

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



“ANÁLISIS PRESENTE Y FUTURO
DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN
DE LOS VEHÍCULOS FUERA DE USO”

TRABAJO FIN DE GRADO

Junio – 2021

AUTOR: Alejandro Andújar Berenguer

DIRECTORA: María Belén Almendro Candel

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN	4
1.1. OBJETO DEL ESTUDIO	4
1.2. HISTORIA DEL AUTOMÓVIL	6
1.3. VEHÍCULOS FUERA DE USO.....	8
1.4. CENTROS AUTORIZADOS DE TRATAMIENTO	9
1.5. PROBLEMÁTICA.....	13
1.6. ECONOMÍA CIRCULAR	15
1.7. LEGISLACIÓN	18
1.7.1. LEGISLACIÓN EUROPEA	18
1.7.2. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA.....	19
1.7.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA.....	21
1.8. SISTEMAS DE GESTIÓN.....	22
2. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
3.1. PREVENCIÓN	29
3.2. REUTILIZACIÓN, RECUPERACIÓN Y REFABRICACIÓN	32
3.3. RECICLAJE Y VALORIZACIÓN DE MATERIALES.....	39
3.4. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA.....	49
3.5. ELIMINACIÓN.....	52
3.6. NUEVAS TENDENCIAS	54
4. CONCLUSIONES.....	60
5.ANEXOS	63
5.1. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.....	63
5.2. TÉRMINOS EMPLEADOS.....	68
6.BIBLIOGRAFÍA	70

1.INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETO DEL ESTUDIO

El reciclaje de los vehículos que han alcanzado el final de su vida útil es un proceso muy importante para el medioambiente. Los vehículos contienen residuos sólidos y líquidos que deben ser debidamente gestionados. Además, los vehículos fuera de uso (VFU) contienen piezas reutilizables. El 95% de estos residuos se puede reciclar y reutilizar con lo que se consigue un ahorro de materias primas y de energía.

La gestión de recursos es fundamental en una sociedad en la que prima el consumo. En cuanto a vehículos se refiere, el número de vehículos en el mundo alcanzó alrededor de 1.400 millones en el año 2018. Según el ritmo de crecimiento que han tenido en los últimos años se puede esperar que para 2036 haya en el mundo alrededor de 2.800 millones de vehículos [1]. El rápido crecimiento de la industria del automóvil contrasta con la escasez de recursos que existen en el planeta. Es por ello que se hace necesario encontrar nuevos recursos a través del reciclaje. En 2020 se estimaba que se generarían alrededor de 21,8 millones de VFU lo que supone un elevado potencial de recursos reciclables [2].

En España durante el año 2019 se matricularon un total de 1.258.260 vehículos entre turismos y todoterrenos [3]. El consumo es, sin duda, uno de los más importantes motores de nuestra sociedad y su economía, pero cuando el consumo es excesivo se convierte en un problema para el medioambiente, ya que disponemos de recursos limitados.

Por ello, la sociedad debería encaminarse a un consumo sostenible que garantice los bienes necesarios para los ciudadanos, pero que también permita que estos bienes se puedan recuperar y volver a incorporar al proceso productivo ahorrando recursos y energía.

El sector industrial dedicado a los vehículos fuera de uso ha evolucionado en los últimos años gracias a la nueva normativa, que ha permitido pasar de los antiguos desguaces a los centros autorizados de tratamiento [4].

Con anterioridad a la aparición de la normativa actual referente al tratamiento de vehículos fuera de uso, los vehículos se depositaban en los desguaces. En ellos se obtenía la chatarra y se desmontaban algunos componentes, que se utilizaban para vender como piezas de recambio usado.

Desde el punto de vista medioambiental, las únicas piezas que se extraían en los desguaces eran las baterías para aprovechar el plomo que contienen, pero no se extraía ningún otro residuo debido a la falta de tecnología y a los altos costes de estos procesos, por lo que los residuos contaminantes no eran tratados, con el peligro que esto conlleva para el medioambiente.

La gestión de los VFU cambia radicalmente con la aparición de la directiva 2000/53/CE [5], para regular y definir aspectos legales de esta actividad desde el punto de vista medioambiental.

La incorporación al derecho interno español de esta directiva da lugar al Real Decreto 1383/2002 [6], que posteriormente es derogado y sustituido por el Real Decreto 20/2017 [7], que tiene por objeto el tratamiento y la gestión de los VFU para establecer medidas que prevengan la generación de residuos procedentes de los vehículos, regular su recogida y descontaminación. El RD 20/2017 ha estado en vigor hasta abril de este mismo año en que ha sido derogado por el RD 265/2021 [8].

Aparte de los efectos positivos para el medioambiente que supone el tratamiento de los VFU, estos procesos permiten la recuperación de abundante material que supone una fuente de recursos para la cadena de suministro y que también permite el desarrollo de una economía circular [9].

El objeto de estudio de este Trabajo de Fin de Grado es el análisis de los problemas ambientales que generan los vehículos de combustión interna al llegar al final de su vida útil, estudiar los sistemas de gestión adoptados en España para paliar los efectos nocivos que estos residuos pueden tener sobre el medioambiente y hacer un estudio bibliográfico de las últimas tendencias de los sistemas de valorización de estos residuos.

1.2. HISTORIA DEL AUTOMÓVIL

La invención del automóvil responde a la necesidad de crear una máquina que transportara materiales y personas a grandes velocidades y que recorriera largas distancias.

El automóvil no hubiese sido posible sin los adelantos tecnológicos e industriales que conllevó la Revolución Industrial. Entre estos avances tecnológicos destaca la máquina de vapor, cuyo máximo desarrollador fue el británico James Watt. Otra tecnología importante para el desarrollo del automóvil fue la electricidad estudiada por científicos como Gramme, Tesla, Sprague y Graham Bell, entre otros. Por último, otro de los inventos que permitieron evolucionar los automóviles, tal como hoy los conocemos, fue el motor de combustión interna, gracias al descubrimiento del petróleo como combustible a mediados del siglo XIX [10].

Cada uno de estos avances tecnológicos ha conformado una etapa distinta en la evolución del automóvil.

La historia del automóvil comienza con la invención del motor de vapor por el francés Nicolas-Joseph Cugnot, alrededor de 1770. Cugnot creó un vehículo con un motor que aprovechaba la tecnología de las máquinas de vapor. A partir de este vehículo se desarrollaron otros prototipos que permitieron inventar el freno de mano, las velocidades y el volante, aunque todos ellos contaban con el inconveniente de mantener caliente su caldera [10].

Otra etapa en el desarrollo del automóvil fue el descubrimiento del motor de combustión interna con combustibles como el petróleo a principios del siglo XIX. A partir de 1807 empiezan a aparecer los primeros motores de este tipo que funcionan de manera aceptable.

Por último, hemos de hablar de la etapa en la que se inventa el automóvil a electricidad. Entre 1832 y 1839, Robert Anderson inventó el primer vehículo eléctrico que era propulsado por celdas eléctricas no recargables. Era un vehículo más silencioso y menos pesado que el de motor de vapor [10].

A partir de aquí se empiezan a combinar las diferentes tecnologías para ir

desarrollando el automóvil. En 1860 el belga Etienne Lenoir creó un vehículo con motor de combustión interna, propulsado por gas de carbón que mezclaba aire y combustible y empleaba un encendido eléctrico, en un motor a dos tiempos.

Basándose en el modelo de Lenoir, Siegfried Marcus creó el primer coche con un motor de combustión interna a base de gasolina con un sistema eléctrico de bajo voltaje que patentó en 1883.

Se puede considerar que el punto de partida del automóvil moderno es el modelo diseñado por Karl Benz, llamado Benz Patent-Motorwagen en Mannheim en 1885. A partir de este momento tiene lugar el inicio de la industria automovilística [10].

A finales del siglo XIX empezaron a construirse automóviles en Francia, que es considerado el país pionero en la invención del automóvil, aunque Estados Unidos es el país con el que la industria automovilística alcanzó su máximo potencial gracias a las ideas de Henry Ford. Este último junto a Henry Royce y Ettore Bugatti son considerados los responsables del crecimiento, expansión y fama de esta industria.

Las carreras de coches dieron una enorme visibilidad al automóvil y a la industria detrás de él, aunque también pusieron de relieve el peligro que entrañaba el automóvil, pues hubo muchos accidentes.

El futuro del automóvil, tal como lo conocemos hoy en día, es incierto. La crisis de la industria automovilística tiene dos vertientes: una, ecológica, por la quema de combustible fósil que destruye los ecosistemas y contribuye al cambio climático; y otra, energética, pues los combustibles fósiles son una fuente energética no renovable. Por ello, habrá que encontrar un nuevo automóvil. En la actualidad, están surgiendo los automóviles eléctricos [10].

1.3. VEHÍCULOS FUERA DE USO

Según el RD 1383/2002 [6], derogado por el RD 20/2017 [7], los vehículos fuera de uso son aquellos que acaban su vida útil (o se encuentran abandonados) y que cuentan con al menos cuatro ruedas, destinados al transporte de personas y que tengan, además del asiento del conductor, ocho plazas sentadas como máximo; los vehículos de motor con al menos cuatro ruedas, destinados al transporte de mercancías y que tengan una masa máxima no superior a 3,5 toneladas, y los vehículos de tres ruedas simétricas provistos de un motor de cilindrada superior a 50 centímetros cúbicos, si es de combustión interna, o diseñados y fabricados para no superar una velocidad de 45 km/h, con exclusión de los ciclomotores [6-11].

El RD 265/2021 [8], de 13 de abril, establece la diferencia entre vehículo al final de su vida útil, que son todos los medios de transporte susceptibles de ser matriculados en la DGT, y automóvil al final de su vida útil que engloba solo a los vehículos de las categorías M1, N1 y L5e. A todos ellos les es de aplicación la Ley 22/2011. El vehículo al final de su vida útil se considera residuo cuando un centro autorizado de tratamiento (CAT) haya emitido el certificado de destrucción o el certificado de tratamiento medioambiental del vehículo y se halle en el CAT que haya emitido este certificado. El automóvil al final de su vida útil tiene la consideración de residuo cuando el automóvil se halle en el CAT que haya emitido el certificado de destrucción.

Hay que mencionar que a partir de ahora hablaremos de vehículos fuera de uso o vehículos al final de su vida útil refiriéndonos tanto a vehículos como a automóviles al final de su vida útil.

Cuando el dueño de un vehículo quiera desprenderse del mismo tiene la obligación de entregarlo a un centro autorizado de tratamiento, bien directamente o a través de una instalación de recepción.

Las instalaciones de recepción de vehículos son instalaciones que representan o tienen convenios con un CAT y que se hacen cargo temporalmente del vehículo al final de su vida útil para trasladarlo posteriormente a un CAT que realizará la descontaminación. Son las instalaciones de los

fabricantes, las de los concesionarios y las de las entidades aseguradoras u otras instalaciones asociadas a los CAT [8].

De cualquier manera, la entrega del vehículo no ha de suponer ningún coste para el titular del vehículo siempre y cuando el vehículo no tenga de valor de mercado y mantenga, al menos, la carrocería y el motor y que no tenga elementos que no pertenecen al vehículo. En España los propietarios no sólo no asumen gasto alguno, sino que suelen recibir una pequeña cantidad a cambio de su vehículo.

Los Ayuntamientos también tienen la obligación de entregar los vehículos abandonados a un centro de tratamiento para su descontaminación y, posterior, tratamiento.

El CAT en el que se vaya a realizar la descontaminación y tratamiento del vehículo ha de emitir el certificado de destrucción para los automóviles y el certificado medioambiental para los vehículos, entregándolo al titular del vehículo [8].

La emisión del certificado de destrucción da lugar a la obligación de descontaminación del vehículo al final de su vida útil en el plazo de treinta días [8].

1.4. CENTROS AUTORIZADOS DE TRATAMIENTO

Según el Anexo I del Real Decreto 1383/2002 los centros autorizados de tratamiento son instalaciones, públicas o privadas, autorizadas para realizar cualquiera de las operaciones de tratamiento de los vehículos al final de su vida útil. Dichos centros garantizarán la reutilización, reciclado y valorización del vehículo, bien por sí mismos o a través de otros centros de tratamiento [6].

Los centros autorizados de tratamiento han de estar autorizados por las distintas Administraciones autonómicas como gestores de residuos peligrosos debido al hecho que los vehículos fuera de uso al entrar en estos centros pasan

a tener la consideración de residuos peligrosos (con el código LER 16 01 04* de la Lista Europea de Residuos).

Según el artículo 11.2 del Real Decreto 265/2021 [8] los CAT que realicen operaciones de tratamiento de vehículos al final de su vida útil han de presentar una memoria anual en la que consten todos los residuos que gestionen.

Los CAT son los únicos centros donde se pueden entregar los VFU, ya que son los únicos autorizados a emitir el certificado de destrucción y tramitar la baja administrativa de los mismos del Registro de Vehículos de la Dirección General de Tráfico (DGT).

En estos centros los VFU son descontaminados y, después, se procede al desmontaje, almacenamiento y comercialización de las piezas que son susceptibles de volver a ser usadas (Figura 1), fomentando así el reciclado de los mismos [12].

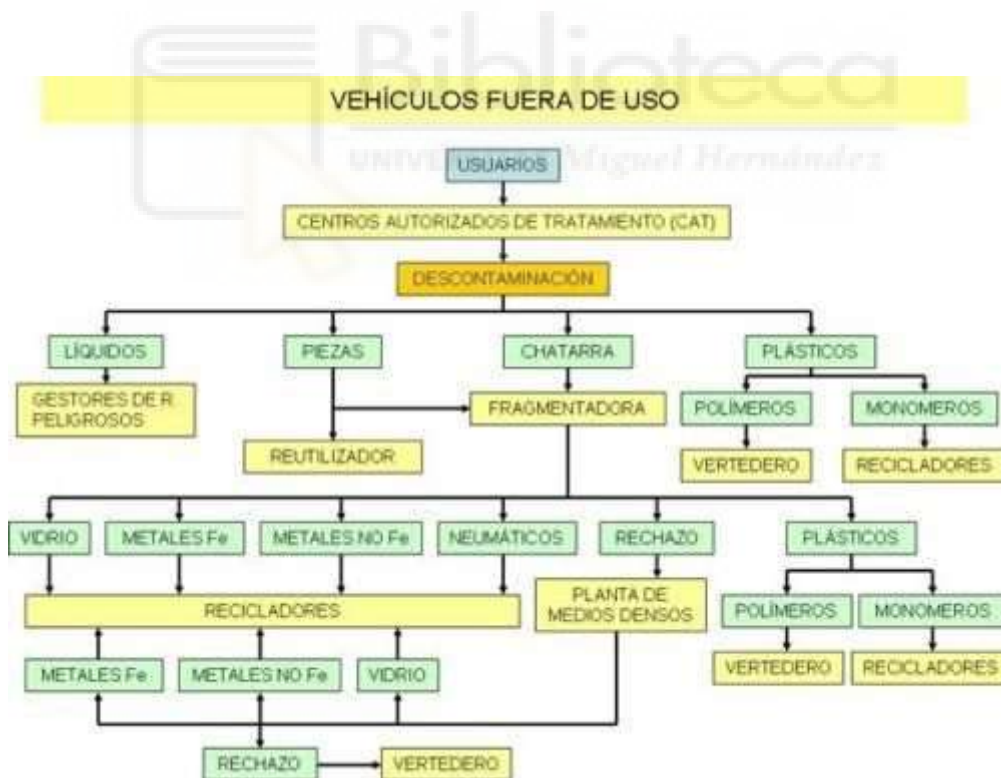


Figura 1. Esquema de tratamiento de los VFU [13]

En un centro autorizado de tratamiento se pueden distinguir las siguientes zonas [12]:

- Zona de recepción

En esta zona se entrega el vehículo y se verifica la documentación del mismo, comprobando que el chasis y la matrícula coinciden con la que aparece en la documentación.

Si todo es correcto, el CAT procede a emitir el certificado de destrucción del vehículo, con arreglo a los requisitos y modelo del Anexo III Real Decreto 265/2021 [8]. El siguiente paso es tramitar la baja del vehículo en la Dirección General de Tráfico. Los vehículos en esta zona no pueden almacenarse más de 30 días.

- Zona de descontaminación

En esta zona se lleva a cabo la descontaminación del vehículo, que es la parte más importante del proceso ya que en ella se retiran los fluidos y elementos que contienen sustancias peligrosas y que confieren al vehículo la condición de residuo peligroso. Las operaciones de descontaminación se han de llevar a cabo cumpliendo con la normativa establecida para que se alcancen los objetivos de reutilización y reciclado.

- Zona de almacenaje de residuos

En esta zona se almacenan tanto los residuos peligrosos generados en el proceso de descontaminación como el resto de residuos no peligrosos hasta que sean entregados a las empresas gestoras autorizadas para su tratamiento y/o gestión. Deberán existir en esta zona contenedores adecuados para almacenar separadamente las baterías, filtros, condensadores, los distintos fluidos del vehículo y los neumáticos. Asimismo, deberán tener equipos de recogida y tratamiento de aguas

- Zona de desmontaje

La zona de desmontaje no es obligatoria en todos los CAT. En algunos puede coincidir con la zona de descontaminación. En esta zona se lleva a cabo el desmontaje, retirada y clasificación de componentes y piezas del VFU, preparándolas de manera que se faciliten los objetivos de reutilización y reciclado que se establecen en el Anexo IV.2 del Real Decreto 265/2021 [8].

- Zona de almacenamiento de VFU descontaminados
Aquí tiene lugar el almacenamiento de los VFU que no contienen líquidos u otros componentes peligrosos.
- Zona de compactación
En esta zona se lleva a cabo el prensado del vehículo después de haber sido descontaminado y que se le hayan retirado las piezas que pueden ser reutilizadas. Esta zona no existe en todos los centros, solamente en aquellos que compacten los vehículos antes de su envío a la planta fragmentadora.

