



Americas Sustainable Development Foundation

**Mejores Prácticas
Internacionales en la Gestión
de Materiales de Vehículos al
fin de su vida útil**

Una iniciativa de Grupo SURA

Visite nuestro Sitio Web
WWW.SUSTAINABLEAMERICAS.COM



MEJORES PRACTICAS EN LA GESTION DE MATERIALES DE VEHICULOS EN FIN DE SU VIDA UTIL



Título	Mejores Prácticas en la Gestión de Materiales de Vehículos en fin de su vida útil
Fase del Proyecto	Fase 3: Evaluación
Objetivos del Reporte	Analizar las mejores prácticas internacionales actuales en la gestión de componentes y materiales de vehículos al final del uso para identificar oportunidades de negocios circulares para el CNS.
Autores responsables	Kevin de Cuba, ASDF Ken Alston, ASDF/CEP-Américas José Antonio González, CEP-Américas Lorena García, ASDF
Documento revisado por	Alejandro Acevedo, Grupo Sura Carlos Andrés Uribe, Grupo Sura Ricardo Cardona, Grupo Sura
Fecha de Entrega	6 de mayo de 2019

La Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas (ASDF, por sus siglas en inglés) es una fundación de asesoría independiente sin fines de lucro que se especializa en reunir ideas, personas y acciones para realizar soluciones innovadoras para lograr el desarrollo sostenible en todo el Continente Americano.

Establecida desde 1998 en la isla de Aruba, en el Caribe holandés, la fundación está compuesta por destacados expertos internacionales y multidisciplinarios y opera en todo el hemisferio occidental con representantes en Aruba, Estados Unidos, Colombia y Chile, donde ASDF ayuda a gobiernos, empresas, universidades y otros tipos de organizaciones que abordan los desafíos para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

ASDF a través de su Programa de Economía Circular, es la entidad fundadora de la **Plataforma de Economía Circular de las Américas** (ver: www.cep-americas.com) y opera como la Secretaría Técnica de la Plataforma. Esta primera plataforma regional establecida en el verano de 2016 sirve como un Centro de Excelencia en Economía Circular por y para varios actores clave y expertos del Continente Americano. Juntos, los miembros de la plataforma y los expertos afiliados ayudan a abordar las preguntas y los desafíos de la Economía Circular en las Américas.



Americas Sustainable Development Foundation

Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas (ASDF)

P.O. Box 5202

Oranjestad, ARUBA

Caribe Holandés

T: + 297-587-2013

E: info@sustainableamericas.com

U: www.sustainableamericas.com

@ 2019 Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas / *Americas Sustainable Development Foundation*. Todos los derechos reservados

Resumen Ejecutivo

Este reporte presenta una revisión extensiva de las iniciativas a nivel global que han surgido para el sector automotriz para una economía circular, así como las prácticas actuales para recuperación de materiales y partes en vehículos al final de su vida útil.

Esta revisión ha mostrado que la mayoría de los esfuerzos actuales se han centrado en la **“Recolección”, el “Reciclaje” y el “Reciclaje en Ciclo Cerrado”** de materiales y partes provenientes de vehículos al final de su vida útil. Ensambladoras líderes a nivel mundial como Grupo Renault, han dado paso a programas completos de Economía Circular, incentivando el diseño de vehículos que faciliten su recuperación.

Las iniciativas lideradas por Grupo Renault han resaltado que la colaboración entre los diferentes actores de la cadena de valor automotriz es indispensable para desplegar cualquier iniciativa de Economía Circular. También creemos que el liderazgo de las casas ensambladoras es fundamental para dar paso a este camino. En Colombia, el CNS hace parte fundamental de esta cadena de valor y consideramos que puede impulsar y liderar una transición hacia economía circular en Colombia, a través de alianzas con agentes clave tales como SOFASA (Grupo Renault en Colombia) y otros proveedores de la industria automotriz.

Después de un análisis de las diferentes prácticas vigentes y factibles para recuperación y valorización de materiales que se obtienen del desensamble de un vehículo convencional, se recomienda explorar modelos de colaboración para cerrar el ciclo de materiales como el cobre, el polipropileno, el nylon, poliuretano, cinturones de seguridad, cuerdas de llantas, llantas y sellos, convertidores catalíticos y vidrio de parabrisas.

Aunque estas iniciativas soportan el camino hacia una economía circular, una recomendación es explorar modelos de negocio más efectivo tales como la remanufactura de partes.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO	4
CONTENIDO	5
INTRODUCCIÓN	6
METODOLOGÍA	7
1. RECUPERACIÓN DE MATERIALES EN VEHÍCULOS CONVENCIONALES	8
1.1 COMPOSICIÓN DE UN VEHÍCULO CONVENCIONAL	8
1.2 INICIATIVAS INTERNACIONALES PARA LA RECUPERACIÓN DE PARTES Y MATERIALES DE VEHÍCULOS CONVENCIONALES	9
1.2.1 INDRA	9
1.2.2 Proyecto ICARRE95	11
1.2.3 El enfoque de Renault hacia la Economía Circular	12
1.3 INNOVACIONES PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIALES DE VEHÍCULOS AL FINAL DE SU USO	14
1.3.1 Recuperación de Metales	14
Acero	14
Aluminio	16
Cobre	19
1.3.2 Recuperación de Polímeros	20
Polipropileno (PP)	20
Poliétileno (P/E)	21
Poliuretano (PUR)	21
Poliámidas/Nylon 6/6(PA)	23
Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	23
1.3.3. Recuperación de Textiles	24
Recuperación de los textiles provenientes de Sillas	24
Cinturones de seguridad	25
Cuerdas en llantas	26
1.3.4. Recuperación de Elastómeros	26
Cauchos (Llantas y sellos)	26
Otros modelos de economía circular que han surgido para las llantas	28
1.3.5. Recuperación de otros materiales y componentes	28
Baterías	28
Segundo uso de Baterías	29
Convertidores catalíticos	30
Vidrio de parabrisas	30
Farolas	31
2. RECUPERACIÓN DE MATERIALES EN VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	31
2.1 ¿DE QUÉ ESTÁ COMPUESTO UN VEHÍCULO ELÉCTRICO?	31
2.2 INNOVACIONES ACTUALES PARA LA RECUPERACIÓN DE MATERIALES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS AL FINAL DE SU USO	31
Litio	32
3. DISCUSIÓN Y RECOMENDACIONES	34
3.1. MODELOS DE COLABORACIÓN DE INTERÉS PARA OPTIMIZAR LA RECUPERACIÓN DE PARTES Y MATERIALES EN EL SECTOR AUTOMOTRIZ COLOMBIANO	34
3.2. MEJORES PRÁCTICAS DE RECUPERACIÓN DE MATERIALES EN VEHÍCULOS CONVENCIONALES DE INTERÉS PARA EL CNS	35

Introducción

La Economía Circular se ha posicionado mundialmente y con gran fuerza como un modelo de sostenibilidad y desarrollo promisorio para asegurar la rentabilidad y competitividad de los negocios, mientras se vela por el bienestar del medio ambiente y las comunidades. Una Economía Circular converge el crecimiento económico, con la regeneración del capital natural y social.

La Fundación para el Desarrollo Sostenible de las Américas (ASDF por sus siglas en inglés) es contratada para dar asesoría especializada para la evaluación y optimización de las prácticas actuales del Centro Nacional de Salvamentos (CNS) del Grupo SURA en relación con la Economía Circular, modelo económico industrial que busca generar negocios sostenibles en términos ambientales, sociales y económicos, con el objetivo de beneficiar a la compañía en términos de posibles nuevos modelos de negocio, liderar la transición hacia modelos circulares en la cadena de valor e influir en las políticas nacionales y regional que favorezcan una economía circular.

Para tal fin, ASDF desarrollo un plan de trabajo que incluye actividades de análisis de inventario, llevar a cabo un taller de capacitación, ejecutar investigación para la evaluación y optimización de nuevas tendencias internacionales de modelos de negocio circulares y actividades para guiar al CNS en identificar estrategias de economía circular tales como re-manufactura, reparación, y otras, que le representen oportunidades de generar negocios sostenibles.

Este reporte (**Reporte #3: Mejores Prácticas en la Gestión de Materiales de Vehículos en fin de su vida útil**) incluye un análisis de las mejores prácticas internacionales actuales en la gestión de componentes y materiales de vehículos al final del uso para identificar oportunidades de negocios circulares de interés para el CNS.

Metodología

Este estudio tiene el propósito investigar las tendencias generales internacionales en el sector de producción de vehículos para identificar nuevos avances tecnológicos, posibles cambios de diseño, uso de materiales, componentes, fuentes de combustibles o modos de movilización, y modelos de negocios que están surgiendo y que pueden impactar la modelo de negocio actual del CNS. Además, este documento también presenta las mejores prácticas internacionales actuales en la gestión de componentes y materiales de vehículos al final del uso para identificar oportunidades de negocios circulares relevantes y de interés para el Centro Nacional de Salvamientos del Grupo SURA.

