinación de ambos puede dar lugar a un mayor aprovechamiento del producto obtenido.

La siguiente figura muestra la transformación del residuo plástico en gas de síntesis a través de un proceso de gasificación. El producto resultante, a su vez puede ser sometido a otro proceso de valorización energética para obtener por ejemplo combustibles alternativos, o a un proceso de reciclaje químico para valorizar el material y obtener productos de alto valor añadido como puede ser el gas natural sintético.

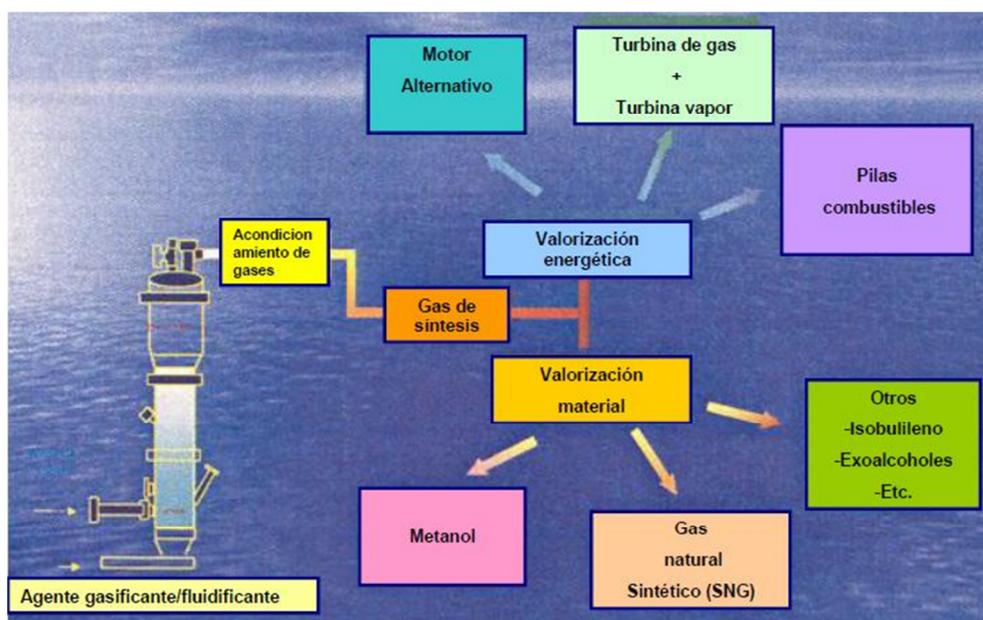


Figura 46: Esquema combinación de reciclaje químico más valorización energética. Fuente: CICLOPLAST.

3.5 Técnicas de recuperación de fibras de vidrio y fibras de carbono de plásticos reforzados.

A la problemática que existe sobre cómo reciclar los plásticos hay que sumarle la de los plásticos que se encuentran reforzados por fibras, los composites.

Las fibras de vidrio o las fibras de carbono se encuentran dispersas dentro de la matriz polimérica y su recuperación se hace complicada, sobre todo si se busca que las fibras conserven sus propiedades, o el máximo de ellas, una vez termina el proceso de reciclaje.

Los distintos procesos de reciclaje que existen son:

- Proceso mecánico: el composite se fragmenta de manera mecánica y se obtiene polvo o material granulado. El material así reciclado puede utilizarse como relleno o como refuerzo en composites de nueva fabricación. Las propiedades mecánicas que de éstos se obtienen serán bajas, ya que tras la fragmentación y molienda las fibras resultantes son cortas y con propiedades mecánicas reducidas.
- Proceso térmico: aquí se pueden distinguir tres procesos distintos. Por un lado está la incineración, con la cual sólo se obtiene energía. El segundo proceso posible será el proceso sobre lecho fluidizado, donde la matriz polimérica se recupera como gas de combustión, a partir del cual obtenemos energía, y las fibras son recogidas por un ciclón. Estas fibras recuperadas tendrán sus propiedades mecánicas mermadas en un 50% respecto a las fibras vírgenes. El último de los procesos térmicos es el de pirólisis, donde el material compuesto es calentado en una atmósfera inerte y a través del cual se obtienen fibras que pueden ser utilizadas en la fabricación de nuevos composites y el polímero transformado en gas y aceite, que podrá ser utilizado como nueva materia prima química.