Los requisitos que han de cumplir las zonas que hemos mencionado de los centros autorizados de tratamiento de los vehículos al final de su vida útil se encuentran especificadas en el Anexo II del Real Decreto 265/2021 [8].

“A través de la firma, primero el 24 de Noviembre de 2003 y después el 1 de Junio de 2017, de un Acuerdo Marco, los sectores más implicados en la cadena de tratamiento de VFU, a través de SIGRAUTO, han puesto a disposición de los usuarios una red concertada de desguaces (centros autorizados de tratamiento - CAT) y fragmentadores suficientemente amplia y bien distribuida de forma que el usuario pueda desprenderse de su vehículo fácilmente y que dará cumplimiento al resto de las disposiciones del Real Decreto 20/2017” [14].

La localización de los CAT concertados por los fabricantes e importadores, así como de las instalaciones de fragmentación puede consultarse a través de los mapas de localización y, también, a través de los listados por Comunidad Autónoma. La actualización realizada el 8 de enero de 2021 en la página web de SIGRAUTO [14] nos informa de la existencia de 569 CAT y de 26 fragmentadores en España.

También se puede encontrar en la Dirección General de Tráfico el listado de CAT en España [15].

1.5. PROBLEMÁTICA

La generación de los residuos derivados de la actividad humana en el mundo va en aumento y da lugar a problemas sociales, económicos, sanitarios y ambientales. Es por ello que la gestión de los residuos está adquiriendo una gran importancia en los últimos años para la conservación del medioambiente, la economía circular y el desarrollo sostenible.

La industria automovilística es uno de los sectores que más residuos genera a nivel mundial (alrededor del 5% de los residuos industriales [16]) y que más contribuye a la contaminación.

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) el número total de vehículos que se matricularon en los países europeos miembros de la OCDE creció a un ritmo de un 4% anual en el período de 2014-2018 [16]. En la Figura 2 podemos ver que la producción mundial de automóviles entre los años 2000 y 2017 casi se ha duplicado.

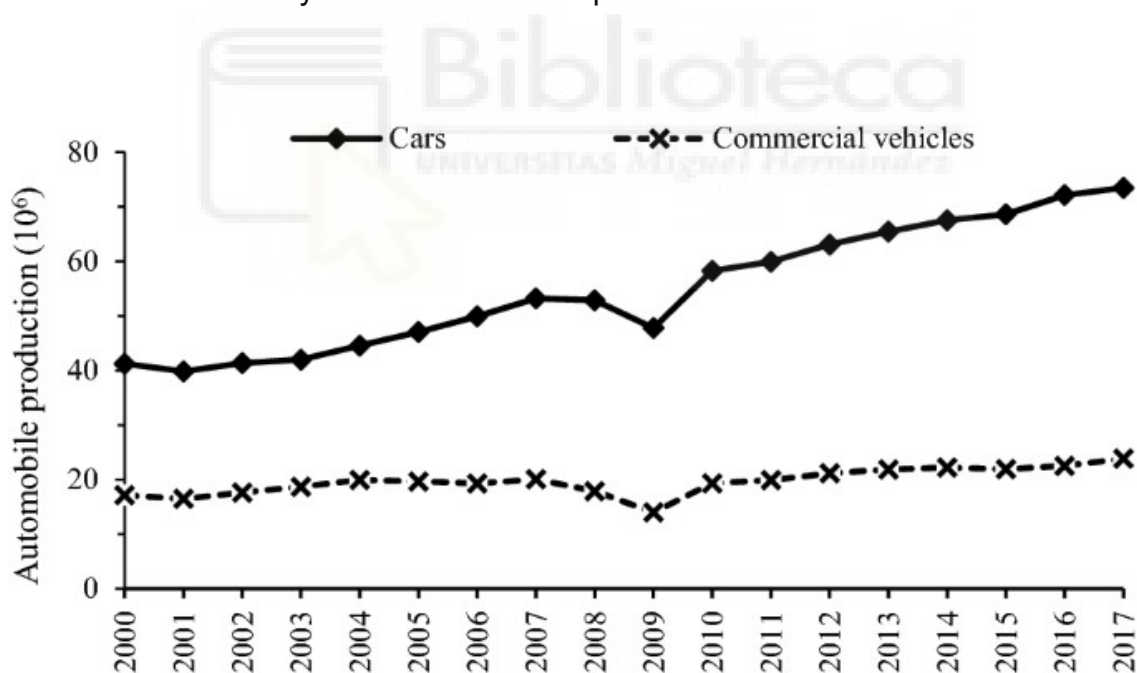


Figura 2. Producción mundial de automóviles de 2000 a 2017 en millones de automóviles [16].

Los VFU, como ya se ha dicho, pasan a ser considerados como residuos peligrosos una vez son entregados en los CAT y, dado que se espera que el

número de VFU siga aumentando a un ritmo considerable, la gestión de los mismos es muy importante.

Para llevar a cabo esta gestión, a partir del año 2000 empezó a surgir una legislación que marcara la línea de actuación de los vehículos cuando llegan al final de su vida útil.

Esta legislación implica tanto a gobiernos, productores, consumidores como a gestores de centros de tratamiento y se ha convertido en una cuestión de suma importancia hacia la que se están dirigiendo políticas de intervención, información y gestión.

El potencial de reciclaje de un vehículo es de un 95%, aunque lo normal es que se consiga evitar que vaya a vertedero algo menos del 90%. En el año 2013 en España el porcentaje reutilización y reciclado de VFU fue del 82,56% y el de reutilización y valorización fue el 86,04% [17].

La correcta gestión de residuos conlleva un ahorro de energía, emisiones y materias primas al tiempo que se consiguen beneficios como evitar la contaminación, reducir el consumo de agua y electricidad, la dependencia del petróleo, las emisiones de CO₂ y se reducen los costes asociados a la producción de nuevos bienes [17].

Para darnos una idea del problema que podría generar la mala gestión de los vehículos sólo hemos de mirar el número de coches dados de baja en los últimos años.

Como podemos ver en la Figura 3 la cifra total de vehículos que cada año se dan de baja en España ha aumentado entre 2013 y 2019.

Un factor que influye en el número de vehículos dados de baja en España es la existencia o no de incentivos de compra de vehículos por parte del gobierno (Plan PIVE, Plan Renove, Plan 2000E).

Los años en que estos planes han estado vigentes el número de VFU dados de baja ha aumentado, así como también las matriculaciones de nuevos vehículos. En la actualidad, las bajas de vehículos son menores que las matriculaciones por lo que el parque automovilístico español es cada vez más

viejo. Se estima que la edad media de los automóviles en España es de 12 años [18].

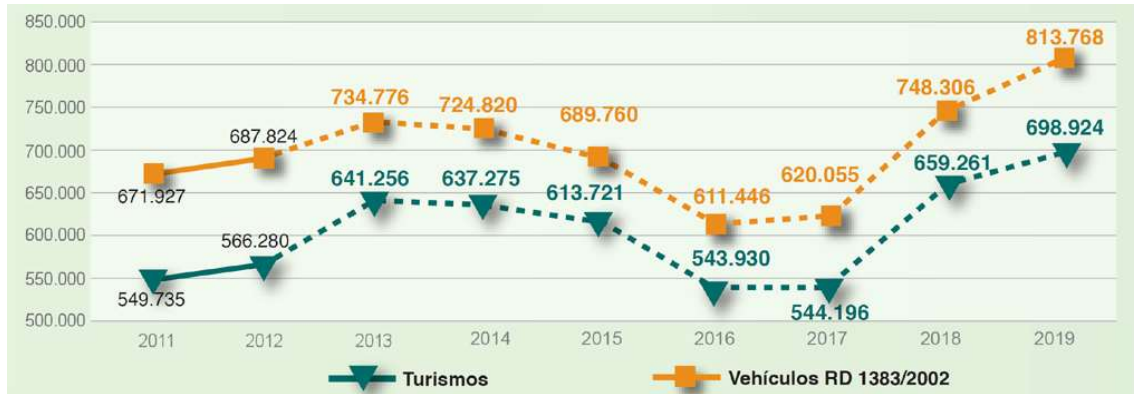


Figura 3. Vehículos tratados por centros autorizados [18].

1.6. ECONOMÍA CIRCULAR

El modelo de desarrollo económico actual está basado en una economía lineal que utiliza grandes cantidades de materias primas y energía. Este modelo ha generado un gran crecimiento económico, pero los recursos que hay en la Tierra son limitados y eso obliga a los distintos gobiernos a plantearse un modelo diferente, un modelo de desarrollo sostenible.

Un modelo de desarrollo económico que cada vez tiene más aceptación es el de la economía circular. La economía circular es un nuevo modelo económico que busca alargar la vida útil de los materiales, los productos y sus componentes, al tiempo que los mismos sean reintegrados al proceso productivo una vez haya terminado su vida útil.

El objetivo final es instaurar un sistema económico en el que se maximice el aprovechamiento de los recursos y minimice la generación de residuos, intentando evitar así daños irreversibles para el planeta [19].

Para conseguir estos objetivos el modelo de economía circular se basa en cuatro pilares fundamentales que son: Reducir, Reutilizar, Reciclar y Valorizar. Se trata de conseguir la coexistencia de un desarrollo económico fuerte que

respete el medioambiente, un sistema que permita conseguir beneficios para los distintos agentes económicos y que al mismo tiempo beneficie al medioambiente y a la sociedad. En la transición del sistema económico lineal a un sistema económico circular deben implicarse todos los agentes económicos [20].

La Unión Europea ha sido pionera en la adopción de políticas que contribuyan a la economía circular. Ya en 2015 adoptó el Plan de Acción sobre Economía Circular y en 2020 adoptó un Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y más competitiva [21] en el que se adoptan políticas y marcos de actuación para promover la economía circular en el sector industrial, empresarial y de servicios.

La implantación de estas políticas en la industria manufacturera, tanto de automóviles como de cualquier otro tipo de maquinaria, ha demostrado que es posible aumentar los beneficios aprovechando al máximo los recursos, con la reutilización y la minimización de los residuos. Para ello se han implantado no solo sistemas como el de reincorporación de los recursos al proceso productivo (reciclaje), sino también nuevas formas de diseño de los productos que faciliten su desmontaje y que contaminen menos [20].

En el año 2017 España firmó el Pacto por una Economía Circular [22] promovido por los Ministerios de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medioambiente y de Economía, Industria y Competitividad, cuyo objeto es avanzar hacia un nuevo modelo en el que los productos, materiales y recursos se mantengan en la economía durante el mayor tiempo posible y en el que se reduzca al mínimo la generación de residuos. La Asociación Española para el Tratamiento de los Vehículos Fuera de Uso (SIGRAUTO) ha sido una de las 55 organizaciones empresariales y sociales que se sumó a este pacto.

Este Pacto señala que la Economía Circular sólo se conseguirá con la colaboración de todas las administraciones públicas, de todos los sectores económicos, los agentes sociales y, sobre todo, de los consumidores y ciudadanos.

En la Figura 4 podemos ver cómo el automóvil es un buen ejemplo de economía circular. El ciclo de vida de los vehículos comienza en las plantas de

fabricación y termina cuando son entregados a un CAT al final de su vida útil donde se inicia el proceso de gestión de residuos.



Figura 4. El automóvil: un ejemplo de Economía Circular (Sigrauto) [23].

En primer lugar, los vehículos se someten a la descontaminación, proceso en el que son eliminados todos los elementos peligrosos para el medioambiente: aceite, combustible, anticongelante, líquido de frenos, fluido del aire acondicionado... A continuación, se retiran algunos de los componentes que se pueden reciclar, como los neumáticos, la batería o los catalizadores. Todos los elementos extraídos durante este proceso se almacenan y se entregan a gestores autorizados para su recuperación.

El siguiente paso es desmontar las piezas que pueden ser utilizadas en los talleres de reparación de vehículos (proceso de reutilización de los residuos). Tras su paso por el centro autorizado de vehículos, se envía el vehículo a una fragmentadora donde, por medio de distintas tecnologías de separación postfragmentación, se recuperan los materiales para ser reciclados: acero, aluminio, cobre, plásticos, etc. Los de elevado poder calorífico se utilizan para preparar un combustible derivado de residuos (CDR). Esta última fase constituye el proceso de reciclaje y valorización [23].

Todas las materias primas y la energía obtenidas en este proceso permitirán la fabricación de nuevos productos. Un estudio realizado en una planta de incineración de Turín (Italia) ha demostrado que se pueden obtener productos de plástico reciclado y combustible a partir de las fracciones de plástico que se obtienen en las fragmentadoras [24].

1.7. LEGISLACIÓN

Expondremos a continuación la legislación que existe tanto a nivel europeo como autonómico, para la gestión de los vehículos fuera de uso:

1.7.1. LEGISLACIÓN EUROPEA

- **Directiva 2000/53/CE** del Parlamento Europeo del Consejo, de 18 de septiembre de 2000, relativa a los vehículos al final de su vida útil [5]. Entra en vigor el 21 de octubre de 2000 y con ella la gestión de los vehículos fuera de uso cambió radicalmente. Los residuos generados en los desguaces se empezaron a gestionar de forma más eficiente. Esta directiva estipula las medidas para evitar y limitar los residuos de los vehículos al final de su vida útil y de sus componentes, al garantizar que se reutilicen, reciclen o valoricen. Además, tiene por objeto mejorar la eficacia en la protección medioambiental de todos los agentes económicos que intervengan en el ciclo de vida de los vehículos.
- **Directiva 2018/849/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, para dar a la Comisión la facultad de adoptar actos de ejecución y actos delegados [25].
- **Directiva 2005/64/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de octubre de 2005, relativa a la homologación de tipo de los vehículos de motor en lo que concierne a su aptitud para la reutilización, el reciclado y

la valorización y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE del Consejo [26].

- **Decisión 2005/293/CE** de la Comisión, de 1 de abril de 2005, por la que se establecen normas de desarrollo para controlar el cumplimiento de los objetivos de reutilización y valorización, así como de reutilización y reciclado fijados en la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los vehículos al final de su vida útil [27].
- **Decisión 2003/138/CE** de la Comisión, de 27 de febrero de 2003, por la que se establecen las normas de codificación de los componentes y materiales para vehículos en aplicación de la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los vehículos al final de su vida útil [28].
- **Decisión 2002/151/CE** de la Comisión, de 19 de febrero de 2002, sobre los requisitos mínimos del certificado de destrucción expedido con arreglo al apartado 3 del artículo 5 de la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a vehículos al final de su vida útil [29].
- **Decisión 2001/753/CE** de la Comisión, de 17 de octubre de 2001, sobre un cuestionario para los informes de los Estados miembros acerca de la aplicación de la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los vehículos al final de su vida útil [30].

1.7.2. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA

- **Real Decreto 1383/2002**, de 20 de diciembre, sobre la gestión de vehículos al final de su vida útil [6].

A través de este Real Decreto se incorpora al derecho español la Directiva Europea 2000/53. Su objetivo es prevenir la generación de residuos procedentes de los VFU, regular su recogida y descontaminación. Además, esta norma obliga a los fabricantes de vehículos a tomar medidas de prevención en su fabricación, como por ejemplo limitar el empleo de sustancias peligrosas, fabricar los vehículos para que sea fácil su descontaminación o incluir materiales reciclados.

- **Real Decreto 20/2017**, de 20 enero, sobre los vehículos al final de su vida útil [7].

Entra en vigor el 21 de enero de 2017 y deroga el Real Decreto 1383/2002. Las principales circunstancias que promovieron la revisión de la normativa fue la aprobación de la Ley 22/2011 sobre residuos y suelos contaminados, la necesidad de homogeneizar los datos que cada Estado de la Unión envía para el control de los objetivos de reutilización, reciclado y valorización, además de la ratificación de la experiencia adquirida en el anterior Real Decreto.

Se introducen mejoras relativas al precisar su ámbito de aplicación, regulando con mayor detalle las operaciones que se realizan en los Centros Autorizados de Tratamiento y completando las obligaciones de los productores y otros agentes económicos. Además, se añade una disposición adicional para regular la cesión temporal de VFU dados de baja definitiva en la DGT para fines de formación, investigación, protección civil o simulacros (anteriormente no estaba recogido).

- **Real Decreto 265/2021**, de 13 de abril, sobre los vehículos al final de su vida útil y por que se modifica el Reglamento General de Vehículos, aprobado por el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre [8].

Entra en vigor el 14 de abril de 2021 y deroga al Real Decreto 20/2017 e incluye novedades respecto a la baja temporal de los vehículos, modifica el Reglamento General de Vehículos. Además, incluye el procedimiento a seguir para tramitar la baja electrónica en el registro de la DGT y establece la diferencia entre automóvil y vehículo al final de su vida útil.

Por último, refuerza lo establecido en el anterior Real Decreto 20/2017 referente a los Centros Autorizados de Tratamiento.

- **Ley 22/2011**, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados [31].

Entra en vigor el 30 de julio de 2011. La ley define y articula la coordinación entre administraciones públicas, delimita las obligaciones de productores y gestores de residuos por medio de los instrumentos necesarios para llevar a cabo una política de residuos más eficaz.

La Ley apuesta por la prevención y por tanto intenta maximizar el aprovechamiento de los recursos y la disminución de los impactos adversos de su producción y gestión [32].

- **Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 [33].**
Este Plan es el instrumento para orientar la política de residuos en España en los próximos años para facilitar el paso de una economía lineal a una economía circular. Para ello se establece como principio fundamental el de prevención en la gestión de los residuos, seguido por los principios de reutilización, reciclado y valorización para intentar, con ellos, minimizar los residuos y la contaminación.

La aplicación y desarrollo de las pautas establecidas en este plan marco llevará a conseguir beneficios económicos, medioambientales y para la sociedad en general.