La metodología aplicada para la realización de este estudio incluye:

1. Se analizan las tendencias e iniciativas a nivel mundial en el campo de la industria automotriz relacionadas con la Economía Circular
2. Se analiza las mejores prácticas internacionales actuales en la gestión de componentes y materiales de vehículos al final del uso, para poder entender si hay oportunidades para optimizar las operaciones actuales del CNS para resolver sus retos actuales y poder iniciar la transición hacia un modelo de negocio más compatible con los principios de la economía circular.
3. Se hacen las recomendaciones correspondientes de acuerdo con los hallazgos en la revisión de las prácticas a nivel internacional.

1. Recuperación de materiales en vehículos convencionales

En esta sección se presenta una revisión de las tendencias existentes relacionadas a la recuperación y valorización de materiales provenientes de vehículos al final del uso, para el caso de vehículos convencionales.

Partiendo de información disponible sobre programas y/o proyectos de vanguardia, se brinda una descripción detallada de diferentes iniciativas de recuperación del valor de los diversos materiales presentes en un vehículo convencional. Esta sección está compuesta de dos partes **(1)** una descripción de iniciativas globales, en donde se identifican diferentes modelos de colaboración que han surgido para permitir cerrar el ciclo de materiales de esta industria de una manera eficiente y **(2)** una descripción detallada de las innovaciones actuales que permiten recuperar y reincorporar en las cadenas de valor diversos materiales y/o partes provenientes de estos vehículos.

1.1 Composición de un vehículo convencional

Para comprender en qué materiales se ha centrado la recuperación de materiales de la industria automotriz, se utiliza la información brindada por Indra¹ respecto a la composición en peso de un vehículo reciente, ver **Figura 1** y **Tabla 1**. Esta información permitirá categorizar los diferentes materiales y partes para presentar las diferentes innovaciones y tendencias que han surgido para su valorización.



Figura 1. Composición en % de peso de un modelo actual (INDRA, 2018)

¹ Fuente: <https://www.indra.fr/en/activites-france/le-recyclage>

Como orientación, se puede asumir que un vehículo familiar estándar está compuesto principalmente de metales (75.6%) y plásticos (polímeros) (14.3%) que junto representan el 89.9% de la masa total de un vehículo.

Para clarificar la razón por destacar polímeros y elastómeros aparte, es porque un polímero "es el término químico para una molécula de cadena larga, a menudo hecha de unidades químicas monoméricas repetitivas. Plásticos sintéticos, ADN, celulosa de la madera y otros productos naturales son polímeros. Mientras que elastómeros son polímeros similares a la goma y generalmente extensibles, conformes y vuelven a su forma original después de la deformación"².

Tabla 1 Proporción de materiales en un vehículo familiar estándar

Metales: 75.6%	Polímeros: 14.3%	Elastómeros: 4.2%	Fluidos: 2.3 %	Vidrio: 2.1 %	Materiales naturales: 0.8 %	Otros: 0.6%
Acero: 84.8%	Otros polímeros: 35%	Sellos y empaques, llantas y otros	Aceite de motor y caja de cambios, fluidos de frenos etc.			
Aluminio: 12.5%	Polipropileno (PP): 28% (20 kg por vehículo)					
Otros metales: 1.5%	Polietileno(P/E): 19%					
Cobre: 1.2%	Poliuretano (PUR): 8%					
	Poliamida/Nylon (PA): 6%					
	Acrilonitrilo					
	Butadieno					
	Estireno (ABS): 4%					

A continuación, se presenta el estado del arte para la recuperación de diversos materiales y partes de vehículos convencionales.

1.2 Iniciativas internacionales para la recuperación de partes y materiales de vehículos convencionales

1.2.1 INDRA

La empresa INDRA (subsidiaria del grupo Renault) es uno de los líderes en Europa en la recuperación de componentes y materiales de vehículos al fin de su vida útil. Procesan entre 4,000 – 5,000 vehículos por año (según datos del 2016). Su modelo de negocio está diseñado

² CECON, Science and Engineering Consultants, Polymer Fundamentals, sitio web disponible en URL: <http://www.cecon.com/client-sectors/polymers-films-elastomers-fibers-and-coatings-client-sector/> (recuperado en marzo 2019)

para contribuir a la creación de una cadena de valor de vehículos que se encuentren al final de su vida útil, y así contribuir a desarrollar una economía circular en Francia. La **Figura 2** ilustra como INDRA se posiciona en la cadena global del sector automotriz y los tipos de servicios que ofrece en esta cadena o ciclo global.

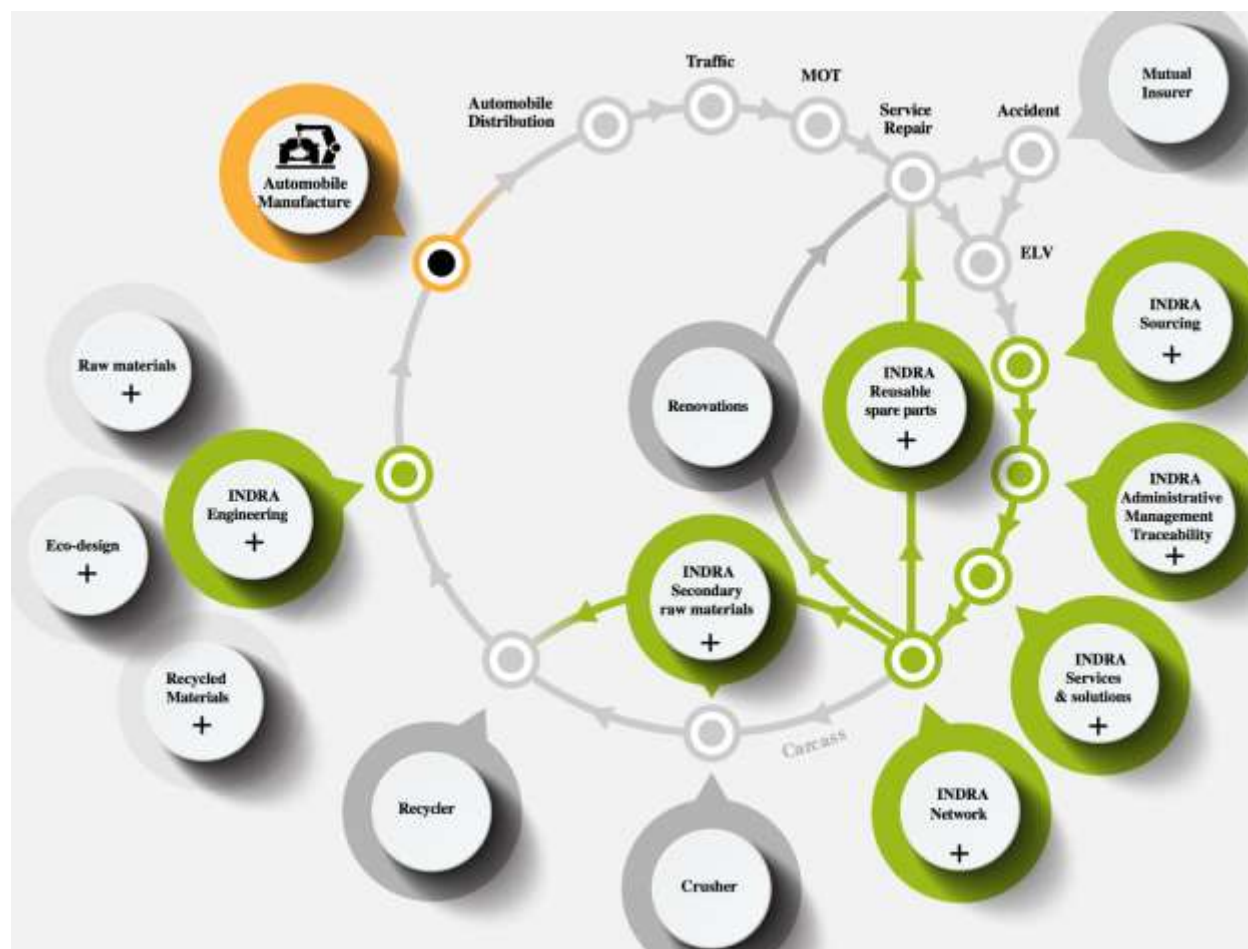


Figura 2 La gestión global del ciclo y los servicios de INDRA (INDRA 2019)

Una observación importante es que, con el desempeño de este modelo de negocio, se logra la recuperación del 95% de la masa total de vehículos al final de su vida útil. Esto, operando en Francia con regulaciones europeas. INDRA indica que tienen la meta de lograr el 100% de recuperación, pero en la perspectiva de INDRA, “lograr el 100% de reciclabilidad no plantea ningún problema técnico, pero lograr el 100% de reciclabilidad en el equilibrio económico del sector es una dificultad que crece de manera exponencial”. Esto revela que aún hay barreras económicas en el sector automotriz que impiden una recircularización total de materiales.

Vale la pena resaltar otros beneficios que plantea el modelo de operación de INDRA, por ejemplo, las actividades de procesar vehículos al fin de uso y la recuperación de componentes y materiales, representa la creación de más de 17,000 puestos de trabajo directamente relacionados a esta industria, y miles de oportunidades de empleos indirectos.³

³ INDRA Automobile Recycling, sitio web disponible en URL: <https://www.indra.fr/en/activites-france/le-recyclage> (recuperado en marzo 2019).