Se están estudiando nuevos métodos a nivel de laboratorio para la recuperación de fibras de materiales compuestos. Uno de esos procesos es el de pirólisis asistida por microondas.

La principal ventaja de las microondas es que el material se calienta en su núcleo de manera que la transferencia térmica es muy rápida, lo que permite un ahorro de energía. La pirólisis asistida por microondas calienta los residuos de material compuesto en una atmósfera inerte, degradando la matriz en gases y aceite.

Existen también estudios sobre el reciclado químico de materiales compuestos reforzados con fibra de carbono utilizando como disolventes agua o alcohol bencílico, obteniendo fibras de carbono muy limpias después del tratamiento

4 POSICIÓN DE LOS FABRICANTES DE AUTOMÓVILES ANTE LAS POLÍTICAS DE RECICLAJE

Debido a las normativas existentes de obligado cumplimiento por parte de los fabricantes en las que, como ya se ha comentado, se exigen valores de aprovechamiento de los vehículos al final de su vida útil de en torno al 95% de su peso, todos los fabricantes tienen establecidos unos compromisos con el medio ambiente.

Es fácil encontrar en sus páginas web un apartado en el que nos hablan de esos compromisos, y de cuáles son las acciones y recursos que destinan para que eso sea posible.

A continuación se expondrán algunos ejemplos de grandes fabricantes.

4.1 *Renault.*

La estrategia ecológica del fabricante francés pasa por la denominación “Renault eco²”, es de esta forma como el fabricante anuncia su compromiso con el medio ambiente.

Para que uno de sus vehículos pueda llevar esta denominación se deben dar tres casos:

- Sus emisiones de CO₂ son menores de 140 g/km.
- Su fabricación se lleva a cabo en plantas industriales con la certificación ISO14001.
- Es valorizable al final de su vida útil al 95% y contiene al menos un 5% de plástico reciclado sobre la masa total de plástico utilizado en su vehículo.

Ya en el año 2002, para la fabricación del paragolpes frontal de su modelo Megane 2, y a través de la colaboración con el fabricante de ese componente del vehículo, Plastic Omnium, se consiguió un paragolpes monomaterial, conformado a partir de polipropileno 100% reciclable, en el que se usaba un 30% de plástico reciclado.

En la Factoría de Montaje Valladolid, en su nave de inyección de plásticos donde la marca inyecta entre otras piezas aletas y pasos de rueda para sus modelos, se lleva a cabo un reciclado post-industrial. Las piezas que no cumplen con la calidad exigida, o las excedentes de plástico que se generan en los moldes de inyección, son triturados en la misma planta para la obtención de granza del material reciclado, y utilizados en una proporción de 90-10 (material virgen-material reciclado) para la fabricación de piezas nuevas.

Con acciones como éstas queda claro el compromiso de la marca con el medio ambiente.

4.2 *Ford.*

La empresa estadounidense fabricante de automóviles Ford tiene un alto compromiso con el reciclaje, y en la fabricación de sus vehículos europeos emplea más de 250 piezas provenientes de materiales reciclados no metálicos, entre los que se encuentran los plásticos.

Además de esto, han desarrollado un programa de reciclaje completo, a través del cual se mejora el uso de materiales reciclados y se reduce el uso de materiales peligrosos. Este programa también incluye las directrices de diseñar para reciclar, pensando no sólo en el uso que a sus coches se les va a dar durante su vida útil, si no lo que con ellos se hará cuando ésta llegue a su fin.

4.3 Seat.

El fabricante español fue el primero en España en conseguir por parte del Ministerio de Industria, ya en el año 2007, la certificación que garantiza que sus vehículos son reciclables en un 95%.