En la Tabla 1 se especifican los objetivos vigentes desde el año 2015 de reutilización, valorización y reciclaje:

Tabla 1. Objetivos en el PEMAR de reutilización, valorización y reciclaje de VFU (% peso medio/vehículo/año de la totalidad de los VFU que se generen) [33].

OBJETIVOS	2015
Reutilización + valorización (%)	95
Reutilización + reciclaje (%)	85

1.7.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

- **Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV)**
Decreto 81/2013, de 21 de junio, del Consell, de aprobación definitiva del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV).
[2013/6658] [34].
Decreto 55/2019, de 5 de abril, del Consell, por el que se aprueba la revisión del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana.
[2019/4208] [35].

El Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV) es el conjunto de medidas de actuación en materia de gestión de residuos a

adoptar en la Comunidad. Estas medidas afectan a todo tipo de residuos y se basan en la consecución de una política de residuo cero. El Decreto 55/2019 tiene como objetivo adaptar este Plan a los objetivos marcados por las directivas de la Unión Europea en esta materia [36].

En la Tabla 2 se especifican los objetivos mínimos de gestión a alcanzar antes de 2020:

Tabla 2. Objetivos del PIRCV respecto a los VFU (% peso medio/vehículo/año de la totalidad de los VFU que se generen) [35].

OBJETIVOS	Antes de 2020
Reutilización + reciclado (%)	90
Reutilización + reciclado + valorización (%)	95



1.8. SISTEMAS DE GESTIÓN

El gran cambio experimentado en el sector de la gestión de vehículos fuera de uso es una consecuencia directa de una legislación cada vez más exigente.

Tanto en España como en la Unión Europea se ha establecido una legislación para regular los vehículos fuera de uso y, también, los residuos que estos generan.

La forma en que están fabricados los distintos productos repercute en una mayor o menor generación de residuos. Con el fin de reducir la contaminación y la generación de residuos se aplica el principio de “quien contamina paga”, que responsabiliza a los productores de la financiación de la gestión de los residuos que han producido sus productos cuando llegan al final de su vida útil. Esto es lo que se llama Responsabilidad Ampliada del Productor [37].

La Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP) está regulada en el Título IV de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados [31]. Esta norma define al productor del producto como “la persona física o jurídica, que de forma profesional desarrolle, fabrique, procese, trate, venda o importe productos que con su uso se convierten en residuos” [37].

En la figura 5 podemos ver que la RAP abarca todo el ciclo de vida del producto, desde su fabricación hasta que se convierte en residuo y se aplica a todos los tipos de residuos que aparecen regulados en la ley.



Figura 5. Intervención de la RAP en el ciclo de los materiales [38].

De esta manera la RAP, aparte de responsabilizar a los productores, es una forma de estimular a los mismos en el cumplimiento de los objetivos de prevención, ecodiseño, valorización y reciclado de los productos.

Por tanto, el final de la vida útil de los productos está afectado para los productores por parámetros tanto económicos como ambientales. Según la legislación establecida los fabricantes son responsables de la devolución y recuperación de los vehículos y lo han de lograr a través de una gestión eficiente de los recursos que cumpla con la normativa y que, al mismo tiempo, minimice los costes. La asociación entre los diferentes agentes que participan en este

proceso es una de las maneras de minimizar los costes, y esto se ve reflejado en la creación de los Sistemas Integrados de Gestión [39].

De acuerdo a la ley, los productores están sometidos a una serie de obligaciones en materia de prevención, venta y recogida de residuos. Los productores pueden cumplir estas obligaciones de forma individual o colectiva [40].

Los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) son la forma colectiva más habitual para gestionar los residuos. Su finalidad básica es organizar la recogida selectiva y la gestión de los residuos. Son sistemas gestionados por entidades sin ánimo de lucro con diferentes formas jurídicas (fabricantes, importadores y distribuidores de productos) y su funcionamiento es financiado por las empresas que deciden cumplir su obligación de RAP a través de los mismos [37].

Según establece el artículo 11.4 del Real Decreto 265/2021 [8] antes del 30 de junio de cada año, estos sistemas de gestión han de presentar al Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico un informe relativo al año natural anterior con la información sobre la puesta en el mercado de productos, los residuos generados, recogidos y tratados, así como la organización, funcionamiento, financiación del sistema y los acuerdos suscritos con otros agentes económicos.

En España, los Sistemas Integrados de Gestión son los encargados de valorizar residuos tales como el papel/cartón, el vidrio, los envases, los neumáticos, los vehículos fuera de uso, los residuos de construcción y demolición y los aparatos eléctricos y electrónicos, entre otros. El Sistema Integrado de Gestión dedicado a los vehículos fuera de uso en nuestro país es SIGRAUTO [41].

En la Unión Europea existen también sistemas de gestión como, por ejemplo, VALORCAR en Portugal, CARTAKEBACK en Reino Unido o AUTORETUR AS en Noruega. La cadena de tratamiento en la Unión Europea es idéntica en cuanto a los procesos y las actividades que se llevan a cabo, pero los niveles técnicos de las instalaciones son distintos [42].

La Asociación Española para el tratamiento medioambiental de los vehículos fuera de uso (SIGRAUTO) fue constituida el 22 de mayo de 2002 por las asociaciones que representan a los principales sectores involucrados en la cadena de tratamiento de los vehículos al final de su vida útil. En la Figura 6 podemos ver cuáles son las asociaciones que componen Sigrauto.

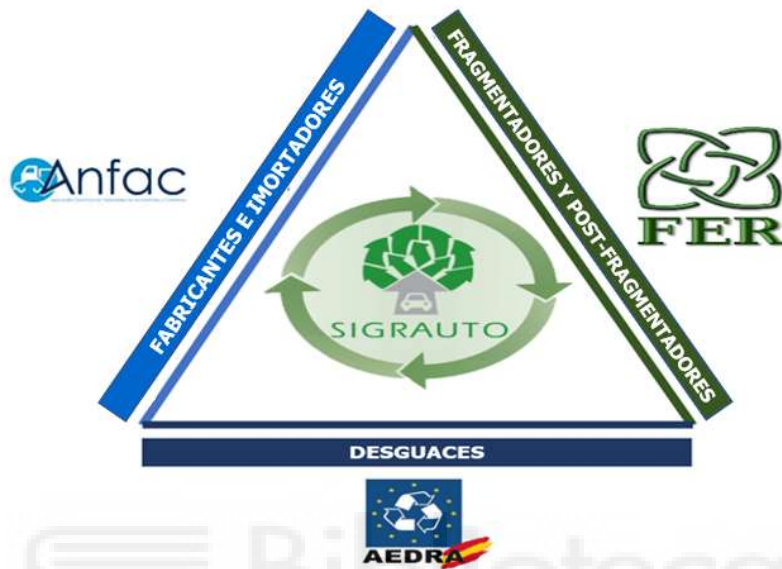


Figura 6. Asociaciones que componen Sigrauto (Elaboración propia).

- La Asociación Española del Desguace y Reciclaje del Automóvil (AEDRA) [43]. AEDRA tiene aproximadamente 600 desguaces asociados. Más de la mitad de los centros autorizados de tratamiento españoles son asociados.
- La Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) [44]. Es una asociación sin ánimo de lucro que tiene como misión fomentar el adecuado desarrollo del Sector de la Automoción contribuyendo a los intereses generales del país. ANFAC representa los intereses comunes de los fabricantes de vehículos o derivados de los mismos, de sus motores y componentes, y de sus marcas.

La Asociación Nacional de Importadores de Automóviles, Camiones, Autobuses y Motocicletas (ANIACAM) fue una de las asociaciones fundadoras de SIGRAUTO, pero en febrero de 2020 se disolvió y sus asociados pasaron a unirse a ANFAC [45].

- La Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje (FER) [46].
Está formada por las principales empresas españolas de reciclado y recuperación de materiales metálicos. Además, esta asociación agrupa a las 26 plantas fragmentadoras y a las 10 plantas de postfragmentación españolas.

SIGRAUTO es una asociación sin ánimo de lucro encargada de coordinar y gestionar las actividades derivadas de la normativa sobre vehículos al final de su vida útil y representar y defender los intereses de sus asociados ante las Administraciones europea, central, autonómica y local, de manera que pueda establecerse una cadena de tratamiento eficaz [47].

Entre los objetivos de Sigrauto se encuentran los siguientes [47]:

- Concertar una red de centros autorizados de tratamiento amplia y bien distribuida por todo el país en la que se asegure el coste cero para los dueños.
- Proporcionar información de dónde se encuentran los centros de tratamiento autorizados.
- Facilitar la fluidez de la información entre los CAT, los fabricantes e importadores de vehículos y las empresas fragmentadoras.
- Buscar soluciones para evitar que los VFU tengan valores negativos de mercado.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este Trabajo de Fin de Grado se ha hecho un estudio sobre el problema de los residuos, en concreto de los vehículos fuera de uso, revisando las diferentes estrategias que se están llevando a cabo en la actualidad, así como las últimas tendencias en las líneas de investigación acerca de la gestión de residuos.

Para ello se han analizado diferentes fuentes bibliográficas disponibles:

- Legislación europea consultada en el Diario Oficial de la Unión Europea.
- Legislación nacional consultada en el Boletín Oficial del Estado.
- Legislación autonómica del Diari Oficial de la Generalitat Valenciana.
- Organismos públicos, como el Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medioambiente o el Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Sistemas Integrados de Gestión de VFU. SIGRAUTO: que nos ha aportado datos hasta 2019.
- Google, donde además de consultar la información anterior se han realizado búsquedas con las palabras clave “Vehículos Fuera de Uso” o “VFU”, con el fin de encontrar informes, noticias de medios de comunicación, tesis, revistas de divulgación, revistas profesionales, páginas web.
- Artículos científicos, encontrados a través de Scopus y Science Direct. Para ello se han utilizado en las búsquedas las palabras clave “end of life vehicles”, “circular economy” y “recycling elv”, entre otros. Las búsquedas se limitaron a publicaciones de los últimos años con el fin de ofrecer la información más reciente.

Al final de este TFG se incluye, como anexo, un estudio bibliométrico que tiene por objeto analizar las publicaciones científicas encontradas en función de diferentes criterios, como el país de origen, el área de investigación, o la revista en que se han publicado, entre otros.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de recuperación de un VFU en cumplimiento de la Directiva 2000/53/CE [5] del Parlamento Europeo, trasladada a la legislación española en el Real Decreto 1383/2002 [6] y el Real Decreto 20/2017 [7] que ha sido derogado por el Real Decreto 265/2021 [8], pasa por varias fases:

1. Prevención de residuos
2. Reutilización, recuperación y refabricación
3. Reciclaje y valorización de materiales
4. Valorización energética
5. Eliminación

En la Figura 7 se avanza un esquema del proceso de tratamiento al que se somete a los VFU en Europa. A continuación, describiremos este proceso en detalle.

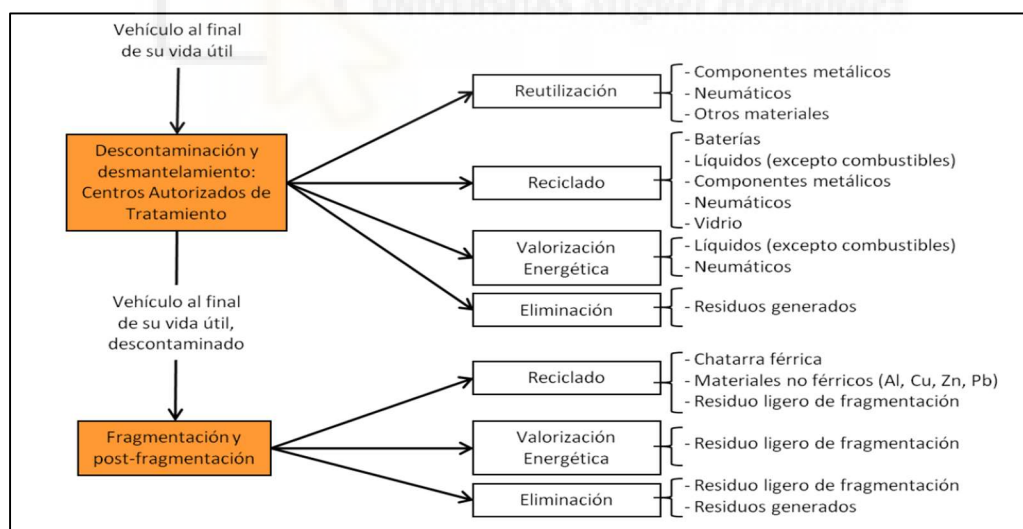


Figura 7. Diagrama de procesos de tratamiento de VFU aplicado en Europa [48].

3.1. PREVENCIÓN

Hoy en día los automóviles se utilizan cada vez más. A lo largo de su vida útil tienen distintos impactos sobre el medioambiente. Por una parte, consumen energía y recursos, que ya hemos visto que son limitados. Por otra parte, los automóviles tienen muchos componentes fabricados, a su vez, por distintos tipos de materiales que generan residuos durante la fabricación y el uso de los mismos. Cada uno de estos materiales se ha de tratar de forma distinta en el proceso de reciclado. Y, por último, la eliminación de los mismos al final de su vida útil también tiene un impacto medioambiental. La normativa creada en la Unión Europea marca las directrices que hay que seguir para minimizar estos impactos sobre el medio ambiente [49].

Una buena gestión de residuos comienza por la prevención en la generación de los mismos. Por tanto, la prevención y, con ella, la reducción de residuos deben ser las máximas prioridades de todo plan de gestión.

Según el Plan Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020 [50] la prevención de residuos es el conjunto de medidas que se deben adoptar en las etapas de diseño, producción, distribución y consumo de los productos para evitar que estos generen residuos, e intentar que contengan la menor cantidad de sustancias peligrosas, minimizando así los impactos negativos sobre las personas y el medioambiente. La prevención supone beneficios tales como el ahorro en el consumo de materias primas y la reducción de costes en la gestión de residuos. Además, contribuye a la rentabilidad de las empresas y a la creación de empleo, promoviendo nuevas actividades económicas relacionadas con la reutilización y el reciclado de residuos.

Como vemos en la figura 8, en el aspecto medioambiental, la prevención en la generación de residuos es la apuesta de la política de residuos que más beneficios proporciona, por ello ocupa la primera posición en la jerarquía de residuos y es clave tanto en la Hoja de ruta para avanzar hacia una Europa Eficiente en el uso de los recursos de la Estrategia 2020 de la Unión Europea [51], como en la Directiva Marco de Residuos [52].



Figura 8. Jerarquía de Residuos [53].

Estas dos directivas especifican los objetivos y los medios para conseguir un nuevo modelo económico en Europa basado en el uso eficiente de los recursos, establecen la prevención y el reciclado como pilares fundamentales: la prevención, para intentar que se produzca la menor cantidad de residuos posible, y el reciclado para darles un nuevo uso a los residuos generados.

En adaptación a la normativa europea se creó en España el Plan Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020 [50]. Este programa desarrolla la política de prevención de residuos y establecía el objetivo de reducir los residuos generados en España en 2020 en un 10% respecto del peso de los generados en 2010.

Este Plan se basa en cuatro líneas de actuación:

- Reducción de la cantidad de residuos.
- Reutilización y alargamiento de la vida útil de los productos.
- Reducción del contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.
- Reducción de los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente, de los residuos generados.

La normativa vigente en España se encuentra en la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados [31] y, en concreto, para los vehículos fuera de uso en el Real Decreto 1383/2002 [6], el Real Decreto 20/2017 sobre los vehículos al final de su vida útil [7] y el Real Decreto 265/2021 [8].

En esta normativa se establecen medidas preventivas como disminución y limitación del empleo de sustancias peligrosas en la fabricación de vehículos. Se prohíbe la utilización de elementos considerados tóxicos, como el mercurio, cadmio, plomo y cromo hexavalente, tanto en la fabricación de vehículos como en la de los componentes.

Los fabricantes, además, han de diseñar y construir los vehículos de manera que se facilite el desmontaje, la descontaminación, la reutilización y la valorización de los mismos cuando llegan al final de su vida útil. También han de incluir normas que permitan identificar los componentes y materiales que sean susceptibles de reutilización o valorización, proporcionando toda esta información a los gestores de VFU para su correcto reciclado. Además, se les anima a fabricar los vehículos con piezas elaboradas a partir de materiales reciclados fomentando, de esta manera, el uso eficiente de los recursos y con la creación de empresas que fabrican y comercializan estos materiales. También han de informar a los consumidores de los criterios de protección del medioambiente que han adoptado en las fases de diseño y fabricación del vehículo.

Con el fin de cumplir con toda esta legislación, hay algunos fabricantes y proveedores que quieren intentar aplicar todas estas medidas no solo en la etapa de fabricación, sino desde el momento en que se diseñan los vehículos. Aparte de las medidas adoptadas para facilitar el reciclaje, la industria automovilística pide el diseño de planes que incluyan estas medidas desde la fase de desarrollo de los vehículos [54].

En cuanto a prevención, una de las soluciones que los fabricantes de vehículos proponen es la utilización del ecodiseño, que es un método que consiste en tener en cuenta los factores ambientales durante la fase de desarrollo de los mismos, sin dejar de tener en cuenta los factores que siempre han sido los principales, como son los costes o la calidad. Este método proporciona un valor añadido a los productos, pues se considera que son más respetuosos con el medioambiente y que cumplen con la normativa, además de proporcionar otros beneficios como la reducción de los costes, el aumento de la competitividad, la innovación y mejora de la imagen de los productos [55].

Se ha propuesto un marco de diseño ecológico para algunas pymes de automóviles de Malasia basado en el estudio de la reciclabilidad de los productos y procesos que intervienen en la fabricación de vehículos, para que estas puedan garantizar que sus productos tengan el mínimo impacto sobre el medioambiente [56].