Un mensaje clave que INDRA comunica para justificar las inversiones hechas, es que **cada mercado es único e incluye actores y organizaciones únicas**. Por lo tanto, es esencial ubicar, identificar y comprender a los actores, sus contextos, su motivación y su cultura para que participen en la construcción de una red y puedan así preservar los importantes equilibrios sociales. Ellos, hasta el momento han logrado crear una red de 359 puntos de colección y procesamiento de vehículos al fin de su vida útil para poder ofrecer este servicio por todo el país de Francia.⁴

Algunos puntos clave que resalta INDRA son: si todos los actores participan en la organización y coordinación, el sector del Vehículo al final de su vida útil (ELV, por sus siglas en inglés) puede convertirse en una cadena de valor y contribuir a la implementación de un ecosistema real, que crea puestos de trabajo eco-industriales que no se pueden reubicar. Si el reciclaje de los vehículos al final de su vida útil está estructurado, puede contribuir a la gestión objetivo del mercado nacional de materiales para reciclarlos y reutilizarlos localmente para alentar el surgimiento de una economía circular.

Otra área de interés dentro de las operaciones de INDRA, es el departamento de *Re-source Engineering Solutions* que ofrece una gama completa de herramientas y equipos que satisfacen las necesidades de los diferentes actores en el desmontaje de vehículos, adecuados para todas las capacidades de producción y todos los entornos socioeconómicos y regulatorios.

ASDF recomienda expandir esta capacidad y también ofrecer asesoría técnica a fabricantes de vehículos en entender por qué y cómo diseñar una nueva generación de vehículos que facilitara a entidades como el CNS lograr su objetivo de 100% de recuperación de componentes y materiales de cada vehículo al fin de su vida útil.

1.2.2 Proyecto ICARRE95

El objetivo del Proyecto ICARRE95 financiado por la Unión Europea era mejorar la tasa de reciclaje de los vehículos al fin de su vida útil (Vehículos ELV), al reconocer que se deben desarrollar nuevas “rutas” que tengan sentido técnico y económico. Este ha sido el principal objetivo del proyecto ICARRE95, que se centra en piezas y materiales que no se reciclan o que no están bien reciclados⁵.

Un resultado principal es que se crearon dos nuevas alianzas estratégicas a base de dos nuevas soluciones para la valorización de plásticos y conversores catalíticos, uno entre las empresas Renault y SYNOVA para poder procesar plásticos y el otro entre Renault y DEUSMANN para procesar conversores catalíticos.

4 INDRA Network, sitio web en URL: <https://www.indra.fr/en/reseau> (recuperado en marzo de 2019)

5 ICARRE95, Innovative Car Recycling 95%, European projector industrial demonstrative platform TO ACHIEVE 95% VALORIZATION OF END OF LIFE VEHICLES, disponible en URL: <http://icarre95-programmelife.com/wp-content/uploads/2016/02/Rapport-Layman-ANG.pdf> (recuperado en marzo de 2019)

Al inicio del proyecto, se seleccionaron tres familias de materiales, debido a (1) la masa que representan, (2) la madurez de la tecnología que se requiere para la reciclabilidad o (3) el valor económico:

- Plásticos y especialmente dos polímeros: Noryl® y polipropileno (PP) utilizados para guardabarros, parachoques, partes interiores.
- Espumas y tejidos utilizados en asientos traseros, alfombras.
- Metales como el cobre utilizado en el arnés eléctrico, Platinoïd utilizado en convertidores catalíticos y el magnesio utilizado en volantes.

Intervenciones:

En primer lugar, se enfocó en la mejora del desmontaje de los componentes para aumentar los volúmenes recopilados, teniendo en cuenta las restricciones de los desmanteladores como (1) capacidad de almacenamiento limitada, (2) cumplimiento con las normas de calidad para el desmontaje y (3) la clasificación de materiales para evitar la contaminación cruzada.

En un segundo lugar, se investigaron las mejores maneras para transformar los materiales para prepararlos para una nueva vida, con destino dentro o fuera de la industria automotriz.

Resultados:

Se seleccionaron dos grados de Polipropileno (PP) reciclado desarrollados durante el proyecto en el Panel de Materiales de Renault, que enumera todos los plásticos autorizados para la fabricación de piezas de automóviles. Además, el proceso NOVAFORM®, que aumenta la posibilidad de utilizar PP reciclado, se ha seleccionado para fabricar algunas partes interiores de futuro vehículos Renault.

Pero en gran parte del éxito de transformar materiales para una nueva vida, depende de la habilidad de recuperación de los materiales durante el desmontaje, y para esto se enfocó en crear (1) una red de socios locales para asegurar la recolección, (2) el descubrimiento de una nueva vía para la colección «capilar» en las zonas urbanas, (3) la creación de un proceso formalizado y compartido (gestión de la calidad, seguimiento de peso, embalaje) y (4) la optimización de los flujos para la reducción de costos.

1.2.3 El enfoque de Renault hacia la Economía Circular

Renault es uno de los fabricantes de vehículos que ha estado liderando iniciativas de Economía Circular en el sector automotriz. Como lo ha establecido el Grupo Renault, ellos aproximan la

Economía Circular a lo largo del ciclo de vida de los vehículos con el objetivo de reducir el consumo de materias primas. Para esto han planteado las siguientes estrategias⁶:

La eco-concepción de vehículos: La prioridad de Renault es reemplazar el uso de materias primas por materiales provenientes del reciclaje, como es el caso de los plásticos. Su política de eco-diseño también incentiva la creación de vehículos reparables, que sean fáciles de desensamblar y que contengan materiales reciclables y recuperables.

Los diseñadores utilizan los comentarios de las actividades de mantenimiento y el análisis de los Vehículos al final de su vida útil para desarrollar criterios de diseño, como la selección de materiales y los protocolos de ensamblaje, que ayudan a aumentar la futura remanufactura y reciclaje de vehículos.

Acciones en los vehículos al final de su vida útil: A través de su subsidiaria, Renault Environment, Renault controla el flujo económico y material de las partes y materiales que son consideradas "basura". Esto es a través de la coordinación de actividades con entidades como Indra, Gaia y Boone Comenor.

El reúso de partes: Renault reutiliza partes provenientes de vehículos al final de su vida útil, su red de ventas, plantas o proveedores que ofrecen precios cómodos de estas partes. Este servicio es de interés para clientes cuyos vehículos no son "económicamente" reparables utilizando partes nuevas.

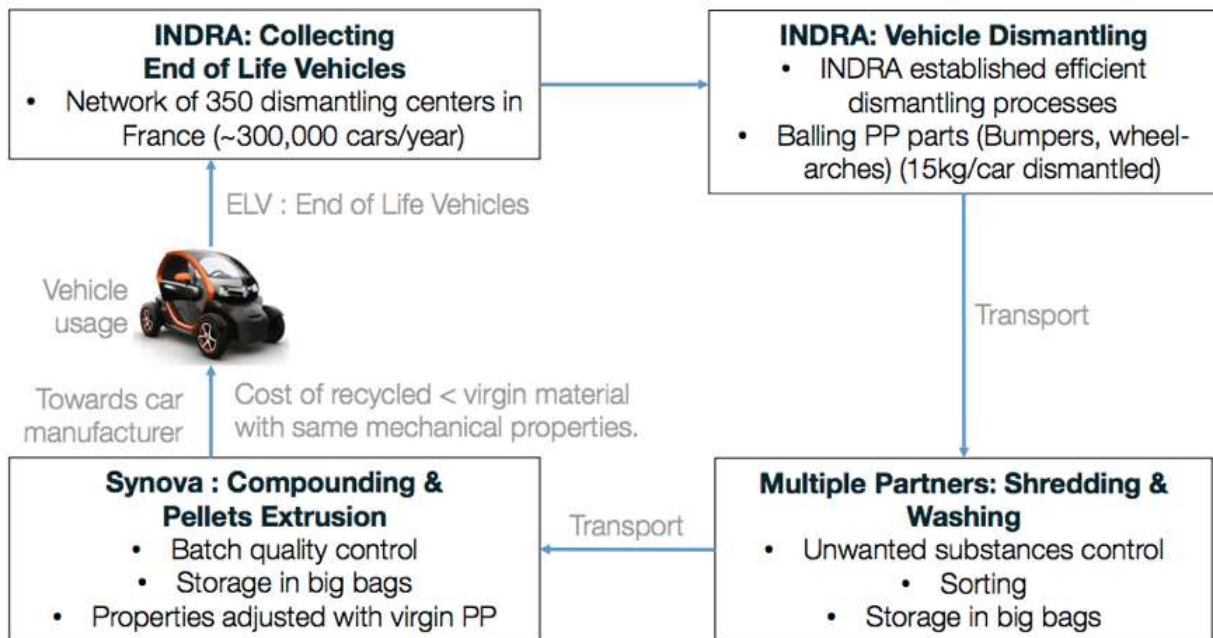
Renault también reacondiciona o remanufactura partes usadas, las cuales son recolectadas en su red de ventas. Esta actividad se adhiere a un proceso industrial estricto que involucra desmontaje completo, limpieza, clasificación, reacondicionamiento y reemplazo de partes faltantes, reensamble e inspección.