4.4 Opel.

Opel aplica una estrategia de reciclado en el diseño de sus productos ya que considera que es clave para el desarrollo de productos responsables, con el objetivo de reducir los residuos generados durante la producción del vehículo así como al final de su vida útil.

En cuanto al empleo de materiales reciclados en sus productos, actualmente tienen especificados y aprobados para su uso en la fabricación de sus vehículos más de 130 tipos de plásticos reciclados.

En la siguiente imagen podemos ver qué piezas de su modelo Opel Insignia son fabricadas a partir de plásticos reciclados:



Figura 47: Piezas fabricadas a partir de plástico reciclado en el Opel Insignia. Fuente: Opel.

4.5 Mazda.

Mazda por su parte lleva años llevando a cabo una actuación de reciclaje pionera a través de la cual recicla los paragolpes usados para convertir el plástico reciclado en plástico a utilizar en nuevos paragolpes.

Al principio comenzó a reciclar los paragolpes usados que llegaban a su red de concesionarios en Japón. Los materiales no deseados, como por ejemplo los metales, debían ser desmontados a mano lo que suponía el empleo de mucha mano de obra y limitaba la posibilidad de incrementar la eficacia. Otro de los problemas existentes al inicio era la distinta composición de los plásticos de polipropileno así como las propiedades adhesivas de la pintura, que variaban con la edad del vehículo y con su fabricante.

Actualmente disponen de una técnica mejorada, que hace posible el reciclaje de paragolpes de cualquier tipo y marca, así como una tecnología capaz de eliminar los restos de pintura con total independencia de la composición del plástico o las propiedades de la pintura, y sin necesidad de calentar el plástico.

Con acciones como esta queda claro el compromiso que la marca tiene con el medio ambiente.

5 RESULTADOS

Los resultados obtenidos a partir de la elaboración de este trabajo serán detallados a continuación. A través de la labor de recopilación de información llevada a cabo, ha quedado de manifiesto la necesidad de establecer métodos de reciclaje para los productos plásticos en general, y más concretamente los derivados de la fabricación de los automóviles, pero también los problemas que existen para poder realizar dicha labor.

Queda de manifiesto la necesidad de un trabajo conjunto y en estrecha colaboración de todos los entes que participan de esta industria, así como de unas normativas que regulen el reciclado de los plásticos.

Para lograr el cumplimiento de las normativas establecidas actualmente, cuyas tasas de reutilización y recuperación, y de reutilización y reciclaje se sitúan en valores del 95% del peso total de los vehículos, será indispensable el realizar un mejor aprovechamiento de la fracción residual obtenida posteriormente al desmontaje, descontaminación, y trituración de las partes del vehículo que hasta entonces no hayan sido aprovechadas.

Esto no será posible si no se mejoran los métodos de separación de los distintos materiales que se encuentran en esta fracción residual ya que, como hemos visto y más adelante se comentará, gran parte de los métodos de reciclaje de los plásticos necesitan de una determinada homogeneidad de los mismos.

La separación manual de los distintos plásticos es viable en la etapa de desmontaje del vehículo, ya que si los diferentes componentes están marcados (según manda la normativa), será relativamente sencillo agrupar aquellos plásticos de igual composición. El problema de este tipo de separación es que no es rápida, y se necesita de mano de obra para llevarla a cabo.

Por todo esto se han desarrollado otros métodos de separación más efectivos, que por medio de corrientes de aire, técnicas espectroscópicas o métodos de separación por flotación, entre otros, hacen de la separación de los residuos plásticos de otros materiales y de la separación de distintos plásticos entre sí una labor más rápida, económica y fiable.

Una vez tenemos el residuo plástico obtenido del vehículo fuera de uso podremos comenzar con su reciclaje. Los métodos existentes no permiten el reciclado de todos los tipos de plásticos, y todos tienen sus limitaciones.