Para fabricar un automóvil se utilizan más de 50 tipos diferentes de metales, algunos de los cuales son considerados peligrosos por la Comisión Europea y para los cuales no existe un proceso específico de reciclaje. Existe un método basado en el análisis exergético de las materias primas que componen los vehículos. Este método propone analizar estas materias en función de su abundancia en la naturaleza y de la energía necesaria para extraerlas y procesarlas, identificando así aquellas que son más peligrosas y proponiendo recomendaciones para su ecodiseño. Este método se ha aplicado a un modelo SEAT León 2.0 Diesel y las recomendaciones obtenidas han sido: reducir el uso de metales con valores de alta rareza termodinámica, como el cobre o el platino, que son los que se suelen utilizar para fabricar los equipos eléctricos. También hace otras recomendaciones como reducir el tiempo de desmontaje [57].

Una de las soluciones que se proponen para reducir el consumo de energía a nivel mundial y reducir los impactos negativos sobre el medioambiente es la conversión de los vehículos convencionales en coches eléctricos o en vehículos solares híbridos [58].



3.2. REUTILIZACIÓN, RECUPERACIÓN Y REFABRICACIÓN

Las distintas normativas en materia de gestión de vehículos al final de su vida útil establecen que el primer paso a realizar es la entrega de los mismos a un centro autorizado de tratamiento para ser descontaminados y proceder a la reutilización de todas aquellas piezas y componentes que aún sirvan para el mismo fin para el que fueron creadas [53].

Por tanto, el primer paso a realizar es la descontaminación del VFU y esto se debe a que al entrar en el CAT los vehículos fuera de uso se convierten en residuos peligrosos con el siguiente código LER [59]:

16 01 04*	Vehículos al final de su vida útil
-----------	------------------------------------

El proceso de descontaminación consta de dos etapas [59]:

- 1ª etapa – Estación Ecológica: se lleva a cabo la extracción de todos los líquidos (aceite, líquidos de frenos, etc.) y elementos peligrosos del automóvil, como baterías, neumáticos, airbags, filtros de aceite, catalizadores, etc.
- 2ª etapa -Valoración de Materiales: se retiran todos los elementos que se pueden reutilizar o reciclar como vidrios, plástico, cobre, aluminio, etc., al tiempo que se desmontan las ventanas, parachoques, rejillas de radiador, asientos, etc.

Según el Anexo IV.1 del Real Decreto 265/2021 las operaciones para la descontaminación de los vehículos al final de su vida útil son [8]:

- a) Retirada de baterías, depósitos de gas licuado.
- b) Retirada o neutralización de componentes potencialmente explosivos (por ejemplo, airbags).
- c) Retirada, así como recogida y almacenamiento por separado, cuando su mezcla impida su tratamiento conforme al artículo 18.2 de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de: filtros de combustible, filtros de aceite, combustible, aceite (de motor, de transmisión, de la caja de cambios, hidráulico y líquido de frenos), líquido refrigerante, anticongelante, fluido de los aparatos de aire acondicionado, así como cualquier otro fluido que contengan los vehículos al final de su vida útil.
- d) Retirada, siempre que sea viable, de todos los componentes en los que se haya determinado un contenido en mercurio.

La legislación también obliga a los fabricantes de vehículos y de sus componentes a proporcionar información a los centros de tratamiento para realizar una correcta descontaminación. El Sistema Internacional de Información de Desmantelamiento (IDIS) [61] proporciona información para poder localizar e identificar las sustancias peligrosas que se encuentran en los VFU facilitando que puedan ser eliminados de manera fácil [62].

Los residuos generados en el proceso anterior han de ser debidamente almacenados. El CAT debe tener zonas de almacenamiento tanto para los residuos peligrosos como para los no peligrosos, así como una zona para el almacenamiento de componentes.

En la zona de almacenamiento de residuos peligrosos, los residuos se almacenarán en depósitos, de forma temporal y en las condiciones adecuadas, antes de ser entregados a los gestores autorizados [12].

En las Figuras 9 y 10 podemos ver la etiqueta con la que deberán ser identificados los depósitos que contengan residuos peligrosos, la cual debe especificar los datos del residuo y del productor, así como los pictogramas de peligrosidad:

NOMBRE DEL RESIDUO	
DATOS DEL RESIDUO	
CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DEL RESIDUO*	
CÓDIGO LER DEL RESIDUO:	
DATOS DEL TITULAR DEL RESIDUO:	
Nombre:	
Dirección:	
Código postal y localidad:	
Teléfono:	
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO:	
FECHA DE INICIO DE ENVASADO: / /	
FECHA DE FIN DE ENVASADO: / /	
PICTOGRAMA/AS SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS DE PELIGROSIDAD DEL RESIDUO	

Figura 9. Modelo Etiqueta Residuos Peligrosos [12].



Figura 10. Pictogramas de peligrosidad [12].

Una vez descontaminados y desmontados, los vehículos fuera de uso se convierten en residuos no peligrosos que tienen el siguiente código LER [59]:

16 01 06*	Vehículos fuera de uso descontaminados
-----------	--

Tras realizar la descontaminación habrá que comprobar, limpiar e identificar las piezas retiradas y se encontrarán en condiciones de iniciar el proceso de reutilización, que también incluye la recuperación y refabricación.

En el punto 2 del anexo IV del Real Decreto 265/2021 [8] se especifican las operaciones de tratamiento para fomentar la preparación para la reutilización y el reciclado y que son:

- a) Retirada de catalizadores.
- b) Retirada de los elementos metálicos que contengan cobre, aluminio y magnesio, si estos metales no van a ser retirados en el proceso de fragmentación.
- c) Retirada de neumáticos y componentes plásticos de gran tamaño (por ejemplo, parachoques, salpicaderos, depósitos de fluidos, etc.) si estos materiales no van a ser retirados en el proceso de fragmentación de tal modo que puedan reciclarse efectivamente como materiales.
- d) Retirada de vidrio.

Según la Decisión de la Comisión 2002/525/EC de la UE [63], la reutilización es cualquier operación mediante la cual las piezas de los vehículos al final de su vida útil se pueden volver a utilizar para realizar la misma función para la que fueron diseñadas. Según el estado en el que se encuentren las piezas retiradas, estas podrán ser recuperadas o refabricadas [64].

Según el Anexo V del Real Decreto 265/2021 [8] los CAT autorizados son los únicos que pueden comercializar piezas y componentes usados y estas siempre deberán ir acompañadas por el Certificado de Componentes, partes o piezas Preparados para Reutilización procedentes de vehículos al final de su vida útil que acredita que han sido preparadas para la reutilización por un CAT,

que proceden de vehículos dados de baja definitiva ante la DGT y que mantienen su funcionalidad y seguridad para el uso.

Por otro lado, la Decisión 2002/525/EC de la UE [63] dice que la recuperación comprende las operaciones que hay que realizar para la recuperación de piezas y acondicionarlas para su posterior comercialización como piezas de segunda mano. Son recuperables las piezas que con solo tareas de limpieza, montaje o desmontaje vuelven a funcionar y ser usadas para su uso inicial [64].

La refabricación lo que hace es considerar las piezas desmontadas de los VFU como materia en bruto y, aplicando tecnología avanzada vuelve a darles la condición de nuevas, pudiendo volver a ser utilizadas en la cadena de montaje [64].

Los procesos de reutilización, recuperación y refabricación deben realizarse de manera que contribuyan a la reducción de emisiones de CO₂, al ahorro de energía y de forma que eviten la acumulación de residuos innecesarios.

Para ello, las piezas que tengan mayor tasa de reciclaje se deben desmontar de forma manual, a pesar de que de esta manera se incrementan los costes. Por ello se ha de trabajar en diseñar cadenas de desmontaje que intenten minimizar los costes y contribuyan al máximo a la conservación del medioambiente y la sostenibilidad [65].

La refabricación es el paso del proceso con un mayor valor añadido, ya que es el que más beneficios y oportunidades comerciales puede generar, pero también es el que con más dificultades se encuentra. Por una parte, los productores de piezas refabricadas son competencia directa de los productores de piezas nuevas, por lo que han de competir en precios y nivel de eficiencia, lo que les obliga a mejorar sus productos y procesos de fabricación. Otra dificultad a la que se enfrentan es que los consumidores de piezas refabricadas no están totalmente concienciados con la compra de estas piezas, por lo que tienen que potenciar la venta de sus productos subrayando sus ventajas ambientales, técnicas y económicas [66].

Pero la refabricación produce piezas que son aptas para utilizar en vehículos nuevos y en sus componentes, que tienen igual garantía que si fueran de nueva fabricación y que tienen un rendimiento al menos igual que el de los productos nuevos, siendo su garantía al menos como la de los productos originales. Por esta razón los consumidores acabarán convenciéndose de la conveniencia de utilizarlos. Además, es uno de los procesos que más beneficios ambientales tiene, algo en lo que hace hincapié la normativa europea sobre vehículos al final de su vida útil. La Asociación de Remanufacturadores de Partes Automotrices (APRA) [67] afirma que los motores refabricados ahorran más del 50% de la energía en comparación con la producción de motores nuevos, y hay algunos estudios europeos que predicen un ahorro de hasta el 85% de energía en algunas piezas refabricadas de automóviles [68].

No existe legislación específica sobre la refabricación en la normativa europea. En cambio, sí existe en Estados Unidos, donde la Ley de Ahorros de Costos de Reparación [69] anima a los fabricantes a usar piezas refabricadas de vehículos, ya que la refabricación no reduce la calidad del vehículo y, en cambio, sí reduce los costes [68].

Cuando las piezas se dedican al mercado de segunda mano la comercialización de las mismas la puede llevar a cabo el CAT por sí mismo o hacerlo a través de otros, siempre que se garantice un nivel mínimo de reutilización.

Son muchas las piezas susceptibles de ser reutilizadas en un vehículo. En la Tabla 3 se relacionan, por categorías, las piezas que se pueden reutilizar en un vehículo:

Las piezas y componentes que vayan a ser destinados a la venta se conservarán en la zona de almacenamiento de componentes, de forma que se localicen e identifiquen de manera eficaz.

Las partes de los VFU descontaminados y desmontados, que no van a ser reutilizadas, también han de ser almacenadas en espera de ser compactadas y destinadas al reciclaje.

Tabla 3. Piezas reutilizables de los VFU [70].

CATEGORÍAS	PIEZAS
ALUMBRADO	Faros / Intermitentes / Luces de niebla / Pilotos / Varias piezas luces
CARROCERÍA	Lateral: Cerraduras / Espejos retrovisores / Puertas / Varias piezas de carrocería lateral. Delantera: Aleta delantera/ Capó de motor / Frente delantero / Parabrisas / Parachoques delantero / Refuerzo parachoques / Parrilla / Varias piezas carrocería delantera. Trasera: Aleta trasera / Luneta trasera / Refuerzo parachoques trasero / Parachoques trasero.
ELECTRICIDAD	Alternador / Bobina y cables del encendido / Motor de arranque / Motor elevallunas / Motor limpiaparabrisas / Varias piezas electricidad.
MOTOR	Carter motor / Culata motor / Distribuidor de encendido / Motores / Polea del cigüeñal / Turbo compresor / Varias piezas motor / Inyector.
CAMBIO / DIRECCIÓN/EMBRAGUE	Caja de Cambios / Mangueta / Bomba de dirección, Cremallera de dirección / Varias piezas cambio, dirección y embrague.
SUSPENSIÓN/TRANSMISIÓN	Delantera: Amortiguador delantero / Palier/ Trapecio inferior delantero / Trapecio superior delantero / Varias piezas suspensión-transmisión delantera. Trasera: Amortiguador trasero / Trapecio inferior trasero / Varias piezas suspensión-transmisión trasera.
FRENOS	Pastilla de frenos / Módulo ABS / Varias piezas frenos.
ALIMENTACIÓN	Aforador eléctrico / Bomba de inyección / Caudalímetro / Varias piezas alimentación.
REFRIGERACIÓN	Intercooler / Refrigerador de aceite / Radiador / Varias piezas refrigeración.
INTERIOR	Airbag / Columna / Completo / Kit airbag / Volante / Velocímetro / Varias piezas interiores.
CLIMATIZACIÓN	Compresor / Condensador / Módulo control aire acondicionado y calefacción / Ventilador / Varias piezas climatización.
ESCAPE	Catalizador / Silencioso Trasero / Varias piezas escape.
ACCESORIOS	Radio / Varias piezas accesorias.
RUEDAS	Neumáticos y llantas.

En cuanto a los objetivos a alcanzar en el proceso de reutilización, el Anexo VII del Real Decreto 265/2021 [8], junto con la Directiva 2000/53/CE [5], establece unos objetivos de recuperación y reciclado de los residuos procedentes de VFU para todos los agentes: el porcentaje total de preparación para la reutilización y valorización será al menos del 95 por 100 del peso medio por automóvil y año, y el porcentaje total de preparación para la reutilización y reciclado será al menos del 85 por 100 del peso medio por automóvil y año.

De manera adicional este decreto fija los siguientes objetivos para los CAT, relativos a la preparación para la reutilización y comercialización de piezas y componentes de los vehículos al final de su vida útil (Tabla 4).

Tabla 4. Objetivos para la reutilización de los VFU según Real Decreto 265/2021 [8].

FECHA	OBJETIVO
Hasta el 31 de diciembre de 2025	Al menos un 10% del peso total de los automóviles que traten anualmente
A partir del 1 de enero de 2026	Al menos un 15% del peso total de los automóviles que traten anualmente

Estos objetivos anuales se deben cumplir en cada comunidad autónoma en proporción a los vehículos que se han dado de baja definitiva en la Dirección General de Tráfico en ese territorio y en ese año [7].

Una vez concluido el proceso que hemos descrito, el último paso, previo al reciclado, es la compactación, para reducir al mínimo el volumen de los vehículos y facilitar así su transporte hasta las instalaciones de fragmentación.

3.3. RECICLAJE Y VALORIZACIÓN DE MATERIALES

Como se ha mencionado en el punto anterior los residuos que no han podido ser destinados a la reutilización, recuperación o refabricación son compactados y pasan a la fase de reciclaje.

El artículo 3 de la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados define el reciclado como “toda operación de valorización mediante la cual los materiales de residuos son transformados de nuevo en productos, materiales o sustancias, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno” [31].

En el artículo 3 de esta ley también se define la valorización como “cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general” [31].

Existen dos tipos de valorización. La valorización de materiales sólidos, en la que se obtiene materia prima a través del reciclaje, y la valorización energética, de la que se hablará más adelante, y que consiste en la obtención de energía a partir de los residuos [71].

El objetivo del reciclaje es obtener nuevos materiales a partir de los residuos de los productos que han llegado al final de su vida útil. Existen tres razones por las que el reciclaje se lleva a cabo. En primer lugar, porque los residuos tienen un valor económico que se materializa cuando se devuelven al ciclo de producción. En segundo lugar, porque los mercados demandan estos productos, ya que contribuyen a la sostenibilidad del medioambiente. Y, por último, porque los distintos gobiernos han legislado con unos objetivos que hay que cumplir [72].

Un buen ejemplo de proceso de reciclado rentable es la industria de reciclaje en Estados Unidos, que, durante muchos años, ha contribuido al desarrollo económico, creando puestos de trabajo, y al desarrollo sostenible medioambiental, devolviendo al ciclo productivo millones de toneladas de materiales reciclados [72].

La rentabilidad del proceso de reciclaje depende de que exista un mercado para los productos reciclados. También depende del grado de reciclabilidad que presenten los productos potencialmente reciclables, pudiendo ser completamente reciclables o no en función de la tecnología e infraestructuras que existen para llevar a cabo el proceso. Por otra parte, también hay que tener en cuenta los costes de este proceso, que son una combinación de los costes de recoger las materias reciclables, el coste de las operaciones de tratamiento y el coste del proceso de reciclaje en sí mismo [73].

La mayoría de los países desarrollados, entre ellos los principales países productores de automóviles, han legislado para fomentar el reciclaje de los VFU. Según la Directiva 2000/53/CE [5] en cuanto a reutilización, recuperación y reciclado de VFU todos los Estados miembros deben cumplir los siguientes objetivos:

- Desde el 1 de enero de 2006, la tasa de reciclaje, reutilización y recuperación (RRR) debe alcanzar un mínimo del 85% en masa promedio por vehículo y año, mientras que la tasa de reutilización y reciclaje (RR) debe ser al menos del 80% en masa.
- A más tardar el 1 de enero de 2015, la tasa de RRR se aumentará al 95% y la tasa de RR al 85%.

En la Tabla 5 podemos ver cuál es la composición media de un vehículo.

Tabla 5. Composición media de un VFU [74].

Material	% de masa total
Metales ferrosos	65,4–71,0
Metales no ferrosos	7,0–10,0
Plástica	7,0–9,3
Caucho (incluidos neumáticos)	4,0–5,6
Vaso	2,9-3,0
Fluidos	0,9–6,0
Batería	1,0–1,1
Polímeros de proceso	1,0–1,1
Eléctrica / electrónica	0,4-1,0
Otro	1,0–5,9

Observamos que el componente principal son los metales, ferrosos y no ferrosos, seguidos por el plástico. Esta composición depende de cómo se hayan diseñado y fabricado los coches. En los últimos años el uso del plástico en la fabricación de coches ha aumentado en detrimento del uso de metales ferrosos, ya que reduce el peso del coche y el consumo de combustible, pero el plástico tiene el inconveniente de que es más complicado de reciclar. También se está empezando a usar el aluminio para fabricar los chasis de los coches ya que también reduce el peso de los mismos y es más fácil de reciclar [74].

El reciclaje comienza en las instalaciones de fragmentación que son instalaciones autorizadas que, tras la descontaminación y tratamiento del vehículo en un CAT, realizan las operaciones de trituración, segregación y clasificación de los distintos materiales y fracciones que componen el VFU [8].