El ciclo de reciclaje: Debido a que utilizar materiales secundarios en el proceso de manufactura de carros depende de la disponibilidad de los materiales y su calidad, Renault trabaja para crear "**Ciclos cortos de reciclaje**", que devuelve a la cadena de valor de vehículos materiales aptos para la industria automotriz. Este enfoque incluye por ejemplo el reciclaje de cobre y Polipropileno, que se presentan más adelante en la sección 1.3.2.

Este enfoque de ciclos cortos de reciclaje se ha desarrollado con el objetivo de asegurar un **abastecimiento competitivo en costo**, de forma que los vehículos puedan fabricarse económicamente con un bajo impacto ambiental. Para esto ha sido necesario que Renault establezca **colaboraciones con múltiples partes** para así crear un ciclo cerrado de materiales que **circulan complementamente dentro de la industria automotriz local**.

⁶ <https://group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-actively-developing-circular-economy-throughout-vehicles-life-cycle/>

Como lo ha subrayado la Fundación Ellen MacArthur, **la colaboración es clave** para hacer posible las iniciativas de Renault⁷: “El enfoque de Renault para acceder a sus materias primas ya no se trata solo de adquisiciones, sino que se centra en la coordinación y la colaboración en toda la industria. El siguiente diagrama muestra las relaciones que mantienen la calidad y el valor en el uso de polipropileno de Renault”.



1.3 Innovaciones para la recuperación de materiales de vehículos al final de su uso

1.3.1 Recuperación de Metales

El **75.6% de la masa de un vehículo familiar estándar** es representado por metales, de los cuales los más representativos son el acero, el aluminio, y el cobre. A continuación, se presenta el estado del arte, de las prácticas de recuperación y valorización de estos metales.

Acero

El acero representa el **84.8% de todos los metales de un vehículo familiar estándar** (**Tabla 1**) y ha sido considerado el material de un vehículo con mayor tasa de reciclaje (cercana al 100%). Se ha reportado que el acero utilizado en la carrocería de carros contiene cerca del **25% de acero reciclado**. Además, todos los productos de acero de un vehículo contienen acero reciclado porque la chatarra es un material necesario en la producción de acero nuevo⁸.

⁷ <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/case-studies/short-loop-recycling-of-plastics-in-vehicle-manufacturing>

⁸ WorldAutoSteel, Recycling, sitio web disponible en URL: <https://www.worldautosteel.org/life-cycle-thinking/recycling/> (recuperado en marzo de 2019)

El proceso de reciclaje de acero convencional consiste en: retirar las piezas reutilizables de vehículos al final de su uso, después de retirar las piezas reutilizables y otros artículos como baterías, neumáticos y fluidos, las carrocerías generalmente se envían a procesadores de chatarra ferrosos donde se pesan para su pago y se descargan. En un depósito de chatarra, los automóviles entran en la trituradora. El proceso de trituración genera tres corrientes: hierro y acero; metal no ferroso; y otros (tela, goma, vidrio, etc.). El hierro y el acero se separan magnéticamente de los otros materiales y se reciclan. El hierro y el acero se envían luego a mercados finales o acerías, donde se reciclan para producir acero nuevo.

Sin embargo, algunos actores líderes en la industria del acero tales como ArcelorMittal reconocen que el reciclaje dentro de una economía circular del acero es la opción menos rentable e invitan a desarrollar otras estrategias circulares incluyendo⁹:

(1) Reducción: Propone optimizar el uso de material durante las fases de diseño y fabricación para garantizar que las emisiones se reduzcan durante el uso. Los aceros avanzados de alta resistencia de hoy en día alcanzan una resistencia a la tracción de hasta 2,000 MPa, lo que reduce el peso del vehículo en alrededor de un cuarto desde principios de la década de 1990.

ArcelorMittal ayuda a los fabricantes de automóviles a optimizar los beneficios de estos aceros avanzados y a aplicar tecnologías innovadoras, tales como la soldadura con láser. A través de un diseño inteligente, los fabricantes pueden aligerar sus vehículos significativamente asegurándose de que el acero correcto se encuentre en el lugar correcto. Esto disminuye las emisiones durante la producción de acero ya que se requiere menos metal. Del mismo modo, vehículos más livianos significan emisiones reducidas durante la fase de uso.

(2) Remanufactura: Propone devolver una pieza (en este caso, hecha a partir de acero) a la condición "como nueva", lo que permite al re-manufacturador ofrecer al menos la misma garantía que un producto nuevo. Este enfoque ya es común en América del Norte y en algunas industrias como la automotriz, Renault liderando algunas iniciativas en su planta Choisy-le-Roi (Francia).

(3) Reuso: Si un producto no puede ser remanufacturado, se encuentra un nuevo uso en una economía circular. Lo ideal es que la reutilización se planifique en el proceso de diseño para que el producto se pueda desarmar fácilmente y sus componentes se puedan reutilizar para otros usos con la mínima cantidad de trabajo. Actualmente, se extraen muchos componentes de un vehículo cuando llega al final de su vida útil. Las piezas de acero, como los motores e incluso los paneles de la carrocería, suelen reutilizarse como piezas de repuesto después de la limpieza y la comprobación.

⁹ ArcelorMittal Automotive's commitment to the Circular Economy, disponible en URL: <https://automotive.arcelormittal.com/Sustainability/circulareconomy> (recuperado en marzo de 2019).

Aluminio

El aluminio representa el **12.5% de todos los metales de un vehículo familiar estándar (Tabla 1)** y se reporta que el uso de aluminio en el sector automotriz ha incrementado notablemente en los últimos años y se espera que siga esta tendencia creciente, debido a su capacidad de reducir el consumo de combustible en vehículos al reducir el peso de los mismos, y gracias a sus propiedades como alta resistencia a la corrosión y buena maleabilidad¹⁰.

El aluminio es normalmente usado en forma de dos tipos de aleaciones **(1)** aluminio forjado¹¹ (concentración de un 5% de otros materiales) y **(2)** fundición de aluminio (concentración de un 15% de otros materiales). En la actualidad, el aluminio fundido se utiliza en gran parte en las estructuras de los motores de combustión interna y en rines de los vehículos convencionales.

Por otro lado, en el caso de vehículos eléctricos, se espera que se use aluminio forjado en la caja de cambios, y cómo no cuentan con motores de combustión interna el consumo de aluminio fundido sea menor, requiriendo la producción de aluminio de mayor pureza para futuras aplicaciones en carros eléctricos e híbridos.

Además, una tendencia vigente es el uso de láminas de aleaciones aluminio para producir partes externas en la mayoría de los vehículos comerciales y no solo en vehículos de lujo¹²

El sistema de reciclaje actual del aluminio está enfocado en recibir “chatarra” para producir fundición de aluminio la cual permite más concentración de otros metales y materiales que el aluminio forjado. Este tipo de reciclaje se ha denominado “downcycling” o de cascada, por reducir la calidad o el grado de pureza del material virgen. Algunos de los retos del sistema actual de reciclaje es la presencia de materiales extraños que no se pueden remover fácilmente en la chatarra. Además, a pesar de que hay diferentes procesos para separar metales en productos al final del uso, tales como separación magnética y otros, es difícil identificar el tipo de aleaciones en estos procesos.

La Asociación Europea del Aluminio (EAA por sus siglas en inglés) y la Organización Europea de Refinadores y Refundidores de Aluminio (OEA por sus siglas) han reportado que un 90-95% del aluminio usado en vehículos es reusado como partes automotrices o introducido en ciclos de reciclaje¹³.

10 Hatayama, H. et al., Evolution of Aluminum Recycling initiated by the next generation vehicles and scrap-sorting technology, Resources, Conservation and Recycling Journal, published June 08, 2012, disponible en URL: <http://iranarze.ir/wp-content/uploads/2016/09/5302-English.pdf> (recuperado en marzo de 2019)

11 La forja es un proceso de fabricación donde el metal se presiona, golpea o aprieta bajo una gran presión para producir piezas de alta resistencia. El aluminio forjado es ideal para aplicaciones en las que el rendimiento y la seguridad son fundamentales, pero se necesita un metal más ligero para la velocidad o la eficiencia energética.

12 Djukanovic, G. and Richter, D., Latest Trends for Aluminium demand in the automotive industry, SpotlightMetal, publicado el 24 de julio de 2018, disponible en URL: <https://www.spotlightmetal.com/latest-trends-for-aluminium-demand-in-automotive-industry-a-736213/> (recuperado en marzo de 2019)

13 Aluminum Recycling in Europe, The Road to High Quality Products, European Aluminum Association and Organization of European Aluminum Refiners and Remelters, 2006, disponible en URL: http://recycling.world-aluminium.org/fileadmin/_migrated/content_uploads/fl0000217_04.pdf (recuperado en marzo de 2019)

Estas dos entidades han reportado también un proceso moderno y eficiente para la recuperación de aluminio en vehículos el cual es representado en la **Figura 3**. Algunas partes como rines y cabezales de cilindros se remueven en el desmontaje inicial y se reúsan en vehículos en uso o se pasan directamente a procesos de refinación/fundición.

La carrocería del automóvil, que incluye el aluminio restante, se pasa por una trituradora en la cual se obtiene materiales no metálicos (mezcla de plásticos, caucho, vidrio) los cuales están sujetos a una clasificación adicional. Los materiales metálicos se pasan por un proceso de separación magnético en donde se obtienen partes ferrosas con un imán y otra corriente de metales no ferrosos.