El método más desarrollado, el de reciclaje mecánico, será bueno para para piezas plásticas monomateriales obtenidas en la etapa de desmontaje del vehículo, pero debido a que requiere que el material sea homogéneo y que se encuentre limpio, con muy baja tolerancia a las impurezas, no será aplicable para aquellos plásticos que por su uso se hayan visto degradados o contaminados. La separación y limpieza que habría que realizar en esos casos tendría un coste muy elevado, lo que haría que este método de reciclaje no fuese económicamente rentable. Se incrementaría el precio del plástico reciclado resultante, y podría hacer que no existiese diferencia con el del material virgen, por lo que no sería un método de reciclaje viable.

En contra de lo que ocurre con el reciclaje mecánico, los métodos de reciclaje químico presentan la ventaja de poder ser aplicados a mezclas de distintos polímeros, lo que supone un gran ahorro en costes de recolección y clasificación.

Las técnicas de reciclaje químico que se basan en la despolimerización térmica del material no necesitan de un reactivo químico para llevarlas a cabo. Dentro de los tres métodos que existen, la pirólisis no es muy recomendable, ya que tiene muy bajos rendimientos y necesita de la presencia de catalizadores para que se lleve a cabo la reacción. La aplicación del craqueo térmico se realiza en ausencia de oxígeno, y el inconveniente que presenta es que se obtiene una mezcla de hidrocarburos heterogéneos con distintos tamaños moleculares. Por último tenemos la hidrogenación o el hidrocraqueo, técnica que se lleva a cabo en presencia de hidrógeno, y que es una solución muy buena porque permite la obtención de hidrocarburos líquidos con rendimientos cercanos al 85%, incluso a

través de mezclas de plásticos distintos, pero que tiene el gran inconveniente de ser un sistema muy costoso, ya que al trabajar en presencia de hidrógeno a altas presiones hace que sea necesaria la instalación de sistemas de seguridad muy costosos.

Otra de las técnicas de reciclaje químico es la disolución, que se incluye en este apartado al hacer la clasificación a pesar de que no implica la modificación química de las moléculas. Con éste método se pueden recuperar polímeros purificados, ya que elimina los contaminantes.

Por otro lado la solvólisis es una técnica de reciclaje químico en la que el disolvente actúa como reactivo de la reacción. De los tres tipos que existen, el más barato será la glicólisis, pero presenta el problema de que no es tan eficaz como la hidrólisis para tratar desechos coloreados y mezclados. Sin embargo éste último, aunque resuelve bien ese problema, presenta la dificultad de que requiere de un post-tratamiento para que el monómero obtenido sea de nuevo utilizable. La metanólisis en cambio es el método perfecto para tratar residuos de PET.

Existe también el craqueo catalítico, que como su nombre indica se realiza en presencia de catalizadores, por lo que se necesitan menores temperaturas que las empleadas en el craqueo térmico.

Cuando el residuo plástico se encuentra muy deteriorado, está sucio o mezclado y su separación sea muy difícil o costosa, la valorización material no será la opción correcta de reciclaje. Es en estos casos, y sólo en estos, cuando se deberá recurrir a la valorización energética. Es cierto que los polímeros presentan un elevado poder calorífico, pero su utilización como combustible para la obtención de energía sólo se deberá llevar a cabo cuando todas las anteriores opciones posibles no sean viables.

Dentro de las técnicas de valorización energética podemos distinguir tres, la combustión o incineración, en cuyo caso se utiliza el oxígeno como comburente; la gasificación, que se realiza en ausencia de oxígeno y a través de la cual se produce electricidad; y la pirólisis, entendida como sistema para la obtención de combustible, que no es nada recomendable, ya que el balance económico del proceso es negativo al tratarse de una reacción endotérmica.

Todos estos métodos de reciclaje han de ponerse en práctica con el fin de reducir hasta la totalidad la disposición en vertederos de productos plásticos de desecho.

6 CONCLUSIONES

6.1 *Resumen de resultados.*

Una vez concluido el estudio sobre el estado de la industria del plástico y su aplicación en el mundo de la automoción, así como un análisis de las técnicas existentes para poder llevar a cabo el reciclaje del mismo, queda de manifiesto la necesidad de que todos los entes implicados desde la concepción de una pieza del vehículo hasta la gestión del residuo que genera al final de su vida útil, han trabajar de manera conjunta y con un mismo objetivo.