A estas instalaciones llegan los restos de los vehículos compactados que son impulsados hacia la fragmentadora mediante un pulpo. La fragmentación o trituración se realiza mediante un molino de martillos que los golpea hasta convertirlos en trozos pequeños. En este proceso se obtienen metales ferrosos y no ferrosos. Los metales ferrosos se separan mediante procesos de separación mecánica y magnética. Estos metales suponen hasta el 65% de la masa del VFU original, mientras que los metales no ferrosos suponen el 5% de la masa del VFU original [74].

Tras su paso por la fragmentadora, los metales no ferrosos son enviados a las instalaciones de postfragmentación, que son instalaciones autorizadas (que pueden estar o no en la planta fragmentadora) donde se realiza la segregación y clasificación de los distintos materiales resultantes del proceso de fragmentación [8].

En las plantas de postfragmentación son sometidos a procesos de separación, mediante corrientes de Foucault o separación densimétrica, obteniéndose por un lado metales no férricos (aluminio, cobre, latón, bronce, plomo, zinc) y, por otro, restos de materiales que se podrán reciclar o valorizar energéticamente dependiendo de sus características [75].

En la Tabla 6 se relacionan las tecnologías que se aplican a los metales no ferrosos en el proceso de postfragmentación.

Tabla 6. Descripción de las tecnologías postfragmentación [48].

Tecnología	Tipo de tecnología	Salidas aproximadas del tratamiento (% en peso)
VW-Sicon	Separación mecánica	Gránulos triturados 36% Fibras trituradas 31% Metales 8%
Galloo	Separación mecánica	Plásticos reciclados 9% Metales 30% Combustibles derivados 13%
Sult	Separación mecánica	Polímeros 50% Minerales 20% Metales 10%
R-Plus/Wesa SLF	Separación mecánica	Fracción orgánica 60% Metales 5% Minerales 35%
Citron	Tratamiento térmico, óxido-reducción	Fe concentrado 45% Cinc concentrado 4,3% Mercurio 0,7% Recuperación energética 50% (hasta el)
TwinRecx	Tratamiento térmico, gasificación	Metales 8% Gránulos vitrificados 25% Recuperación energética 52%
SVZ Schwarze Pumpe	Tratamiento térmico, gasificación	Gas de síntesis 75% Metales 8%
Reshment	Separación mecánica y tratamiento térmico.	No disponible

Los restos de materiales que quedan tras la postfragmentación forman los llamados Residuos de Trituradoras Automóviles (ASR) y suponen entre el 20% y el 25% de la masa del VFU original [74].

El ASR está compuesto por plásticos, caucho, espuma, trozos de metal residual, papel, tela, vidrio, arena y suciedad. En Europa, el ASR está clasificado

como residuo peligroso según la lista de residuos peligrosos [58] dentro del subcapítulo 19 10 Residuos procedentes del fragmentado de residuos que contienen metales [74].

La composición del ASR es muy variable y depende de la mezcla de elementos que entran en la fragmentadora y de cómo se haya llevado a cabo el proceso de descontaminación. Contiene [76]:

- Materiales combustibles no metálicos: plásticos, caucho, espuma, textiles, papel y madera.
- Materiales no combustibles: vidrio
- Metales: masa de cables magnéticos y no magnéticos que van envueltos en plástico.
- Arena y suciedad.

Los residuos que componen el ASR se pueden dividir en dos fracciones [76]:

- Fracción ligera: con una mayor proporción de materiales ligeros como plástico, espuma, textiles y caucho, que se producen cuando los metales no ferrosos se separan en corrientes metálicas y no metálicas.
- Fracción pesada: con una mayor proporción de materiales pesados como vidrio y residuos finos metálicos que se producen durante la separación de las diversas corrientes de metales.

La proporción de cada uno de estos componentes es variable. En la Tabla 7 podemos ver una composición promedio del ASR.

El tratamiento de los ASR supone un problema porque contienen residuos peligrosos. A pesar de ello, durante mucho tiempo han sido eliminados en los vertederos. Pero esta no es la solución óptima para poder cumplir con los objetivos de reciclaje establecidos por la Unión Europea. Por tanto, habría que lograr disminuir los residuos ASR. Esto se puede conseguir aumentando el desmantelamiento de piezas de vehículos antes de la trituración, con el fin de fomentar la reutilización y mediante el desarrollo de tecnologías de post-trituración (PST) para el tratamiento de ASR [62].

Tabla 7. Composición en porcentaje en peso de ASR [76]

Material	(%)
Textiles y espuma	27-27,2
Plástica	19-20,2
Metal	1-4,6
Caucho	2.8-7
Celulosa	0,2-1
Otros	45

Por ello se han desarrollado procesos de tratamiento para recuperar energía y materia. En la Tabla 8 se relacionan las tecnologías más adecuadas para el tratamiento de los residuos de triturados de automóviles.

La recuperación de todos los materiales del ASR no se puede hacer en un solo proceso debido a la gran cantidad de materiales que lo componen. Las tecnologías que aparecen en la Tabla 8 se aplican a los restos de materiales que quedan después de la descontaminación, desmontaje y trituración de los VFU. Se han desarrollado muchas tecnologías para el tratamiento de los plásticos ya que estos suponen un porcentaje alto de la composición de los ASR y aumentar el reciclaje de los plásticos de los ASR y su reutilización es clave para lograr el objetivo europeo de reutilización y reciclaje del 85%. Con estas tecnologías los plásticos pueden reciclarse y convertirse en plásticos reciclados de alta calidad. Algunas empresas que utilizan estas técnicas, como Galloo en Bélgica, han demostrado que se puede alcanzar el objetivo europeo del 85% [74].

La industria de reciclaje de metales es una actividad consolidada y que produce beneficios en la Unión Europea. Las industrias del papel, el vidrio y los textiles también se están desarrollando rápidamente. Las principales industrias de reciclaje tienen características en común, pero también presentan características diferenciadas que se deben a los distintos procesos técnicos y comerciales que se aplican al material reciclado [73].

Tabla 8. Tecnología de tratamiento del ASR [48] y [76].

Tipo de tecnología	Tecnología	Tipos
Tratamiento físico y mecánico avanzado	R-Plus / WESA SLF Salyp VW-Sicon ANL	
Tratamiento térmico y químico de recuperación material y energética	Hidrólisis	
	Combustión	Co-incineración Horno de cementera
	Pirólisis	Citron Batrec TaKuma Siemens-KWU
	Gasificación	Gasificación secuencial Gasificación catalítica
Tratamiento híbrido	Reshment TwinRec Thermoselec-Process SVZ Schwarse Pumpe	

Tras finalizar el proceso de reciclado obtenemos una serie de materiales a los que se les pueden dar muchas aplicaciones.

Como se ve en la Tabla 9 a partir de las piezas recicladas de los VFU se pueden obtener materiales tan diversos como metales, tanto férricos como no férricos, vidrio, plástico y combustibles [74].

Los metales ferrosos obtenidos en la fragmentación son enviados directamente a la industria siderúrgica para ser fundidos y elaborar acero y otros metales de fundición [75].

Los metales no férricos suelen ser el aluminio y el cobre. Se utilizan para la fabricación de armas y productos de aluminio. El 70% del aluminio utilizado en la fabricación de automóviles procede del aluminio recuperado en el reciclado de los VFU [4].

El vidrio se recicla para la producción de materiales de construcción como los azulejos, aislantes, asfalto y vidrio de menor calidad.

Mencionar que la eliminación del vidrio puede realizarse antes o después de la trituración. Si se realiza después, su destino será el reciclaje, aunque no para su uso como vidrio reciclado sino para otros destinos como la industria cementera [76].

Tabla 9. Piezas que pueden reciclarse a partir de VFU [74].

Parte	Material	Reciclado como
Ventana	Vidrio	Azulejos
Asiento	Espuma y fibra	Materiales de insonorización para vehículos
Carrocería, baúl, capota y puertas	Acero	Piezas de automóvil y productos de acero en general
Mazo de cables	Cu	Productos de Cu y motores (refuerzo de Al fundido)
Parachoques	Resina	Parachoques, piezas interiores, caja de herramientas, etc.
Radiadores	Cu y Al	Lingotes de metal para armas y productos de aluminio
Refrigerante, motor y aceite para engranajes	Petróleo	Combustible alternativo para calderas e incineradores
Transmisión del motor, suspensión y rueda	Acero y Al	Productos generales de acero y Al
Convertor catalítico	Metales preciosos	Convertidores catalíticos o reciclaje de metales preciosos (por ejemplo, platino)
Neumático	Caucho	Recuperación de materias primas y energía (por ejemplo, hornos de cemento)

En el proyecto FARE (Fiat Auto REcycling), se analiza el uso de los vidrios reciclados de los automóviles. Se recicla el vidrio del modelo Fiat Punto, con el que se obtiene vidrio reciclado que se destina a la producción de botellas, pues de momento no es posible utilizar el vidrio reciclado para usarlo en automóviles por falta de calidad [77].

Con el plástico reciclado se pueden fabricar productos reciclados para los coches como piezas interiores, parachoques, caja de cambios, etc. También este plástico es comercializado como plástico en granza de segunda mano.

“El proyecto LIFE CIRC-ELV tiene como objetivo impulsar una economía circular eficiente en el uso de recursos en el sector automotriz mediante la mejora de la gestión de VFU para aumentar las tasas de reciclaje de plástico de una manera rentable y dar como resultados plásticos reciclados con la calidad adecuada para nuevas aplicaciones de mercado. El proyecto contribuirá a lograr los objetivos de reciclaje de VFU establecidos por la legislación de la UE, al tiempo que cierra el ciclo de los plásticos y ayuda a reducir el agotamiento de los recursos fósiles y los impactos derivados” [78].

Los neumáticos son probablemente uno de los componentes de los VFU que más aplicaciones tienen. Se utilizan para fabricar pistas de atletismo, asfalto para carreteras, campos de juego de césped artificial, aislantes o caucho para nuevas formulaciones. También, dado que el neumático troceado tiene gran poder calorífico, se transforman en energía para la industria [4].

La mayoría de los productos textiles, fibras y espumas suelen acabar enviándose a vertedero, por lo que se están desarrollando técnicas industriales que hagan posible su reciclado o valorización energética. La Federación Española del Reciclaje (FER), Sigrauto y la patronal cementera Oficemen trabajan en un proyecto para utilizar los residuos de los VFU para producir cemento en sustitución de combustibles fósiles. Se considera que, al año, unas 120.000 toneladas de residuos compuestos por mezclas de plásticos, fibras textiles y espumas se pueden convertir en una fuente de energía alternativa, evitando que acaben en vertederos [79].

Los combustibles pueden reutilizarse como tales. Cuando no se han mezclado, pueden emplearse también como componentes de disolventes orgánicos de limpieza. El anticongelante, una vez depurado, también puede reutilizarse como nuevo líquido anticongelante. De las baterías se obtiene, fundamentalmente, plomo para el que existe un mercado circular cerrado en el que casi la totalidad del plomo obtenido vuelve a convertirse en baterías ácido-plomo de automoción. Los aceites usados contienen importantes recursos materiales y energéticos. Finalmente, los catalizadores son de fácil recuperación y sirven para ayudar en la obtención de metales semipreciosos de gran valor económico como el paladio, el platino y el rodio [4].

En conclusión, los vehículos al final de su vida útil son una importante fuente de materias primas secundarias. La cadena de reciclaje es una industria establecida ya en Europa, sin embargo, sus estrategias de gestión siguen siendo las mismas desde hace muchas décadas. Mayoritariamente están basadas en el precio de mercado de las materias primas, su valorización es lo que hace que se las considere rentables o no. Desde que existe legislación se ha orientado el desarrollo de estas estrategias al cumplimiento de los objetivos establecidos, pero se debe seguir avanzando para conseguir que la cadena de reciclaje se integre mejor en una economía circular [80].

3.4. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

El artículo 3 de la Directiva 2008/98/CE [52] define la valorización como “cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general. En el anexo II se recoge una lista no exhaustiva de operaciones de valorización”.

Después del reciclaje, todos los residuos que no se han podido valorizar materialmente se intentan valorizar energéticamente. Este es el paso previo al depósito en vertedero.

La valorización energética consiste, por tanto, en convertir los residuos que no se pueden reciclar en energía, que puede ser en forma de electricidad, calor y combustible, contribuyendo a completar el ciclo de recuperación de los residuos, como expone el Plan de Acción para la Economía Circular de la Comisión Europea [21]. La tecnología de conversión de residuos en energía contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ y al ahorro de los recursos limitados de combustibles fósiles que se utilizan en las centrales eléctricas [81].

Según la Directiva 2000/53/CE [5] los residuos que quedan después de las operaciones de reutilización y reciclaje, siempre que no supongan más de 10% del peso de VFU original, pueden participar en procesos de valorización

energética. Estos residuos pueden ser utilizados en la producción de combustible. Uno de los principales problemas que tiene el ASR para su valorización energética es la falta de información sobre las emisiones de contaminantes tóxicos que se producen en los procesos térmicos. A pesar de ello, tras los tratamientos térmicos se usan como combustible sustituto. En el estudio realizado en Turín sobre el tratamiento del plástico contenido en el ASR para la obtención de plástico reciclado, se concluyó que la parte de ASR que queda tras extraer el plástico, después de aplicarle los procesos térmicos adecuados, puede ser considerada como combustible sólido recuperado (CSR), que se puede usar como combustible adicional en plantas de incineración por lo que el proceso además tiene beneficios medioambientales [24].

Existen diferentes tratamientos tecnológicos para el tratamiento térmico de los residuos, como la incineración, la pirólisis y la gasificación. A través de estos procesos se recuperan componentes químicos o combustibles para la producción de energía. El alto PCI (poder calorífico inferior) del ASR que se destina a valorización energética lo hace apto para convertirse en CDR (combustible derivado de residuos), a pesar de la presencia de muchos contaminantes, problema que puede tener solución a través de la incineración. Las PST (tecnologías de post-trituración) son necesarias para alcanzar los objetivos europeos de recuperación ya que el reciclaje por sí solo no es suficiente para recuperar todos los residuos [82].

A través de la valorización energética de los VFU se obtiene energía. Dado que el número de VFU por año ha aumentado en 2020 hasta 80 millones de vehículos, estos se convierten en un flujo de residuos importante y a tener en cuenta para la obtención de energía. Esta energía se obtiene predominantemente por la valorización de los neumáticos, seguidos por el plástico, tejidos, aceites, etc. El caucho, componente principal de los neumáticos, tiene un alto poder calorífico (20% más que el carbón) y se utiliza para obtener energía que es destinada mayoritariamente a la industria cementera. La escasez de combustibles fósiles puede solucionarse con el uso de estas fuentes de energía y, además, contribuir a la reducción de la contaminación ambiental [83].

La Agencia Eurostat de la Comisión Europea publicó en 2019 los niveles oficiales de recuperación de vehículos fuera de uso (VFUs) de todos los Estados Miembros relativos al año 2017 (Figura 11).

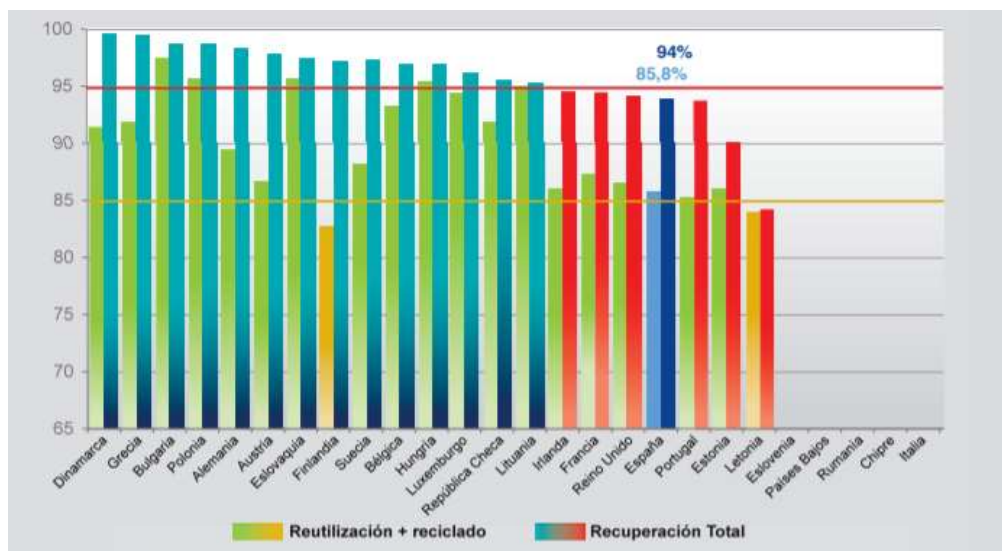


Figura 11. Niveles de recuperación, reciclaje y reutilización en la Unión Europea en 2017 [84].

Como se puede apreciar en las Figuras 11 y 12 las tasas alcanzadas por España en el año 2017 son 85,80% de reutilización y reciclado y 94,00% de recuperación total. A pesar de no cumplir los objetivos España tiene unos datos relativamente elevados, sobre todo en los últimos años, aunque por debajo de países como Dinamarca y Grecia. El incumplimiento del objetivo de recuperación total se debe a una caída en la valorización energética de residuos procedentes de la fragmentación y postfragmentación en el año 2016 [84]. Según datos de la Comisión Europea [85] las tasas alcanzadas por España para el año 2018 son 85,90% de reutilización y reciclado y 92,60% de recuperación total. Nuevamente el objetivo de recuperación total no se cumple y se debe a una menor valorización energética de residuos procedentes de las plantas de fragmentación.



Figura 12. Evolución de los niveles de recuperación, reciclaje y reutilización en España, de 2002 a 2017 [84].

La valorización energética de los residuos cada vez ha de tener un papel más importante si se quieren alcanzar los objetivos establecidos. El aprovechamiento energético de los residuos en España ha de seguir desarrollándose, no solo para cumplir con los objetivos establecidos de recuperación de residuos sino también porque constituye un aporte de energía muy importante, ya que nuestro país tiene una gran dependencia de la energía externa [79].