Después de esta separación, los metales que no son magnetizables (aluminio, metales pesados, acero de alto grado, y algunos componentes no metálicos), se someten a una serie de procesos para refinación de la mezcla. Estos procesos incluyen separación por decantación y flotación ("sink-float separation process") y proceso de separación de corrientes Eddy ("Eddy current separation") que resultan en una corriente de aluminio suficientemente pura para refundir/refinar y producir nuevas partes de aluminio de acuerdo con el estándar europeo EN 13290-9.

Nuevas tecnologías prometedoras de recuperación de aluminio a partir de chatarra en una etapa avanzada de desarrollo incluyen tecnología láser y espectroscopia y permitirá la separación de varias formas de aleaciones de aluminio.

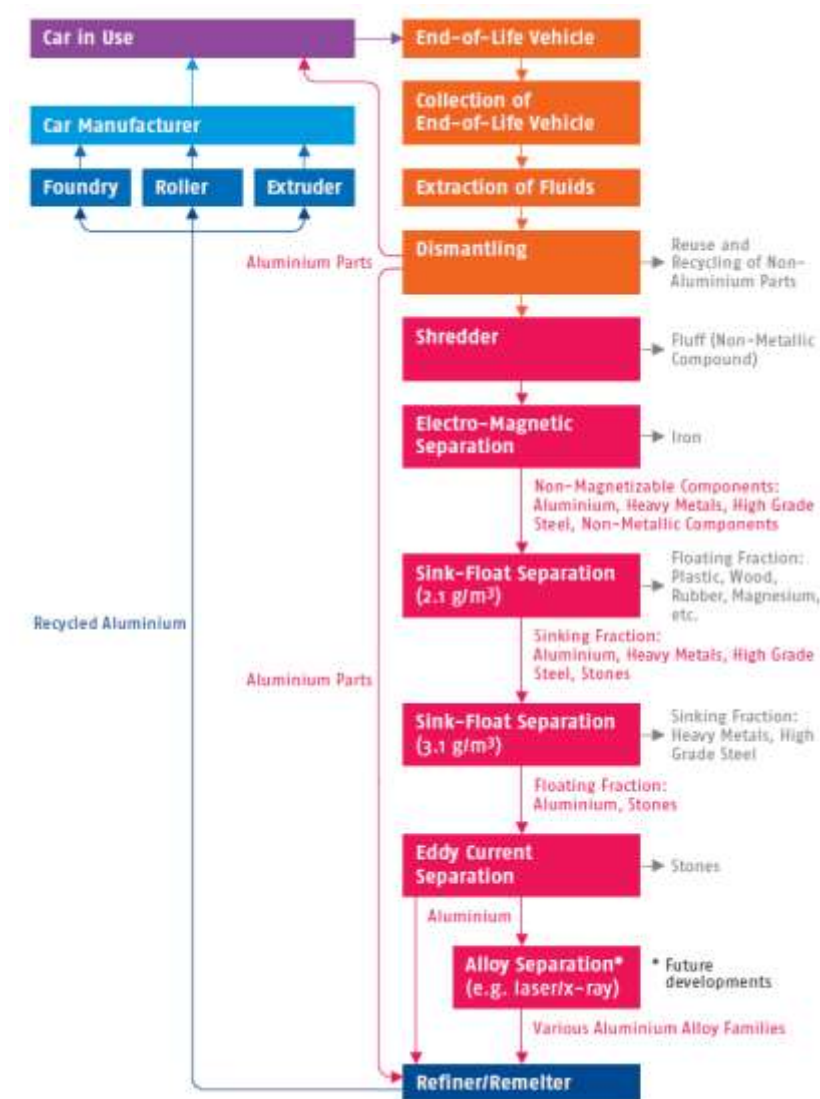


Figura 3. Proceso moderno de desmontaje y reciclaje de aluminio para vehículos al final del uso

Algunos actores industriales que están desarrollando innovaciones para la recuperación de aluminio son MTB Recycling (Francia) y Novelis (Estados Unidos). MTB recycling ha desarrollado a gran escala los procesos de decantación-flotación y separación de corrientes de Eddy para recuperar con alto grado de pureza (99.5%) aluminio proveniente de perfiles, cables y otros elementos¹⁴.

Por su lado, Novelis, uno de los principales productores de aluminio para el sector automotriz, recientemente ha establecido alianzas con algunos de sus clientes (Jaguar, Land Rover y Ford) para desarrollar un sistema para “cerrar el ciclo” del aluminio en la industria automotriz¹⁵.

14 MTB Recycling, Manufacturing, Engineering, Recycling of Aluminum Products, sitio web disponible en URL: <https://www.mtb-recycling.fr/en/recycling-of-profiles-and-aluminum-balls.html> (recuperado en marzo de 2019)

15 Novelis, Closed Looped Recycling Program, disponible en sitio web en URL: <http://novelis.com/automotive/automotive-sustainability/> (recuperado en marzo de 2019)

Por ejemplo, en el caso de Ford, adecuó su planta de fabricación de Dearborn para hacer el cambio de acero a utilizar aluminio más sostenible y liviano y Novelis construyó nuevas líneas de producción de aluminio para automóviles y una nueva infraestructura de reciclaje para procesar chatarra que retornara al proceso. También se colaboró en el diseño de una flota única de camiones para entregar aluminio de Novelis a Dearborn para estampar y para recoger la chatarra de retorno para lograr un reciclaje en ciclo cerrado en Novelis. La colaboración también ha incluido el diseño de los propios vehículos, utilizando aleaciones de aluminio que aceptan cantidades más altas de contenido reciclado y pensando siempre el reciclaje del material al final de su uso¹⁶.

Cobre

El cobre representa el **1.2% de todos los metales de un vehículo familiar estándar (Tabla 1)** y tal como ha sido reportado por la Asociación para el Desarrollo del Cobre (CDA) el cobre se encuentra en diferentes partes de un vehículo incluyendo las aleaciones del tren de potencia, transmisiones, motor, cuerpo del carro y chasis, y en mayor proporción en los cables presentes en el vehículo tales como el arnés de cableado automotriz y otros.

El cobre presente en aleaciones por lo general pasa por procesos de separación metálica tal como el presentado en el caso del aluminio con una alta tasa de recuperación y buena calidad. Sin embargo, la CDA ha reportado que el cobre presente en cableados y partes electrónicas no se recupera, terminando en rellenos sanitarios¹⁷.

Algunos avances han reportado que el cobre presente en cables está siendo recuperado. Por ejemplo, Grupo Renault dentro de su estrategia de Economía Circular y con el objetivo de cerrar el ciclo de materiales que cumplan con las especificaciones de la industria automotriz trabaja para crear “ciclos cortos de reciclaje”.

En el caso del cobre, después del desmontaje del vehículo los cables se procesan por sus aliados para obtener cobre de alta calidad el cual es vendido a la “Fonderie de Bretagne” (fundidora del grupo Renault) con el cual producen hierro fundido perlítico o lo venden para que se procese con aluminio, que posteriormente se utiliza en nuevos autos¹⁸.

La empresa francesa MBT Recycling se ha especializado en el reciclaje de cables, permitiendo reutilizar todos los materiales de un cable. Como lo establece la compañía, a través de procesos 100% mecánicos se obtienen diferentes fracciones de los componentes de un cable siendo separadas progresivamente para obtener al final metales con una pureza del 99.99%. Esto se logra con tecnología de clasificación óptica y separación de corrientes de Eddy¹⁹.

16 Gardner, J., Building a Circular Economy: How Ford, Novelis, created a truly Closed Loop for Automotive Aluminum, Sustainable Brands, publicado en 28 de mayo de 2015, disponible en URL : <https://sustainablebrands.com/read/defining-the-next-economy/building-a-circular-economy-how-ford-novelis-created-a-truly-closed-loop-for-automotive-aluminum>

17 Brahmst, E., Copper in End-of-Life Vehicle Recycling, Manufacturing, Engineering & Technology Group, Center for Automotive Research, disponible en URL: http://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2017/02/Copper-in-End_of_Life-Vehicle-Recycling.pdf (recuperado en marzo de 2019)

18 Renault Group Website, Renault, Actively developing a Circular Economy throughout Vehicles Lifecycle, disponible en URL: <https://group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-actively-developing-circular-economy-throughout-vehicles-life-cycle/> (recuperado en marzo de 2019)

19 MTB Recycling, Manufacturing, Engineering, Reciclaje de cables, sitio web disponible en URL: <https://mtb-recycling.fr/es/reciclaje-de-cables.html> (recuperado en marzo de 2019)

1.3.2 Recuperación de Polímeros

Los polímeros representan el **14.3% de la masa total de un vehículo familiar estándar**. A continuación se presenta el estado del arte de la recuperación y valorización de los polímeros más representativos dentro de un vehículo.

Polipropileno (PP)

El polipropileno en su turno representa el **28% de los polímeros en un vehículo familiar estándar**. El uso de plástico en la industria automotriz es cada vez más importante. En el caso del polipropileno, se reporta que cada año los fabricantes europeos utilizan 1 millón de toneladas de este material (un vehículo reciente cuenta con 20kg de PP²⁰). Una de las tendencias en la industria automotriz a 2030 es el uso en mayor proporción de plásticos, incrementando en 25kg este contenido teniendo en cuenta el uso de plástico como sustituto de partes metálicas, pero también como decoración y partes útiles en los interiores²¹.