Los desarrolladores de producto deberán trabajar pensando no sólo en el uso que su pieza va recibir una vez esté incluida en el conjunto del automóvil, si no que tendrán que pensar también en el momento en que ese vehículo se convierta en un vehículo fuera de uso. Centrándonos en los componentes de material plástico, la tendencia futura será diseñar vehículos con un menor número de piezas, así como reducir el número de plásticos diferentes utilizados en la fabricación del vehículo. Todo ello con la finalidad facilitar el desmontaje y clasificación de los elementos del vehículo una vez llegado el momento de la gestión de sus residuos.

Lo ideal sería que todas las piezas plásticas que componen el automóvil estuviesen fabricadas a partir de un mismo polímero y que ese polímero fuese un termoplástico, pero dado que eso no es posible, el principal reto es reducir lo máximo posible el uso de termoestables y elastómeros en la fabricación de los vehículos.

La tendencia futura que están siguiendo los fabricantes de automóviles es también la de incorporar materiales naturales en los componentes de sus vehículos, utilizando para su fabricación bioplásticos y biocomposites.

Con todo ello buscan facilitar y mejorar la reciclabilidad de sus productos, así como cumplir con las normativas actuales.

6.2 *Principales aportaciones del autor del TFM.*

En este trabajo se ha llevado a cabo una revisión del estado de la técnica del reciclaje de los plásticos, entendiendo éstos como parte importante, actual y futura, de la fabricación de componentes de los automóviles.

Se ha analizado el porqué de la importancia del uso de los materiales plásticos en la industria de la automoción, así como la necesidad de una correcta gestión de los residuos plásticos que éstos generan.

Como aportación principal está la de recopilación de datos referentes a la industria de los plásticos en la industria de la automoción así como de las distintas técnicas que existen para su tratamiento una vez el vehículo ha llegado al final de su vida útil.

6.3 *Sugerencias para trabajos futuros.*

Como ya hemos visto, los plásticos son materiales que por su composición no son susceptibles de ser asimilados por la naturaleza al final de su vida útil, es decir, si son depositados en vertederos su degradación no se produciría hasta pasados cientos de años, lo que los convierte en productos altamente contaminantes.

Por este motivo, en las últimas décadas se ha trabajado en la elaboración de productos con características similares a las de los plásticos pero cuya composición es derivada de materias naturales, los denominados bioplásticos.

En la industria de la automoción este tipo de materiales, así como bioplásticos reforzados con fibras naturales denominados biocomposites, hace años que se introdujeron para la fabricación sobre todo de elementos del interior del habitáculo, como pueden ser alfombras, paneles de puerta, tableros de bordo y guarnituras de techo, entre otros.