3.5. ELIMINACIÓN

El artículo 3 de la Ley 22/2011 [31] define la eliminación como “cualquier operación que no sea la valorización, incluso cuando la operación tenga como consecuencia secundaria el aprovechamiento de sustancias o energía”. Esta ley, en el artículo 23 también establece que la eliminación de residuos se llevará a cabo de forma segura, adoptando medidas que garanticen la protección de la salud humana y el medio ambiente.

Por tanto, la eliminación consiste en sacar de la cadena de valor la fracción de residuos que no se ha podido valorizar, ni material ni energéticamente. Es decir, que el 5% que queda después de todo el proceso de reutilización, recuperación y reciclado es lo que se tiene que eliminar.

La eliminación de los residuos se puede llevar a cabo de dos maneras. Una de ellas es la incineración sin aprovechamiento del calor generado por la combustión y otra, es el depósito en vertedero.

El depósito de residuos en vertedero está regulado por el Real Decreto 646/2020 [86], que establece las normas y técnicas para regular las actividades que se llevan a cabo para eliminar los residuos mediante su depósito en vertedero para que se cumplan los requisitos de la Ley de Residuos [31], los objetivos de la economía circular y que se respete el cumplimiento de la jerarquía de los residuos. En el artículo 7 de esta ley se establece que solo se podrán depositar en vertedero aquellos residuos que se hayan sometido previamente a los procesos de reciclaje y valorización. Esto con el objeto de reducir la cantidad de residuos que se depositan en vertedero y minimizar los peligros que estos residuos pueden tener para la salud humana y el medio ambiente.

“Un vertedero es una instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en superficie, por períodos de tiempo superiores a los considerados para el almacenamiento temporal” [86]. Según la Ley 22/2011 [31] el vertido de residuos de manera no controlada está prohibido en todo el territorio nacional para evitar problemas como la contaminación de las aguas, la generación de sustancias peligrosas, la transmisión de enfermedades o que sean un posible foco de incendios [87].

Los vertederos proporcionan una solución al problema de los residuos no valorizados, pero tienen efectos negativos [88]:

- Contaminan el medio ambiente y pueden ser perjudiciales para la salud, pues las reacciones químicas entre los residuos producen líquidos muy tóxicos que se pueden filtrar en el suelo y contaminarlo y, también, pueden llegar a las aguas subterráneas que son consumidas por personas y animales.
- También generan gases como el metano que es uno de los causantes del calentamiento global.
- Tienen una capacidad limitada para almacenar residuos, lo cual obliga a crear más vertederos, lo que lleva a la destrucción de ecosistemas.

- Además, estos residuos que no se valorizan conllevan una mayor extracción de materias primas.

Mayoritariamente los residuos procedentes de los VFU que se eliminan en vertedero, que han de ser autorizados según especifica el artículo 10 del Real Decreto 646/2020 [86], son residuos no peligrosos que según la Lista Europea de Residuos tienen el siguiente código LER [59]:

Neumáticos fuera de uso	Código LER 16.01.03
Residuos de la fragmentación de VFU descontaminados y desmontados	Código LER 19.10.04

En muchas ocasiones la normativa no se cumple y los residuos son depositados sin control. Para evitar las sanciones por parte de La Unión Europea y cumplir con los objetivos establecidos por la misma, España está pensando en instaurar un impuesto que grave el vertido y la incineración de residuos con el fin de penalizar la generación de residuos, fomentar el reaprovechamiento de materiales y prevenir el tratamiento de los mismos [89].

3.6. NUEVAS TENDENCIAS

El principal objetivo de la Directiva 2000/53/CE [5] relativa a los vehículos al final de su vida útil es prevenir la generación de residuos procedentes de los vehículos y sus componentes, de manera que se reduzca la eliminación de residuos y el impacto que estos provocan sobre el medioambiente. La Directiva se enfoca hacia una economía circular en la que se eliminen las sustancias peligrosas de los vehículos y establece los objetivos de reutilizar, reciclar y valorizar para que los materiales que se encuentran en los vehículos al final de su vida útil vuelvan reciclados al ciclo de producción [90].

Por tanto, la nueva tendencia se enfoca al objetivo de conseguir una economía circular en la que la prevención y el ecodiseño marquen la línea a seguir.

Como ya hemos visto la economía circular es un sistema económico que pretende dar valor al uso de los productos, minimizando el consumo de recursos y energía [19].

El número de vehículos se ha multiplicado por 6 en los últimos 25 años y la cantidad de residuos no para de crecer. Como ya hemos visto, la forma de gestión más recomendable para los residuos es la prevención en la producción de los mismos y la menos recomendable es la eliminación del residuo por vertido o incineración. Por tanto, el mejor residuo es aquel que no se genera. La prevención consiste en aplicar técnicas y medidas relacionadas con el ecodiseño con el objetivo de reducir la cantidad de residuos y, sobre todo, su impacto negativo sobre el medioambiente, así como el ahorro de materiales durante todo el ciclo de vida del producto [91].

Mediante el ecodiseño se consiguen productos más respetuosos con el medioambiente ya que los impactos ambientales se consideran durante la fase de diseño. Hay varios factores que influyen en el diseño ecológico. Entre ellos podemos destacar: la fabricación de productos sin producir residuos, el uso de tecnologías limpias, la reducción de las emisiones de gases de los productos durante su fabricación y su uso. También es destacable el uso de materiales reciclados y la reutilización de componentes en la fabricación de nuevos productos, y el diseño de estos productos de manera que se facilite al final de su vida útil su proceso de reciclaje [92].

Estas técnicas, enmarcadas dentro de los objetivos de la economía circular, se pueden resumir en cinco ejes de actuación para diseñar los productos [93]:

- Diseño para la prolongación de la vida útil del producto
- Diseño para el mantenimiento y la reparabilidad
- Diseño para la reutilización
- Diseño para la recuperación del producto

- Diseño para la recuperación de piezas

Estos cinco ejes llevan, a su vez, a estrategias de actuación, tal y como se muestra en la figura 13.

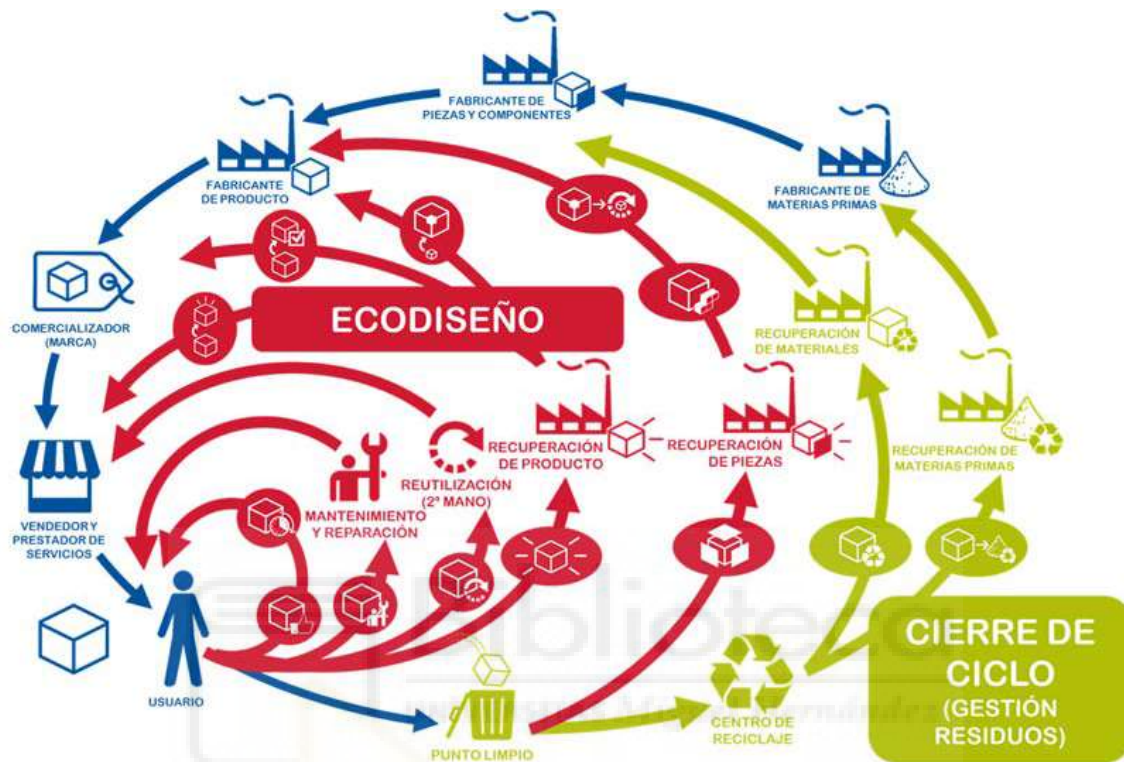


Figura 13. Marco conceptual del Ecodiseño dentro de una Economía Circular [93].

En resumen, para que la gestión de residuos sea eficiente los bienes que se utilizan hoy en día y que dejarán de ser útiles en algún momento se deben diseñar y fabricar para que los residuos que generen puedan ser tratados y reciclados al 100%. También hay que aumentar el contenido de productos reciclados en los productos que se fabrican lo que conlleva la creación de mercados que demanden estos productos reciclados. Esta es la ruta a seguir para llegar a una economía circular.

La industria del automóvil consume una gran cantidad de energía y recursos. La Huella de Carbono de un vehículo empieza con la extracción de las materias primas que se necesitan para fabricarlo y durante su fabricación. Continúa con el uso del mismo, ya que consume combustible, y termina cuando este llega al final de su vida útil, ya que durante el proceso de reciclado también

se consume energía. La legislación también exige que el consumo de combustible sea eficiente. Por ello, hace años que la tendencia es a fabricar vehículos con menor peso, recurriendo a materiales más ligeros como el aluminio o los plásticos. Pero a efectos de emisiones de CO₂ esto no siempre es positivo. Hay que evaluar el ciclo completo de vida del vehículo para ver si compensa la reducción de peso con las emisiones de gases a la atmósfera [94].

Se ha realizado un estudio en el mercado de vehículos japonés para evaluar las reducciones de consumo de energía al aligerar el peso del vehículo a lo largo de su ciclo de vida, comparando que la carrocería esté fabricada con aluminio, acero avanzado de alta resistencia o con plástico reforzado con fibra de carbono, al tiempo que se han comparado los costes. Al utilizar los materiales más ligeros, como el aluminio y el plástico, el consumo energético se reduce en la fase de uso, aunque no en las fases de fabricación y final de vida útil. El aumento de costes en la fase de producción no compensa la reducción del coste en la fase de uso por la mejora del combustible. Si la carrocería se destina al reciclado lo mejor es que se fabrique en aluminio; si se va a destinar a la reutilización lo más adecuado es utilizar el plástico reforzado con fibra de carbono; y si el destino es la valorización energética la mejor elección es el acero avanzado de alta resistencia. Por tanto, que el vehículo use menos combustible mientras está en uso no implica que tenga un menor efecto ambiental. La reducción de 100 kg de masa en un automóvil puede llevar a una reducción total de energía durante el ciclo de vida entre -23,0 a 18,5 GJ, pero esto va a depender del material que se utilice para aligerar la carrocería y del proceso de reciclaje de la misma [95].

Para reducir el consumo de combustible y cumplir con la legislación sobre emisiones de CO₂ se están diseñando vehículos cada vez más ligeros y de diferentes tipos de materiales, lo que lleva al uso de diferentes técnicas de unión para estos materiales. En los vehículos nuevos se utilizan sujetadores mecánicos, como tornillos, para poder combinar los diferentes materiales plásticos. Estos tipos de unión tienen el problema de que cuando los VFU llegan a la trituradora la separación de materiales es más difícil, lo que hace que no se pueda reutilizar el material para la misma aplicación para el que fue concebido. Es decir, que en la fase de diseño se han de escoger tanto los

materiales como las técnicas de unión de los mismos, para que una vez llegados a la fase de reciclaje se puedan separar bien los materiales con las actuales técnicas de separación en las trituradoras y se obtenga un producto reciclado de calidad [96].

El ecodiseño propone como tendencia el aligeramiento de los vehículos, la fabricación de carrocerías con materiales ligeros como el acero avanzado de alta resistencia, la aleación de magnesio, la aleación de aluminio y el plástico reforzado con fibra de carbono. En concreto, el plástico reforzado con fibra de carbono puede proporcionar hasta un 10% de reducción del peso total de un vehículo [97]. También se propone utilizar materiales ligeros para la fabricación de otras partes del vehículo, como las puertas [98].

El ecodiseño de los vehículos debe considerar no solo las materias primas y los procesos de fabricación para mejorar la eficiencia energética, sino también la energía necesaria al diseñarlos y procurar que las energías renovables se integren en el proceso de diseño [92].

Los vehículos de combustión son una de las principales fuentes de emisiones y contaminación del aire. Por ello, en la actualidad se está llevando a cabo una transición desde los vehículos de motor de combustión interna tradicionales hacia los vehículos eléctricos y las energías renovables como una de las soluciones para mitigar los efectos del cambio climático. Pero este proceso no es lo suficientemente rápido, por lo que hace falta adoptar medidas que permitan reducir las emisiones de manera más rápida. Estas medidas incluyen, como se ha visto, la reducción del peso de los vehículos, el aumento del proceso del reciclaje de los vehículos, la reducción del tamaño del vehículo (fabricación de vehículos más pequeños) y un uso más intensivo de los mismos, aumentando la ocupación y practicando el uso compartido. La reducción y el uso intensivo son medidas que dependen de los consumidores, lo cual implicaría que los gobiernos establecieran medidas para incentivarlas pues son las que mayor potencial tienen para reducir la huella de carbono de los vehículos. Bien combinadas, estas medidas pueden lograr reducciones de emisiones de hasta un 57% durante el ciclo de vida del vehículo, por lo que suponen una buena

solución a corto plazo para reducir las emisiones, mientras a largo plazo se llega a los vehículos eléctricos y al suministro de energías renovables [99].

La legislación existente sobre la regulación de los vehículos al final de su vida útil es distinta según los países y esto también influye en el avance hacia la economía circular. Legislaciones más estrictas como las de la Unión Europea y Japón con objetivos de reutilización y reciclaje son eficaces para lograr altas tasas de reciclaje de material y minimizar los vertidos de residuos. En EEUU y Australia, a falta de una regulación específica para VFU, se centran más en la eliminación de los desechos peligrosos. La regulación del final de la vida útil con legislaciones más estrictas ha llevado a una mejora ambiental, aunque no está claro que favorezca la economía circular. Es por ello que hay que aprovechar las legislaciones actuales para que se establezcan medidas de economía circular desde un punto de vista holístico, es decir, medidas que propicien que los productos, sus componentes y los materiales mantengan su valor y su utilidad durante todo el ciclo de vida [100].

Lo importante es avanzar hacia una economía circular, utilizando la herramienta del ecodiseño, en la que se maximice la gestión de los recursos, alargando la vida útil de los mismos y aprovechando todos los materiales reciclados al reintegrarlos al ciclo de vida de los productos. Un ejemplo en España es la empresa SEAT, que ya en el año 2016 se convirtió en la primera empresa del sector de automoción en obtener la certificación ISO 14006 de ecodiseño que certifica su estrategia medioambiental [101].

4. CONCLUSIONES

En este Trabajo de Fin de Grado hemos ido viendo qué son y cómo funcionan los sistemas integrados de gestión de vehículos al final de su vida útil. Para ello hemos definido qué son los vehículos fuera de uso y los centros autorizados de tratamiento. Se ha descrito cuál es el camino que se sigue desde que un vehículo fuera de uso entra en un centro autorizado de tratamiento hasta que acaba convertido en materias primas de segundo uso a través del proceso de reciclado.

Este es un proceso de gran importancia ya que el número de vehículos que se fabrican en el mundo es cada vez mayor, lo que lleva a que cada año se generen toneladas de residuos procedentes de los vehículos que llegan al final de su vida útil con el consiguiente riesgo para la salud humana. Además, dado que los recursos primarios son limitados, se hace imprescindible gestionar los vehículos al final de su vida útil ya que estos son una gran fuente de materias primas secundarias.

Antiguamente los residuos de VFU iban a parar a los desguaces donde su gestión estaba desregulada. No fue hasta la aparición de la Directiva 2000/53/CE, trasladada al derecho español con el RD 1383/2002 y, posteriormente, con el RD 20/2017 cuando se empezó a regular el tratamiento de estos residuos y aparecieron los Centros Autorizados de Tratamiento.

Según establece la normativa y en aplicación del principio de “quien contamina paga” los productores son los responsables de la financiación de la gestión de los residuos que han generado sus productos durante todo su ciclo de vida. Esto es lo que se llama Responsabilidad Ampliada del Productor. Para llevar a cabo esta gestión y minimizar los costes que esto les supone, los productores se han asociado en Sistemas Integrados de Gestión.

Sigrauto es la Asociación Española para el tratamiento medioambiental que reúne tanto a los fabricantes e importadores de vehículos, a los centros autorizados de tratamiento y a los encargados de llevar a cabo el proceso de reciclaje y es la encargada de coordinar y gestionar las operaciones relativas a la gestión de los residuos de los vehículos al final de su vida útil.

Gracias a la normativa establecida se han producido grandes cambios en estos centros permitiendo el mayor aprovechamiento de los materiales y componentes de los VFU. Aunque todavía se han de producir más cambios en el futuro, sobre todo a nivel tecnológico, para que las tasas de aprovechamiento todavía sean mayores y procurar que llegue la menor cantidad de residuos a las fragmentadoras.

Dentro del proceso de recuperación, la prevención es la máxima prioridad ya que de lo que se trata es de que se genere la menor cantidad de residuos posible, alargando la vida útil de los vehículos, y minimizando los impactos negativos sobre las personas y el medioambiente.