El ciclo cerrado desarrollado por el Grupo Renault en Francia para el PP consiste en transformar los bumpers y guardabarros de vehículos en material reutilizable que puede inyectarse en nuevas partes de carros. Para esto, estas partes se compactan para facilitar su transporte, para luego ser trituradas y ubicadas en un tanque de flotación para separar diferentes calidades de plástico de acuerdo con su densidad. Al material clasificado se le agregan aditivos y materiales vírgenes para mejorar las características técnicas del plástico y cumplir especificaciones para su uso en industria automotriz²².

Para hacer posible esta recuperación, la cooperación entre diferentes partes interesadas y con diferentes capacidades ha sido fundamental. En este caso, algunos de los involucrados incluyen²³:

- (1) **INDRA** (joint-venture entre Renault y SITA/Suez Environment) para el desensamble de partes y materiales de vehículos;
- (2) **Synova** para el desarrollo y transformación de materiales, indispensable para el procesamiento de los materiales recuperados de bumpers y guardabarros;
- (3) **Talleres de concesionarios Renault** quienes recuperan partes plásticas al final del uso de vehículos y las envían para recuperación;
- (4) **Contratista** para preparar la materia prima de PP para Synova; y

20 INDRA Automobile Recycling, sitio web disponible en URL: <https://www.indra.fr/en/activites-france/le-recyclage> (recuperado en marzo de 2019)

21 Zeni-Guido, A. and Gallone, T., Closed Loop Polypropylene an Opportunity for the Automotive Sector, disponible en URL: http://icarre95-programmelife.com/wp-content/uploads/2017/02/recyclage-agathe_EN_HD.pdf (recuperado en marzo de 2019)

22Ibid

23 Ibid

(5) **Gaia** una subsidiaria del grupo Renault quienes manejan la logística y venta de materiales producidos por el modelo de Economía Circular del grupo.

Aunque el método actual de recuperación de PP ha significado ganancias para el grupo Renault (en 2015 recuperaron 680 toneladas equivalente a casi 42.000 vehículos), reconocen que hay algunas limitaciones en los procesos en los cuales están adelantando investigaciones para optimizar tanto la tasa de recuperación como la calidad de la misma, que se ve afectada por la mezcla con otros materiales en la fabricación²⁴.

Polietileno (P/E):

Aproximadamente, el polietileno se encuentra en una fracción del 19% de todos los polímeros presentes en un vehículo convencional familiar. En la industria automotriz se utiliza dos tipos de PE, el de baja densidad (LDPE) y el de alta densidad (HDPE). Es un material de alta resistencia a los impactos, tiene una densidad baja y exhibe una buena dureza. Se puede utilizar en el procesamiento de termoplásticos y es particularmente útil en donde se requiere un material de bajo costo que sea resistente a la humedad. Se usa en el cuerpo de los vehículos (como vidrio reforzado) y aislamiento eléctrico, y otras aplicaciones en donde la estética es importante²⁵

Actualmente, el PE se recupera en los vehículos al final de su vida útil a través de reciclaje que incluyen procesos de granulación y lavado para eliminar impurezas que afectan la recuperación de este material en un grado de alta calidad. En Francia, la empresa GDE Recyclage se dedica a hacer la recuperación de este material²⁶.

También se ha reportado otro proceso tecnológico para la recuperación de HDPE proveniente de los tanques de gasolina. La empresa austriaca Starlinger & Co. GmbH ha desarrollado el equipo necesario para recuperar material granulado de calidad de estas piezas, el cual es reusado en la fabricación de los mismos tanques de gasolina²⁷.

Poliuretano (PUR)

La espuma de poliuretano se usa extensivamente para el acolchado de los asientos de automóvil debido a la libertad de diseño geométrico que ofrece. Y también porque puede adaptarse, mediante la formulación utilizada o mediante el proceso de producción, para alcanzar el nivel de confort deseado para el asiento del automóvil. Este componente también es uno de los limitantes para el reciclaje de sillas de automóviles.

Según el Council de Químicos de los Estados Unidos, hay dos métodos para el reciclaje de poliuretano (PUR), (1) el reciclaje mecánico, en el que el material se reutiliza en su forma de polímero, y (2) el reciclaje químico que devuelve el material a sus diversos componentes químicos.

²⁴ Ibid

²⁵ <https://www.plasticsindustry.org/sites/default/files/2016-03256-SPI-PMW-Auto-Recycle-web.pdf>

²⁶ <https://www.gderecyclage.com/>

²⁷ <https://www.plasticstoday.com/content/plastics-recycling-automotive-industry/57322573021811>

Reciclaje mecánico

- (1) Espuma flexible rebonded: la espuma flexible rebonded o "rebond" se fabrica con piezas de espuma de poliuretano flexible troceada y un aglutinante para crear un refuerzo de alfombra, tapetes deportivos, acolchado y productos similares. Rebond se ha utilizado durante décadas y representa casi el 90 por ciento del mercado de alfombras en los Estados Unidos.
- (2) Regrind o Powdering: a veces llamado en polvo, el reciclado se realiza con recortes industriales de poliuretano o piezas post-consumo y se muelen de varias formas para producir un polvo fino. El polvo resultante se mezcla con materiales vírgenes para crear nuevas piezas de espuma de poliuretano o piezas moldeadas por inyección de reacción (RIM).
- (3) Presión adhesiva / unión de partículas: estos dos procesos de reciclaje utilizan poliuretano de diversas aplicaciones, como piezas de automóviles, refrigeradores y molduras industriales, para crear tableros y molduras, a menudo con un contenido reciclado muy alto. Las piezas de poliuretano usadas se granulan y se mezclan con un poderoso aglutinante o sistemas de poliuretano, y luego se conforman en tablas o molduras bajo calor y presión. Los productos resultantes, análogos a los tableros de partículas hechos de desechos de madera, se utilizan en aplicaciones de insonorización, muebles que son virtualmente impermeables al agua y pisos donde se necesita elasticidad.
- (4) Moldeo por compresión: este proceso de reciclaje tritura las piezas moldeadas por inyección de reacción (RIM) y RIM reforzadas en partículas finas y luego aplica alta presión y calor en un molde, creando productos con un contenido reciclado de hasta el 100 por ciento y propiedades del material que pueden ser superiores a los materiales vírgenes.

Reciclaje químico

- (1) Glicólisis: este proceso combina poliuretanos industriales y postconsumo mezclados con dioles a alto calor, causando una reacción química que crea nuevos polioles, una materia prima utilizada para fabricar poliuretanos. Estos polioles pueden conservar las propiedades y la funcionalidad de los polioles originales y pueden usarse en innumerables aplicaciones.
- (2) Hidrólisis: este proceso crea una reacción entre los poliuretanos usados y el agua, lo que resulta en polioles y varios productos químicos intermedios. Los polioles se pueden usar como combustible y los intermedios como materias primas para poliuretano.
- (3) Pirólisis: este proceso descompone los poliuretanos en un ambiente libre de oxígeno para crear gases y aceites.

- (4) Hidrogenación: similar a la pirólisis, la hidrogenación crea gas y aceite a partir de los poliuretanos usados a través de una combinación de calor y presión e hidrógeno.

Poliamida/Nylon 6/6(PA):

El Nylon 6/6 es un nylon de propósito general que puede ser moldeado o extruido. Cuenta con buenas propiedades mecánicas y resistencia al desgaste. Se usa normalmente cuando se requiere un material de bajo costo con alta resistencia mecánica, rígido y estable. Las aplicaciones que se encuentran en la industria automotriz para este material incluyen: cajas de engranajes, cojinetes, levas, rodamientos y recubrimientos a prueba de agua²⁸.

En Europa se ha reportado la factibilidad técnica y los beneficios ambientales de utilizar poliamida reciclada en la producción de autopartes²⁹.

Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)

El ABS es el nombre dado a una familia de termoplásticos. Se le llama plástico de ingeniería, debido a que es un plástico cuya elaboración y procesamiento es más complejo que los plásticos comunes, como son las polioleofinas (polietileno, polipropileno).

El acrónimo deriva de los tres monómeros utilizados para producirlo: (1) acrilonitrilo, (2) butadieno y (3) estireno. Por estar constituido por tres monómeros diferentes se lo denomina terpolímero (copolímero compuesto de tres bloques).

Los bloques de acrilonitrilo proporcionan rigidez, resistencia a ataques químicos y estabilidad a alta temperatura, así como dureza. Los bloques de butadieno, que es un elastómero, proporcionan tenacidad a cualquier temperatura. Esto es especialmente interesante para ambientes fríos, en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos. El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez. Esta mezcla de propiedades, llamada sinergia, indica que el producto final contiene mejores propiedades que la suma de ellos.

El ABS se caracteriza por ser un material muy fuerte y liviano, lo suficientemente fuerte como para ser utilizado en la fabricación de piezas para automóviles. El empleo de plásticos como ABS hace más livianos a los vehículos, lo que promueve una menor utilización de combustible. Se utiliza tanto en el interior como en el exterior. Se puede nombrar el panel de instrumento, consolas, cobertores de puertas y otras partes decorativas del interior. Aplicaciones del exterior del automóvil pueden ser la parrilla del radiador, paragolpes (bumpers), cuna de faros, alojamiento del espejo³⁰.