Como trabajo futuro se podría realizar una investigación sobre la utilización de estos materiales en la industria de la automoción, posibles aplicaciones y características físicas y mecánicas de las piezas en las que se utilizan dichos materiales. Al igual que se ha hecho en este trabajo para los plásticos, también se podría realizar un estudio de los métodos de reciclaje existentes para estos nuevos materiales.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Plastic Waste in the Environment - European Commission DG ENV. <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/plastics.pdf> 2011.
- (2) International Dismantling Information System. Available at: <http://www.idis2.com/>. Accessed Agosto, 2015.
- (3) Renault España. Available at: <http://www.renault.es/>. Accessed Agosto, 2015.
- (4) Ford. Available at: <http://www.ford.es>. Accessed Agosto, 2015.
- (5) Seat. Available at: www.seat.es. Accessed Agosto, 2015.
- (6) Opel. Available at: www.opel.es. Accessed Agosto, 2015.
- (7) Mazda. Available at: www.mazda.es. Accessed Agosto, 2015.
- (8) The European Parliament and of the Council (2000) Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles. .
- (9) Auto Alliance. Automotive Recycling Industry. Environmentally Friendly, Market Driven, and Sustainable.
- (10) Buekens A, Zhou X. Recycling plastics from automotive shredder residues: a review. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2014;16(3):398-414.
- (11) CEDEX, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Residuos plásticos. 2013; Available at: <http://www.cedexmateriales.vsf.es/view/ficha.aspx?idresiduo=398&idmenu=399>. Accessed Agosto 2015.
- (12) Ciacci L, Morselli L, Passarini F, Santini A, Vassura I. A comparison among different automotive shredder residue treatment processes. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2010;15(9):896-906.
- (13) Elias X editor. Reciclaje de Residuos Industriales. Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. 2ª Edición ed.; 2009.
- (14) Fonseca AS, Nunes MI, Matos MA, Gomes AP. Environmental impacts of end-of-life vehicles' management: recovery versus elimination. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2013;18(7):1374-1385.
- (15) Gerrard J, Kandlikar M. Is European end-of-life vehicle legislation living up to expectations? Assessing the impact of the ELV Directive on 'green'innovation and vehicle recovery. *J Clean Prod* 2007;15(1):17-27.
- (16) Ibarra RM, Sasaki M, Goto M, Quitain AT, Montes SMG, Aguilar-Garib JA. Carbon fiber recovery using water and benzyl alcohol in subcritical and supercritical conditions for chemical recycling of thermoset composite materials. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2015;17(2):369-379.
- (17) Mcauley JW. Global sustainability and key needs in future automotive design. *Environ Sci Technol* 2003;37(23):5414-5416.
- (18) Miller L, Soulliere K, Sawyer-Beaulieu S, Tseng S, Tam E. Challenges and Alternatives to Plastics Recycling in the Automotive Sector. *Materials* 2014;7(8):5883-5902.
- (19) Navarro I, Pérez JM, Taboada E. Plásticos en el automóvil. Available at: <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso03-04/automovil/inicio.htm>. Accessed Agosto, 2015.
- (20) Oliveux G, Dandy LO, Leeke GA. Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties. *Progress in Materials Science* 2015;72:61-99.

- (21) Panadero J. Análisis de normativas de emisiones por países y continentes. Available at: <http://www.diariomotor.com/tecmovia/2012/07/15/analisis-de-normativas-de-emisiones-por-paises-y-continentes/>. Accessed Agosto, 2015.
- (22) Pastor Barajas JM. Apuntes de la asignatura Materiales para automoción. 2013.
- (23) Patel M, von Thienen N, Jochem E, Worrell E. Recycling of plastics in Germany. *Resour Conserv Recycling* 2000;29(1):65-90.
- (24) Plastics Europe Market Research Group. Automotive. The world moves with plastics. 2013.
- (25) Plastics Europe Market Research Group. Plastics – the Facts 2014/2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data.
- (26) Ravve A. Principles of polymer chemistry. : Springer Science & Business Media; 2012.
- (27) Roncero LF, Sancho C. Reciclado de plásticos en el automóvil. Available at: http://www.eis.uva.es/~macromol/curso04-05/reciclado_auto/entrada.htm. Accessed Agosto, 2015.
- (28) Rouilloux G, Znojek B. Plastics: The Future for Automakers and Chemical Companies. .
- (29) Sakai S, Yoshida H, Hiratsuka J, Vandecasteele C, Kohlmeyer R, Rotter VS, et al. An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2014;16(1):1-20.
- (30) Szeteiová K. Automotive materials: plastics in automotive markets today. Institute of Production Technologies, Machine Technologies and Materials, Faculty of Material Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology Bratislava 2010.
- (31) Taherzadeh MJ, Richards T. Resource Recovery to Approach Zero Municipal Waste. : CRC Press; 2015.
- (32) Vermeulen I, Van Caneghem J, Block C, Baeyens J, Vandecasteele C. Automotive shredder residue (ASR): reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals' valorisation. *J Hazard Mater* 2011;190(1):8-27.
- (33) Winslow GR, Simon NL, Duranceau CM, Williams RL, Wheeler CS, Fisher MM, et al. Advanced separation of plastics from shredder residue 2004.
- (34) Zhang H, Chen M. Current recycling regulations and technologies for the typical plastic components of end-of-life passenger vehicles: a meaningful lesson for China. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 2014;16(2):187-200.