Los procesos de reutilización, recuperación y refabricación deben realizarse de manera que se reduzcan las emisiones de CO₂, utilizando la menor cantidad de energía posible y de forma que eviten la acumulación de residuos innecesarios. Es por ello que deberían ser subvencionados para que se diseñen cadenas de desmontaje que contribuyan al cumplimiento de estos objetivos. Es importante, ya que de esta parte del proceso depende que la cantidad de residuos que se han de reciclar sea menor.

Económicamente la refabricación es la parte del proceso que más beneficios puede generar, pero se enfrenta al problema de la falta de mercados ya que la gente no está demasiado concienciada con el uso de estos productos. También es el que más beneficios ambientales tiene ya que supone un ahorro de energía importante.

De los residuos que llegan a fragmentadoras y postfragmentadoras los metales, tanto ferrosos como no ferrosos, son los que mejor se recuperan. El problema se encuentra con los ASR ya que por su variada composición son más difíciles de reciclar. Hoy en día se siguen investigando nuevos métodos para poder valorizar esta parte de residuos de los VFU, aunque falta mucho camino por recorrer para conseguir que el porcentaje de residuos que no se valoriza ni material ni energéticamente y se envía a vertederos sea mínimo o nulo.

Podemos concluir que los vehículos al final de su vida útil son una importante fuente de materias primas secundarias y que el proceso de reciclaje está bastante establecido, aunque con muchas carencias. Uno de los problemas

es que sus estrategias son las mismas desde hace mucho tiempo y están basadas en el precio de mercado de los productos reciclados. Se prioriza la rentabilidad económica sobre la rentabilidad medioambiental. Es por este motivo por el que la legislación ha sido tan importante ya que obliga al cumplimiento de unos objetivos que de otra manera probablemente no se cumplirían.

Aunque las técnicas de reciclaje mejoren y, con ello, también lo hagan las tasas de reciclaje de materiales, la mejor solución que se plantea hoy en día es el establecimiento de la economía circular en la que primen la prevención y el ecodiseño y en la que la sociedad tome conciencia social de la importancia de cuidar el planeta adoptando prácticas de reciclaje a todos los niveles.

Para que la gestión de residuos sea efectiva son fundamentales la prevención, para intentar que se genere la menor cantidad posible de residuos, y el ecodiseño, para diseñar y fabricar productos reciclables al 100% y que puedan volver a formar parte del ciclo de producción. Por otra parte, haría falta que desde las administraciones se incentivasen estas actuaciones y se dieran a conocer en profundidad los beneficios de la economía circular para que la sociedad se conciencie y entienda la importancia que tiene y los beneficios que puede reportar al medioambiente.

5.ANEXOS

5.1. ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO.

El análisis de datos es fundamental en un estudio bibliográfico. Nos puede aportar datos fundamentales para la comprensión del entorno del propio artículo.

El buscador de Scopus fue el motor de búsqueda empleado para dicho estudio bibliométrico debido a que de él surgieron la mayoría de los artículos científicos utilizados en este trabajo.

El análisis está basado en la búsqueda del término “End of life vehicles” en el buscador Scopus a nivel histórico entre los años 1926 y 2021 comparado con los últimos cinco años, de 2017 a 2021. En la serie histórica se han encontrado 3957 publicaciones de las cuales 1314 pertenecen a las publicaciones de los últimos cinco años.

Como podemos observar en la Tabla 10, según la procedencia de las publicaciones Estados Unidos y China son los países que más publicaciones tienen a lo largo de los años seguidas de Reino Unido y Alemania. Cabe destacar que en los últimos cinco años las publicaciones en Estados Unidos han disminuido. China y La India han aumentado el número de publicaciones y Reino Unido y Alemania se han mantenido en el mismo básicamente en el mismo porcentaje. Mencionar que de todas las publicaciones comparadas sólo un 3% son españolas.

En cuanto al idioma de las publicaciones el inglés es el idioma predominante, pues el 96,1% de los artículos están publicados en este idioma. Esto es lógico ya que la mayoría de las revistas científicas se publican en inglés. La tendencia se mantiene constante en los últimos cinco años como se puede observar en la Tabla 11.

Según se observa en la Tabla 12, la mayoría de las publicaciones proceden de universidad, destacando las universidades asiáticas. Mencionar que dos importantes empresas de la industria del automóvil, General Motors y Ford Motor Company, también han hecho publicaciones.

Tabla 10. Publicaciones por países de procedencia

Procedencia	Histórico		2017 - 2021	
	Número	%	Número	%
Estados Unidos	1022	25,9	243	18,5
China	350	8,8	191	14,5
Reino Unido	300	7,6	108	8,2
Alemania	300	7,6	101	7,7
India	214	5,4	121	9,2
Italia	185	4,7	75	5,7
Canadá	180	4,5	55	4,2
Japón	171	4,3	50	3,8
Francia	158	4,0	59	4,5
Corea del Sur	105	2,7	37	2,8
España	105	2,7	51	3,9
Suecia	105	2,7	36	2,7
Resto	762	19,3	187	14,2

Tabla 11. Publicaciones por idioma

Idioma	Histórico		2017 - 2021	
	Número	%	Número	%
Inglés	3801	96,1	1280	97,4
Chino	44	1,1	20	1,5
Alemán	40	1,0	2	0,2
Japonés	18	0,5	0	0,0
Francés	11	0,3	2	0,2
Español	10	0,3	3	0,2
Portugués	6	0,2	0	0,0
Coreano	4	0,1	2	0,2
Polaco	4	0,1	1	0,1
Húngaro	4	0,1	1	0,1
Resto	15	0,4	3	0,2

Tabla 12. Publicaciones por afiliación de los investigadores

Afiliación	Histórico		2017 - 2021	
	Número	%	Número	%
General Motors	36	0,9	4	0,3
Universidad Jiao Tong de Shanghai	36	0,9	14	1,1
Universidad de Tsinghua	32	0,8	18	1,4
Universidad de Tohoku	29	0,7	9	0,7
Universidad Tecnológica de Delft	28	0,7	4	0,3
Vrije Universiteit Brussel	28	0,7	8	0,6
Argonne National Laboratory	28	0,7	6	0,5
Ford Motor Company	27	0,7	9	0,7
Instituto Nacional de Estudios Ambientales de Japón	26	0,7	7	0,5
Universidad de Windsor	23	0,6	3	0,2
Academia China de Ciencias	23	0,6	17	1,3
Fundación CNRS	23	0,6	14	1,1
Universidad Tecnológica de Chalmers	22	0,6	14	1,1
Politecnico di Milano	22	0,6	12	0,9
Universidad de Birmingham	18	0,5	15	1,1
Ministerio de Educación de China	18	0,5	15	1,1
KU Lovaria	18	0,5	10	0,8
Universidad de Newcastle, R.U.	14	0,4	10	0,8
Resto	3506	88,6	1125	85,6

Por años de publicación, aparecen registradas en Scopus 3957 publicaciones entre los años 1926 y 2021. Destacar que en los últimos cinco años el número de publicaciones ha crecido considerablemente. Según se observa en la Tabla 13 existe una tendencia a publicar cada año mayor número de artículos.

Tabla 13. Publicaciones por años o período en las que fueron publicadas

Publicaciones por año	Número	%
1926 – 2016	2643	66,8
2017 – 2021	1314	33,2
2017	286	7,2
2018	284	7,2
2019	337	8,5
2020	336	8,5
2021	71	1,8
1926 - 2021	3957	100,0

Por tipo de documento predominan los artículos, seguidos de las ponencias en congresos, tanto en la serie histórica como en los últimos cinco años, tal como se puede apreciar en la Tabla 14.

En la Tabla 15 vemos que por área de conocimiento la mayoría de las publicaciones se enmarcan en las áreas de ingeniería y de las ciencias ambientales.

Según las entidades financiadoras de las publicaciones existe una gran dispersión ya que son muchas las entidades que participan en los estudios, siendo las que más financian estos estudios las que se muestran en la Tabla 16.

Tabla14. Publicaciones por tipología de documento

Tipología del documento	Histórico		2017 - 2021	
	Número	%	Número	%
Artículo	2009	50,8	734	55,9
Congreso	1481	37,4	436	33,2
Revisión	205	5,2	84	6,4
Capítulo del libro	144	3,6	41	3,1
Revisión de congreso	58	1,5	13	1,0
Libro	18	0,5	1	0,1
Nota	15	0,4	2	0,2
Encuesta corta	13	0,3	1	0,1
Editorial	8	0,2	1	0,1
Errata	2	0,1	0	0,0
Reporte	2	0,1	0	0,0
Artículo de negocios	1	0,0	0	0,0
Indefinido	1	0,0	1	0,1

Tabla 15. Publicaciones por área de conocimiento

Área de conocimiento	Histórico		2017 - 2021	
	Número	%	Número	%
Ingeniería	1195	30,2	340	25,9
Ciencias Ambientales	570	14,4	183	13,9
Ciencia de la Computación	293	7,4	146	11,1
Energía	269	6,8	129	9,8
Ciencia de los Materiales	241	6,1	59	4,5
Ciencias Sociales	194	4,9	70	5,3
Medicamento	186	4,7	46	3,5
Negocios, Gestión y Contabilidad	135	3,4	47	3,6
Física y Astronomía	131	3,3	46	3,5
Matemáticas	111	2,8	58	4,4
Resto	633	16,0	192	14,6

Tabla 16. Publicaciones por entidad financiadora de la publicación

Fuente / Procedencia	Histórico		2017 - 2021	
	Número	%	Número	%
Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China	91	2,3	76	5,8
Comisión Europea	41	1,0	29	2,2
Sociedad Japonesa para la Promoción de la Ciencia	40	1,0	23	1,8
Departamento de Energía de EEUU	31	0,8	19	1,4
Programa Marco Horizonte 2000	28	0,7	27	2,1
Consejo de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Físicas	26	0,7	11	0,8
Resto	3700	93,5	1129	85,9

5.2. TÉRMINOS EMPLEADOS

Guía rápida para identificar aquellas palabras empleadas que puedan resultar complejas, siglas o acrónimos que aparecen en el documento. Éstos han sido ordenados alfabéticamente:

- AEDRA: Asociación Española del Desguace y Reciclaje del Automóvil
- ANIACAM: Asociación Nacional de Importadores de Automóviles, Camiones, Autobuses y Motocicletas
- ANFAC: Asociación Nacional de Fabricantes de Automóviles y Camiones
- APRA: Asociación de Remanufacturadores de Partes Automotrices
- ASR: Residuos de Trituradoras Automóviles
- CAT: Centro Autorizado de Tratamiento
- CDR: Combustible Derivado de Residuos
- CSR: Combustible Sólido Recuperado
- DGT: Dirección General de Tráfico
- FER: Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje

- GJ: Gigajulios
- LER: Lista Europea de Residuos
- OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
- PCI: Poder Calorífico Inferior
- PEMAR: Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos
- PIRCV: Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana
- PIVE: Programa de Incentivos al Vehículo Eficiente
- PST: Tecnologías de post-trituración
- RAP: Responsabilidad Ampliada del Productor
- RD: Real Decreto
- RR: Tasa de reutilización y reciclaje
- RRR: Tasa de reciclaje, reutilización y recuperación
- SIG: Sistema Integrado de Gestión
- VFU: Vehículos fuera de uso



6. BIBLIOGRAFÍA

1. Chesterton, A. (2018). How many cars are there in the world? Carsguide. Disponible en: <https://www.carsguide.com.au/car-advice/how-many-cars-are-there-in-the-world-70629> (último acceso: 10/01/2021)
2. Li, Y.; Fujikawa, K.; Wang, J.; Li, X.; Ju, Y.; Chen, C. (2020). The Potential and Trend of End-Of-Life Passenger Vehicles Recycling in China. *Sustainability* 12(4), 1455. <https://doi.org/10.3390/su12041455>
3. ANFAC. (2019). Informe Anual 2019. Disponible en: <https://anfac.com/informe-anual-2019/> (último acceso: 10/01/2021)
4. García López, L.P. (2011). El tratamiento de los vehículos fuera de uso en España. *Seguridad y Medio Ambiente*, 123. Fundación Mapfre. Disponible en: <https://app.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n123/articulo3.html> (último acceso: 08/02/2021)
5. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2020). 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. DOCE L 162, 34-43. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2000/269/L00034-00043.pdf> (último acceso: 18/01/2021)
6. Ministerio de la Presidencia. (2003). Real Decreto 1383/2002, de 20 de diciembre, sobre gestión de vehículos al final de su vida útil. BOE núm.3, de 3 de enero de 2003, 185-191. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2002/12/20/1383> (último acceso: 18/01/2021)
7. Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales. (2017). Real Decreto 20/2017, de 20 de enero, sobre los vehículos al final de su vida útil. BOE núm. 18, de 21 de enero de 2017, 5397-5414. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/01/20/20> (último acceso: 18/01/2021)
8. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2021). Real Decreto 265/2021, de 13 de abril, sobre los vehículos al final de su vida útil y por el que se modifica el Reglamento General de Vehículos, aprobado por el Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre. BOE núm. 89, de 14 de abril de 2021, 42534-42566. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2021/04/13/265> (último acceso: 21/04/2021)
9. Krishna Mohan, T.V.; Amit, R.K. (2021). Modeling oligopsony market for end-of-life vehicle recycling. *Sustainable Production and Consumption* 25, 325-346. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.001>

10. Máxima Uriarte, J. (2020). Historia del Automóvil. *Características.co*. Disponible en: <https://www.caracteristicas.co/historia-del-automovil/> (último acceso: 11/01/2021)
11. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Vehículos fuera de uso. *Calidad y evaluación ambiental*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/fracciones/otros/Vehiculos-fuera-uso.aspx> (último acceso: 11/01/ 2021)
12. SIGRAUTO. (2012). Manual de buenas prácticas ambientales en la gestión de vehículos al final de su vida útil. Disponible en: <https://www.sigrauto.com/pdf/memorias/ManualBuenasPracticas.pdf> (último acceso: 14/01/2021)
13. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. ¿Cómo se tratan? *Calidad y evaluación ambiental*. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/vehiculos/Como-se-tratan.aspx> (último acceso: 11/01/2021)
14. SIGRAUTO. Información para localizar desguaces de vehículos. Disponible en: <https://www.sigrauto.com/donde-puedo-entregar-mi-vehiculo> (último acceso: 16/01/2021)
15. Dirección General de Tráfico. (2021). Centros Autorizados de Tratamiento de Vehículos. Disponible en: http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/centros-colaboradores/Listado-Centros-Autorizados-Tratamiento-Vehiculos_18_03_21.pdf (último acceso: 16/01/2021)
16. Karagoz, S.; Aydin, N.; Simic, V. (2020). End-of-life vehicle management: a comprehensive review. *J Mater Cycles Waste Manag* 22, 416–442. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00945-y>
17. Recytrans. (2013). Vehículos fuera de uso. Disponible en: <https://www.recytrans.com/blog/vehiculos-fuera-de-uso/> (último acceso: 16/01/2021)
18. SIGRAUTO. Evolución histórica de los vehículos tratados. Disponible en: <https://www.sigrauto.com/cuantos-vehiculos-fuera-de-uso-se-tratan-al-ano/evolucion-historica> (último acceso: 16/01/2021)
19. Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> (último acceso: 22/02/2021)

20. Mhatre, P.; Panchal, R.; Singh, A.; Bibyan, S. (2021). A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. *Sustainable Production and Consumption* 26 (en progreso). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.008> (último acceso: 18/01/2021)
21. Comisión Europea. (2020). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Nuevo Plan de acción para la economía circular por una Europa más limpia y competitiva. Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_1&format=PDF (último acceso: 10/02/2021)
22. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2017). Pacto por una economía circular: el compromiso de los agentes económicos y sociales 2018-2020. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/fr/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/170911pacto_ec_def_tcm36-425902.pdf (último acceso: 18/01/2021)
23. SIGRAUTO. (2017). Sigrauto se suma al “Pacto por la Economía Circular”. Disponible en: <https://www.sigrauto.com/prensa-tv/notas-de-prensa/sigrauto-se-suma-al-pacto-economia-circular> (último acceso: 18/01/2021)
24. Ruffino, B.; Panepinto, D.; Zanetti, M. (2020). A Circular Approach for Recovery and Recycling of Automobile Shredder Residues (ASRs): Material and Thermal Valorization. *Waste and Biomass Valorization* (publicado on line 02-abril-2020). Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01050-0>
25. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2018). Directiva (UE) 2018/849 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican la Directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil, la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y la Directiva 2012/19/UE sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. DOUE L 150, 93-99. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2018/150/L00093-00099.pdf> (último acceso: 18/01/2021)
26. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2005). Directiva 2005/64/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de octubre de 2005, relativa a la homologación de tipo de los vehículos de motor en lo que concierne a su aptitud para la reutilización, el reciclado y la valorización y por la que se modifica la Directiva 70/156/CEE del Consejo. DOUE L 310, 10-27. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2005/310/L00010-00027.pdf> (último acceso: 18/01/2021)