²⁸ <https://www.plasticsindustry.org/sites/default/files/2016-03256-SPI-PMW-Auto-Recycle-web.pdf>

²⁹ <https://www.compositesworld.com/news/study-shows-viability-of-recycled-polyamide-in-automotive-applications>

<https://cordis.europa.eu/project/rcn/46924/brief/en>

³⁰ Tecnología de los Plásticos, Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclaje, disponible en URL: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/abs.html> (recuperado en marzo de 2019)

El ABS, por ser un termoplástico tiene una gran capacidad de deformación y recuperación. Si se calienta se comporta de forma reversible a la temperatura, por lo que es soldable y se puede conformar y deformar con calor tantas veces como se precise, aunque también se puede reparar por adhesivos. Los más empelados son el polipropileno (PP), acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), Poliamida (PA), polietilenos (PE), policloruro de vinilo (PVC)³¹.

1.3.3. Recuperación de Textiles

Un material de interés del CNS para su valorización es el textil y fibras naturales presente en las tapicerías, tapetes, etc. Los tejidos de tapicería a menudo están hechos de fibras sintéticas como poliéster³² y acrílico³³ y/o se mezclan con fibras naturales.

La aplicación de materiales textiles en la industria automotriz tiene una tendencia creciente debido a que los usuarios esperan más comodidad y seguridad en los vehículos. Se dice que en un vehículo fabricado en el año 2000 las diferentes aplicaciones de textiles cuentan por 20Kg de material y se pronostica que los vehículos fabricados en el año 2020 contarán con 35Kg de textiles.

Las aplicaciones incluyen tapetes e interiores, tapicería de sillas, cinturones de seguridad, cintas, cuerdas en llantas, fibras en materiales compuestos, airbags, telas no tejidas para el aislamiento auditivo y otros (ejemplo, filtros)³⁴.

Sin embargo, como se ha reportado, la tasa de recuperación de textiles provenientes de vehículos ha permanecido baja debido a algunos obstáculos técnicos y económicos, por ejemplo, la dificultad de desmontar y separar diferentes textiles, el nivel de suciedad de estos y que en muchos casos no se logra recolectar un volumen significativo de material para ser recuperados y procesados económicamente.

Algunos esfuerzos por recuperar algunos de los materiales textiles presentes en los automóviles se han realizado para evitar que estos terminen siendo quemados o en rellenos sanitarios, los cuales se presentan a continuación:

Recuperación de los textiles provenientes de Sillas:

En el 2012, en Francia, Renault impulsó el proyecto VALTEX con el objetivo de desarrollar la recolección y reciclaje de espumas y textiles de vehículos al final de su vida útil (de autos y trenes)

31 Perez García, C., Tendencias en los materiales plásticos del automóvil, centro-zaragoza, diciembre 2014, disponible en URL:

http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R62_A2.pdf (recuperado en marzo de 2019)

32 **Poliéster** es un término que a menudo se define como "polímeros de cadena larga compuestos químicamente de al menos el 85% en peso de un éster y un alcohol dihidroxilado y un ácido tereftálico". En otras palabras, significa la unión de varios ésteres dentro de las fibras. La reacción del alcohol con ácido carboxílico da como resultado la formación de ésteres.

33 **Las fibras acrílicas** son fibras sintéticas hechas de un polímero (poliacrilonitrilo) con un peso molecular promedio de ~ 100,000, aproximadamente 1900 unidades de monómero. Para que una fibra se llame "acrílica" en los EE. UU., El polímero debe contener al menos un 85% de monómero de acrilonitrilo. Fuerte y cálida, la fibra acrílica se usa a menudo para suéteres y chándales y como forros para botas y guantes, así como para la decoración de telas y alfombras. Se fabrica como un filamento, luego se corta en longitudes cortas cortas similares a pelos de lana, y se hila en hilo

34 Shishoo, R., Libro: Textile Advances in the Automotive Industry, The Textile Institute, publicado en el 2008, disponible en Google Books

y de vestimenta profesional (uniformes, ropa de protección) para desarrollar un aislamiento térmico y acústico que se usaría en el sector automotriz, aeronáutico y de construcción, etiquetado como Ecocert Environment. Con la experiencia en previos proyectos se desarrolló una logística adecuada para la recolección y reciclaje de estos materiales. Algunos de los socios de este proyecto incluyen L'ITECH (escuela de ingeniería), Fédéral Mogul Systems Protection (fabricante de equipos), Mulliez-Flory (ropa profesional), Indra (especializada en la eliminación y el tratamiento de vehículos al final de su vida útil) y Laroche (tratamientos de fibra, tecnologías de reciclaje y telas no tejidas)³⁵.

La **Figura 4** presenta el proceso de desensamble de los asientos provenientes de vehículos. Después del desmantelamiento se obtiene un 39% de espumas, un 10% de textiles, un 46% de metales y un 5% de otros materiales. Tanto las espumas como las fibras textiles son procesadas para obtener paneles los cuales pueden ser utilizados con fines de aislamiento acústico y térmico.



Figura 4. Recuperación de Sillas en el proyecto ICARRE 95

Cinturones de seguridad:

El segundo proyecto colaborativo, lanzado por Filatures du Parc (empresa textil francesa) junto con INDRA (compañía recicladora de vehículos francesa-Renault) y con Adient (fabricante global de sillas para vehículo) es el proyecto **Afiler**, que explora caminos para reciclar los cinturones de seguridad de los vehículos (un material con una buena relación Cantidad Recuperada: Tiempo de recuperación)³⁶. El ciclo cerrado corto en este caso se ha desarrollado con el objetivo de transformar los cinturones de seguridad en hilo cardado el cual se utiliza después para interiores y tapicería en vehículos.

³⁵ <https://www.actu-environnement.com/ae/news/recuperation-recyclage-textiles-professionnels-14873.php4> y <https://www.environnement-magazine.fr/archives-em/article/2012/03/21/8523/valtex-recycle-les-textiles-professionnels>

³⁶ http://icarre95-programmelife.com/wp-content/uploads/2017/02/article-technique-AFILER_EN_HD.pdf

Cuerdas en llantas:

Otro textil de interés y para el cual se han investigado desarrollos para su recuperación y reinserción en la cadena de valor, son las fibras presentes en las llantas. En Europa, el proyecto "Refibre Life" se centró en encontrar aplicaciones para las fibras textiles provenientes de llantas, las cuales actualmente están siendo descartas a rellenos sanitarios. Además, este proyecto buscó una solución técnica viable para su recuperación, pues este material contiene normalmente una alta cantidad de caucho, lo que normalmente dificulta su procesamiento.

Como resultado de este proyecto se ha encontrado que los usos de esta fibra textil reciclada incluyen³⁷:

- La producción de compuestos plásticos de PP que se utilizan en la fabricación de canecas de basura.
- La producción de asfalto reforzado que se utiliza en el mantenimiento de vías.

1.3.4. Recuperación de Elastómeros

Los elastómeros representan el **4.2% de la masa total de un vehículo familiar estándar**.

Cauchos (Llantas y sellos)

Bajo la categoría de elastómeros, se incluye materiales hechos de caucho.

Hay varios métodos para el tratamiento de caucho para su transformación para un nuevo uso. Primero, el caucho se descompone mediante procesos mecánicos, de modo que los productos que no son de caucho, como el acero y el nylon, pueden ser separados.

En el caso de llantas, se trituran en tiras que luego se colocan en granuladores para ser fresados en tamaños y consistencias variados. A veces, las máquinas usan imanes para ayudar aún más en la separación de los metales del compuesto. Un paso menos común que está involucrado en esto es congelar los neumáticos con nitrógeno líquido a una temperatura de -60 ° C, luego, el material congelado se tritura y se muele de una manera similar.

Una vez que se haya aislado la goma y se haya producido la "miga" o la "malla", se debe recuperar. La goma de desecho se calienta y se trata con productos químicos, y luego se procesa mecánicamente en láminas. La malla puede tratarse con ácido sulfúrico caliente para destruir la tela en el neumático, y el tratamiento térmico hace que la goma de desecho sea útil como relleno.

Alternativamente, el compuesto puede calentarse con el uso de álcali, una sal iónica, durante períodos de tiempo que van desde doce a treinta horas. Las láminas de caucho reciclado producidas se utilizan para una multitud de aplicaciones.

Estos métodos son bastante estándar y simples, no tienen que usar pasos complejos, lo que los convierte en los medios preferidos para reciclar el caucho. A veces, el caucho reciclado de los

³⁷ http://www.refibre.eu/risultati_EN.html

neumáticos no necesita someterse a ninguno de estos procesos, ya que (1) en primer lugar los neumáticos viejos simplemente pueden ser restaurados y usados nuevamente para automóviles, o (2) usados para aplicaciones como la creación de barreras, camas de jardín y, en algunos casos especiales, casas completas.

Al final la porción más grande de los neumáticos desechados se convierte en Combustibles Derivados de Neumáticos (TDF) y se quema en hornos de cemento o ladrillos como fuente de combustible (Waste-to-Energy).