27. Comisión de las Comunidades Europeas. (2005). Decisión 2005/293/CE de la Comisión, de 1 de abril de 2005, por la que se establecen normas de desarrollo para controlar el cumplimiento de los objetivos de reutilización y valorización, así como de reutilización y reciclado fijados en la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los vehículos al final de su vida útil. DOUE L 94, 30-33. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2005/094/L00030-00033.pdf> (último acceso: 18/01/2021)
28. Comisión de las Comunidades Europeas. (2003). Decisión 2003/138/CE de la Comisión, de 27 de febrero de 2003, por la que se establecen las normas de codificación de los componentes y materiales para vehículos en aplicación de la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los vehículos al final de su vida útil. DOUE L 53, 58-59. Disponible en: <https://www.boe.es/doue/2003/053/L00058-00059.pdf> (último acceso: 18/01/2021)
29. Comisión de las Comunidades Europeas. (2002). Decisión 2002/151/CE de la Comisión, de 19 de febrero de 2002, sobre los requisitos mínimos del certificado de destrucción expedido con arreglo al apartado 3 del artículo 5 de la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a vehículos al final de su vida útil. DOCE L 50, 94-95. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002D0151&from=ES> (último acceso: 18/01/2021)
30. Comisión de las Comunidades Europeas. (2001). Decisión 2001/753/CE de la Comisión, de 17 de octubre de 2001, sobre un cuestionario para los informes de los Estados miembros acerca de la aplicación de la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a los vehículos al final de su vida útil. DOCE L 282, 77-88. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001D0753&from=ES> (último acceso: 18/01/2021)
31. Jefatura del Estado. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. BOE núm. 181, 85650-85705. Disponible en: <https://boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-13046> (último acceso: 18/01/2021)
32. Rodríguez, M. (2012). Todo sobre la Ley 22/2011, de Residuos y Suelos Contaminados. *Revista digital INESEM*. Disponible en: <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/todo-sobre-la-ley-222011-de-residuos-y-suelos-contaminados/> (último acceso: 18/01/2021)

33. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaprobadono6noviembrecondae_tcm30-170428.pdf (último acceso: 18/01/2021)
34. Conselleria Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. (2013). Decreto 81/2013, de 21 de junio, del Consell, de aprobación definitiva del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV). DOGV núm. 7054, 18888-18933. Disponible en: http://www.dogv.gva.es/portal/datos/2013/06/26/pdf/2013_6658.pdf (último acceso: 18/01/2021)
35. Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural. (2019). Decreto 55/2019, de 5 de abril, del Consell, por el que se aprueba la revisión del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana. DOGV núm. 8536, 19686-19753. Disponible en: https://www.dogv.gva.es/datos/2019/04/26/pdf/2019_4208.pdf (último acceso: 18/01/2021)
36. Envira Ingenieros Asesores. (2019). Se modifica el Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCVA). Disponible en: <https://envira.es/es/plan-integral-residuos-comunidad-valenciana-pircva/> (último acceso: 18/01/2021)
37. Dirección General de Cambio Climático y Educación Ambiental. (2019). Responsabilidad de los fabricantes en la generación de residuos. Gobierno de Aragón. Disponible en: <https://www.aragon.es/-/responsabilidad-de-los-fabricantes-en-la-generacion-de-residuos> (último acceso: 19/01/2021)
38. Bahamondes, G. (2018). Propuesta de plan de gestión para la recuperación y valorización de residuos de envases y embalajes para el cumplimiento de la responsabilidad extendida del productor en CMPC Tissue Chile. Seminario de Título. Universidad de Chile. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/147247/Seminario%20de%20Titulo%20G.%20Bahamondes%20V..pdf?sequence=1&isAllowed=y> (último acceso: 19/01/2021)
39. Mansour, S.; Zarei, N. (2008). A multi-period reverse logistics optimisation model for end-of-life vehicles recovery based on EU Directive. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 21(7), 764-777. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09511920701685325>
40. Opemed. (2017). La responsabilidad ampliada del productor. Disponible en: <http://gestionderesiduosonline.com/la-responsabilidad-ampliada-del-productor/> (último acceso: 19/01/2021)

41. Opemed. (2015). La valorización de los residuos. Disponible en: <http://gestionderesiduosonline.com/la-valorizacion-de-residuos/> (último acceso: 19/01/2021)
42. Kindelan Barañano, M. (2007). La gestión de los VFU's en la Unión Europea: Realidades y Retos. Disponible en: http://www.cma.gva.es/comunes_asp/documentos/agenda/cas/06.%20Manuel%20Kindelan.pdf (último acceso: 19/01/2021)
43. AEDRA. Asociación Española del Desguace y Reciclaje del Automóvil. (2020). Quiénes somos. Disponible en: <http://www.aedra.org/quienes-somos/> (último acceso: 19/01/2021)
44. ANFAC. Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones. (2020). Quiénes somos. Disponible en: <https://anfac.com/portal-de-transparencia/quienes-somos/> (último acceso: 19/01/2021)
45. Viajeros. (2020). ANIACAM se disuelve y sus socios se integran en ANFAC. *Revista Viajeros*. Disponible en: <https://www.revistaviajeros.com/noticia/12663/aniacam-se-disuelve-y-sus-socios-se-integran-en-anfac> (último acceso: 19/01/2021)
46. FER. Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje. (2020). Nosotros. Disponible en: <https://www.recuperacion.org/fer/nosotros/> (último acceso: 19/01/2021)
47. SIGRAUTO. Asociación Española para el Tratamiento Medioambiental de los Vehículos Fuera de Uso. (2019). Información sobre SIGRAUTO y sus socios. Disponible en: <https://www.sigrauto.com/quienes-somos> (último acceso: 19/01/2021)
48. Muñoz Marzá, C. (2012). Evaluación medioambiental del sistema integral de gestión de vehículos al final de su vida útil. Tesis Doctoral, Universidad Jaume I. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/84067> (último acceso: 23/01/2021)
49. Kanari, N.; Pineau, J.L.; Shallari, S. (2003). End-of-life vehicle recycling in the European Union. *JOM* 55,15–19. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11837-003-0098-7>
50. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2014). Resolución de 20 de diciembre de 2013, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 13 de diciembre de 2013, por el que se aprueba del Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020. BOE núm. 20, 4270-4272. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-679 (último acceso: 23/01/2021)

51. Comité Económico y Social Europeo. (2012). Dictamen del Comité Económico y Social Europeo sobre la «Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones — Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos» DOUE C 181, 163-168. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012AE0831&from=ES> (último acceso: 23/01/2021)
52. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. DOUE L 312, 3-30. Disponible en <https://boe.es/doue/2008/312/L00003-00030.pdf> (último acceso: 23/01/2021)
53. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Vehículos. ¿Cuál es su gestión? Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/vehiculos/Cual-es-su-ciclo-gestion.aspx> (último acceso: 23/01/2021)
54. Sakundarini, N. (2012). A framework of integrated recyclability tools for automobile design. *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice* 19,10, 401-411. Disponible en: <https://journals.sfu.ca/ijietap/index.php/ijie/article/view/227> (último acceso: 23/01/2021)
55. IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco. (2009). Guías sectoriales de ecodiseño. Componentes de automoción. Disponible en: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guias_sectoriales_ecodisenio/es_def/adjuntos/automocion.pdf (último acceso: 23/01/2021)
56. Gonzales, J.; Sakundarini, N.; Ariggin, R.; Taha, Z.b. (2010) Integrated Eco-Design Tool for Malaysian Automobile Industry. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics* 14(1), 46-54. Disponible en: <https://doi.org/10.20965/jaciii.2010.p0046>
57. Ortego, A.; Valero, A.; Valero, A.; Iglesias, M. (2018). Toward Material Efficient Vehicles: Ecodesign Recommendations Based on Metal Sustainability Assessments. *SAE International Journal of Materials and Manufacturing* 11(3), 213-228. Disponible en: <https://doi.org/10.4271/05-11-03-0021>
58. Rizzo, G.; Tiano, F.A. (2020). Life cycle assessment study for different options of sustainable mobility, including vehicle conversion. *International Journal of Powertrains* 9(1-2), 122-149. Disponible en: <https://doi.org/10.1504/IJPT.2020.108431>

59. Ministerio de Medio Ambiente. (2002). Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. BOE núm. 43, 6494-6515. Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/o/2002/02/08/mam304> (último acceso: 27/01/2021)
60. Alberto, I.; Azcárate, C.; Mallor, F.; Mateo, P.M. (2002). Optimization with simulation and multiobjective analysis in industrial decision-making: A case study. *European Journal of Operational Research* 140(2), 373-383. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00075-9](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00075-9)
61. IDIS. International Dismantling Information System. (2012). Discover IDIS. Disponible en: <https://www.idis2.com/discover.php> (último acceso: 27/01/2021)
62. Berzi, L.; Delogu, M.; Giogetti, A; Pierini, M. On-field investigation and process modelling of End-of-Life Vehicles treatment in the context of Italian craft-type Authorized Treatment Facilities. *Waste Management* 33 (4), 892-906. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.12.004>
63. Comisión de las Comunidades Europeas. (2002). Decisión de la Comisión (2002/525/CE), de 27 de junio de 2002, por la que se modifica el anexo II de la Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a los vehículos al final de su vida útil. DOCE L 170, 81-84. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002D0525&from=GA> (último acceso: 27/01/2021)
64. Zhou, F; Ma, P. (2019). End-of-Life Vehicle (ELV) Recycling Management Practice Based on 4R Procedure. En *2019 IEEE 6th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Tokyo, Japan, pp. 230-234. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/IEA.2019.8715165>
65. Igarashi, K.; Yamada, T.; Gupta, S.M.; Inoue, M.; Iyosubo, N. (2016). Disassembly system modeling and design with parts selection for cost, recycling and CO₂ saving rates using multicriteria optimization. *Journal of Manufacturing Systems* 38, 151-164. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.11.002>
66. Casper, R., Sundin, E. (2018). Addressing Today's challenges in automotive remanufacturing *Journal of Remanufacturing* 8, 93-102. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0047-9>
67. APRA. Automotive Parts Remanufacturers Association. What is APRA? Disponible en: https://apra.org/page/what_is_apra (último acceso: 28/01/2021)
68. Paterson, D.A.P.; Kao, C.C.; Ijomah, W.L; Windmill, J.F.C. (2018). Incorporating remanufacturing into the end-of-life vehicles directive: current presence and the waste problem *Journal of Remanufacturing* 8, 23-37. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13243-018-0043-0>

69. Peters, G.C. (2015). Federal vehicle repair cost savings act of 2015. *Committee Report* 114-59. Disponible en: <https://www.congress.gov/bill/114th-congress/senate-bill/565> (último acceso: 28/01/2021)
70. Desguaces El Choque. Piezas de desguace para tu coche. Disponible en: <https://www.elchoque.com/segunda-mano> (último acceso: 28/01/2021)
71. SMV. Servicios medioambientales de Valencia, S.L. (2018). La valorización de residuos: tipos y beneficios. Disponible en: <https://www.smv.es/la-valorizacion-residuos-tipos-beneficios/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20Directiva,debe%20terminar%20en%20la%20basura.> (último acceso: 31/01/2021)
72. Gungor, A.; Gupta, S.M. (1999). Issues in environmentally conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Computers & Industrial Engineering* 36(4), 811-853. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(99\)00167-9](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(99)00167-9)
73. Bellmann, K.; Khare, A. (2000). Economic Issues in recycling end-of-life vehicles. *Technovation* 20 (12), 677-690. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(00\)00012-2](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(00)00012-2)
74. Vermeulen, I.; Van Caneghem, J.; Block, C.; Baeyens, J.; Vandecasteele, C. (2011). Automotive shredder residue (ASR): Reviewing its production from end-of-life vehicles (ELVs) and its recycling, energy or chemicals'valorisation. *Journal of Hazardous Materials* 190(1-3), 8-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.088>
75. Botamino Garcia, I. (2015). Vehículos Fuera de Uso. Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental. *Escuela de Organización Industrial*. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25483/vehiculos-fuera-de-uso> (último acceso: 08/02/2021)
76. Cossu, R.; Lai, T. (2015). Automotive shredder residue (ASR) management: An overview. *Waste Management* 45, 143-151. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.042>
77. Balestrini, A.; Levizzari, A. (1997). Life Cycle Analysis of Automotive Glass: Production and Recycling. *SAE Technical Paper* 970697. Disponible en: <https://doi.org/10.4271/970697>
78. Proyecto Life CIRC-ELV. (2020). Boosting circular Economy of plastics form end-of-life vehicles through recycling into high added-value applications. Disponible en: <https://lifecircelv.eu/project.php> (último acceso: 08/02/2021)
79. Grau, A.; Farré, O. (2011). Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020. *IDAE Instituto para la*

- Diversificación y Ahorro de la Energía*. Disponible en: <https://www.idae.es/publicaciones/situacion-y-potencial-de-valorizacion-energetica-directa-de-residuos> (último acceso: 08/02/2021)
80. Rosa, P.; Terzi, S. (2018). Improving end of life vehicle's management practices: An economic assessment through system dynamics. *Journal of Cleaner Production* 184, 520-536. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.264>
81. Aeversu. Asociación de Empresas de Valorización de Residuos Urbanos. (2019). ¿Qué es la valorización energética? Disponible en: <https://aeversu.org/valorizacion-energetica/> (último acceso: 10/02/2021)
82. Morselli, L.; Santini, A.; Passarini, F.; Vassura, I. (2010). Automotive shredder residue (ASR) characterization for a valuable management. *Waste Management* 30, 2228-2234. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.05.017>
83. Petronijević, V.; Đorđević, A.; Stefanović, M.; Arsovski, S.; Krivokapić, Z.; Mišić, M. (2020). Energy Recovery through End-of-Life Vehicles Recycling in Developing Countries. *Sustainability* 12(21), 8764. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12218764>
84. SIGRAUTO. (2020). Memoria Anual 2019. 29p. Disponible en: <https://www.sigrauto.com/pdf/memorias/Memoria2019.pdf> (último acceso: 13/02/2021)
85. EUROSTAT. (2021). End-of-life vehicles – reuse, recycling and recovery, totals. Disponible en: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_waselvt&lang=en (último acceso: 13/02/2021)
86. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. BOE núm. 187, 48659-48721. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-a-2020-7438> (último acceso: 15/02/2021)
87. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Prevención y gestión de residuos. Sistemas de tratamiento. Depósito en Vertedero. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestionresiduos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Deposito-en-vertedero.aspx> (último acceso: 15/02/2021)
88. Fernández Puertas, J. (2015). Estudio técnico de las vías de gestión de los residuos fin de generados en fábrica de recuperación de metales de vehículos

- fuera de uso. Trabajo Fin de Grado, Universidad de León. Disponible en: https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/4655/jul2015_energ%EDa_71937774F.pdf.pdf;jsessionid=C2066E269E698BD23FF049B7ECBA38C1?sequence=1 (último acceso: 15/02/2021)
89. Cerrillo, A. (2020). El Gobierno instaurará un impuesto a los residuos para evitar las sanciones europeas. *Periódico La Vanguardia*, 17/12/2020. Disponible en: <https://www.lavanguardia.com/natural/contaminacion/20201217/6128852/espana-instaurara-impuesto-residuos-evitar-sanciones-europeas.html> (último acceso: 15/02/2021)
90. Comisión Europea. (2020). Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre la aplicación de la directiva 2000/53/CE relativa a los vehículos al final de su vida útil durante el período 2014-2017. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0033&from=ES> (último acceso: 22/02/2021)
91. Varela, M. (2018). Prevención y ecodiseño: el mejor residuo, el que no se produce. Hablando en vidrio. Disponible en: <https://hablandoenvidrio.com/prevencion-y-ecodiseno-el-mejor-residuo-el-que-no-se-produce/> (último acceso: 22/02/2021)
92. Borge-Diez, D.; Ortega-Cabezas, P.M.; Colmenar-Santos, A.; Blanes-Peiró, J.J. (2020). Contribution of Driving Efficiency and Vehicle-to-Grid to Eco-Design *Energies* 13(15),3997. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en13153997>
93. Basque Ecodesign Center. Ecodiseño y Economía circular: Estrategias de diseño de producto que favorezcan la aplicación de la Economía Circular. Disponible en: <http://www.basqueecodesigncenter.net/Paginas/Ficha.aspx?IdMenu=de39febf-1d3a-461c-aa61-dd091ea99e96&Idioma=es-ES> (último acceso: 22/02/2021)
94. Canga Cabañes, J.L. (2017). Ecodiseño para reducir la Huella de Carbono del ciclo de vida de los coches. Instituto Superior del Medio Ambiente. Disponible en: <http://www.comunidadism.es/blogs/ecodiseno-para-reducir-la-huella-de-carbono-del-ciclo-de-vida-de-los-coches> (último acceso: 22/02/2021)
95. Sato, F.E.K.; Nakata, T. (2021) Analysis of the impact of vehicle lightweighting on recycling benefits considering life cycle energy reductions. *Resources, Conservation and Recycling* 164,105118. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105118>
96. Soo, V.K.; Compston.; Doolan, M. (2021). Designing for Vehicle Recyclability from the Perspectives of Material and Joining Choices. In: Kishita, Y.; Matsumoto, M.; Inoue, M.; Fukushige, S. (eds.) *EcoDesign and Sustainability I*.

- Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*. Springer, Singapore. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-15-6779-7_8
97. Sun, X.; Meng, F.; Liu, J.; Mckechnie, J.; Yang, J. (2019). Life cycle energy use and greenhouse gas emission of lightweight vehicle – A body in white design. *Journal of Cleaner Production* 220,1-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.225>
98. He, Y.; Xie, Y. (2019). Comparison Research on Lightweight Plan of Automotive Door Based on Life Cycle Assessment (LCA). In: Hung, J.; Yen, N.; Hui, L. (eds.) *Frontier Computing*. FC 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 542. Springer, Singapore. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3648-5_238
99. Wolfram, P.; Tu, Q.; Heeren, N.; Pauliuk, S.; Hertwich, E.G. (2017). Material efficiency and climate change mitigation of passenger vehicles. *Journal of Industrial Ecology* 2020,1-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jiec.13067>
100. Soo, V.K.; Doolan, M.; Compston, P.; Dufflou, J.R.; Peeters, J.; Umeda, Y. (2021). The influence of end-of-life regulation vehicle material circularity: A comparison of Europe, Japan, Australia and the US. *Resources, Conservation and Recycling* 168,105294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105294>
101. SEAT Comunicación. (2016). SEAT, primera empresa de la automoción en España con certificación ambiental ISO 14006 de ecodiseño. Disponible en: <https://www.seat-mediacenter.es/newspage/allnews/sustainability/2016/seat-primera-empresa-de-automocion-en-espa%C3%B1a-con-certificacion-ambiental-iso-14066-de-ecodiseno.html> (último acceso: 24/02/2021)