Otros objetos hechos de caucho, como los **sellos de ventanas recuperados en el CNS**, pueden ser sometidas al proceso de trituración para convertirse en caucho triturado que podrá ser utilizado como materia prima para extrusión en nuevos productos utilizables dentro y fuera del sector automotriz.

La extrusión de cauchos es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija. La extrusión de caucho no se diferencia demasiado de la extrusión de plástico. En el proceso de extrusión del caucho, como en la extrusión de plástico, el material es forzado bajo presión a través de un troquel o matriz adoptando así la forma deseada. La principal diferencia reside en el proceso de vulcanización del caucho durante el proceso de extrusión. El proceso de vulcanización debe ser llevado a cabo antes de que la parte o perfil de caucho sea utilizable³⁸.

La vulcanización tiene lugar en el último paso de la extrusión de caucho, dicho proceso ayuda a los perfiles y partes de caucho a mantener su forma y a adquirir las propiedades físicas necesarias.

Existen diferentes tipos de procesos de extrusión dependiendo de cómo se realice la vulcanización:

- **Extrusión de vulcanización continua:** El caucho recorre un túnel de curado o vulcanizado donde se eleva la temperatura para la vulcanización.
- **Extrusión de vulcanización fuera de línea:** El caucho caliente es conducido a través de la matriz y luego es expuesto a vapor a alta presión con el fin de alcanzar la temperatura adecuada para su vulcanización.

En Colombia, se identificó la empresa CAELCA SAS, que tiene la experiencia en transformar caucho en productos con un siguiente propósito y valor. Se recomienda acercarse a esta empresa para explorar maneras de valorización del caucho recuperado en las operaciones del CNS que actualmente no están siendo aprovechados.

38 Fuente: CAELCA SAS, sitio web disponible en URL: <https://caelca.com.co/lineas-de-produccion/extrusion-de-caucho/> (recuperado en marzo de 2019). La empresa es un aliado estratégico dentro de su Cadena de Abastecimiento, generando soluciones integrales en Producción, Comercialización y Distribución de productos de la familia de los polímeros, elastómeros en el sector automotriz, industrial y de la Construcción, asumiendo sus necesidades en forma ágil y oportuna, a lo largo de 25 años de experiencia en el mercado.

Otros modelos de economía circular que han surgido para las llantas

Para las llantas, existen varias alternativas dentro de los modelos de Economía Circular, el caso de estudio donde se retiene una mayor fracción del valor es con la re-manufactura y un modelo de negocio basado en servicio más que en la venta de productos, como ejemplo Michelin® tiene el programa Tire-Care³⁹ mientras que Goodyear® tiene Drive Retread.

Mediante estos programas las empresas fabricantes de llantas presentan una oferta de servicio y mantenimiento del producto, garantizando la condición óptima del mismo para brindar un alto desempeño. Estos programas sólo aplican para llantas de vehículos de carga que cumplen con la combinación ideal de nivel de utilización y alto costo del producto, necesarias en un modelo de re-manufactura.

Las ventajas de estos programas incluyen, una reducción de costes para los clientes manteniendo sus niveles de confiabilidad, reducción de unos 15 galones de aceite por cada llanta reencauchada, la reducción de miles de llantas que irían a parar a vertederos y la generación de empleo local en la red de servicio.

La otra opción que se tiene es la recuperación de material para su utilización como materia prima de nuevos productos, y para este caso encontramos dos alternativas de interés, la primera con fines locales en la fabricación de suelos para parques infantiles, algo que se ha vuelto muy común en los últimos años para aumentar la seguridad de los niños en estas áreas públicas. Se encontraron algunas empresas dedicadas a este ámbito en Colombia como lo son: **Huella Urbana Ambiental S.A.S y Hulex⁴⁰**.

La segunda con una nueva tecnología desarrollada por Michelin® junto a Lehigh Technologies⁴¹ donde por medios fisicoquímicos logran convertir las partículas de llantas en Polvo Micronizado de Caucho ("Micronized Rubber Powder" o MRP), éste puede utilizarse como material virgen para la fabricación de productos incluyendo nuevas llantas. Dentro de las ventajas que ofrece está su pureza, así como la facilidad de almacenaje y transporte lo cual podría revolucionar el mercado de caucho reciclado.

1.3.5. Recuperación de otros materiales y componentes

Baterías

En las baterías de ácido-plomo existen pocas alternativas mejores a las que SURA actualmente tiene para la gestión de estos componentes. Sin embargo, entendemos que uno de los objetivos

³⁹ <https://www.michelintruck.com/tires-and-retreads/retreads/>

⁴⁰ <http://www.huellaurbana.com/nosotros/>

⁴¹ [http://lehightechnologies.com/what we do/what is micronized rubber powder](http://lehightechnologies.com/what_we_do/what_is_micronized_rubber_powder)

de este proyecto es plantear retos a futuro a medida que la flota de vehículos se electrifica y pasamos a utilizar batería en su mayoría de Li-ion.

Para este escenario vemos dos retos, el primero a término más inmediato es adecuar la infraestructura de SURA para la manipulación de estos componentes. Entendiendo que la densidad energética de las baterías Li-ion es 5-7 veces superior a las de ácido-plomo es indispensable hacer una descarga total de las mismas antes de poder ser manipuladas por operarios, especialmente en el caso de baterías de las que no podemos garantizar su integridad. En este mismo punto, recordamos que las baterías de Li-ion son más inestables cuando su integridad física se ve comprometida y existe el riesgo de combustión espontánea, incrementando no solo los riesgos de incendios sino de intoxicación por las emisiones químicas.

Aunque estas normativas son privadas y no logramos acceso a su contenido, recomendamos buscar una consultora experta en el área y tomar como referencia alguna de estas normas:

- ISO 26262
- IEEE 1679.1-2017

Actualmente no existen procesos estándar para el reciclaje de baterías Li-ion, pero uno de los métodos que está ganando impulso es la reutilización de las celdas de baterías automovilísticas que llegan al fin de su vida para baterías de uso doméstico. Aquí se aprovecha que la densidad energética sigue siendo provechosa para una demanda con menos ciclos de carga/descarga y menor requerimiento de potencia. Como ejemplo de esas tendencias tenemos algunas Start-Up como PowerVault (UK) o Relectrify (Australia), así como muchos otros fabricantes de EV o baterías tienen proyectos propios en la misma línea⁴².

Segundo uso de Baterías

En el 2018 ya la cantidad de vehículos eléctricos sobrepasó los 1 millones de vehículos vendidos en China. Resulta que baterías litio-ion siguen siendo útiles mucho tiempo después de que el dispositivo que activaron (teléfono, taladro eléctrico o automóvil) se haya retirado. Por lo que la reutilización, el uso de baterías viejas en nuevas aplicaciones, se ha convertido en una alternativa cada vez más popular en China. Y gracias a la ética china, a la mano de obra barata y a la voluntad de tolerar estándares más bajos a cambio de precios más bajos, el negocio de reutilización está prosperando.

La industria es enorme, un hecho que se refleja en el precio global de las baterías usadas. Según Hans Melin, autor de un análisis reciente del mercado de iones de litio, los re-acondicionadores chinos pagarán US\$4 por kilogramo por baterías con potencial de reutilización potencial; una batería más adecuada para el reciclaje costará tan poco como \$1.50 por kilogramo.

⁴² <https://www.youtube.com/watch?v=r4kMmodtlpY>

La oferta en constante crecimiento las baterías viejas deberían reducir los costos de almacenamiento. Bloomberg New Energy estima que la reutilización de una batería costara tan poco como US\$49 por kilovatios-hora utilizable en 2018, en comparación con US\$300 por una batería nueva.

Para el 2025, el 60% de las baterías de automóvil retiradas se utilizarán en el almacenamiento de energía antes de ser recicladas. Eso debería reducir los costos, reducir aún más las emisiones y reducir la demanda de baterías nuevas y las materias primas asociadas. En otras palabras, China no solo administra sus baterías usadas, sino que también puede servir como ejemplo de cómo el resto del mundo puede encenderse de forma sostenible.⁴³

Convertidores catalíticos

El convertidor catalítico se ubica dentro del escape del vehículo con la función de controlar y reducir los gases nocivos provenientes del motor de combustión interna. Este convertidor se compone por metales preciosos y escasos tales como el Paladio, Platino y Rodio.

El proyecto europeo ICARRE 95, presenta una solución para la recuperación de estos metales preciosos la cual es descrita a continuación:

“Primero, se desensambla el convertidor y se extrae el centro monolito cerámico en donde se encuentran los metales preciosos. Este centro monolito es triturado para convertirse en un polvo homogéneo. Esta mezcla de metales es analizada para conocer exactamente la cantidad de cada metal, los cuales son recuperados por fundición. Después de la fundición, los concentrados metálicos son enviados a una refinería externa para su purificación y que puedan ser utilizados en futuras aplicaciones”⁴⁴.

Algunas empresas dedicadas a la recuperación de metales preciosos de los convertidores catalíticos son la inglesa SAR Group que tiene una subsidiaria en Brasil⁴⁵ y en Colombia la empresa CATEx ubicada en Medellín se dedica al reciclaje de estos convertidores⁴⁶.

Vidrio de parabrisas

En los últimos 20 años, la tecnología para reciclar este tipo de vidrio (vidrio laminado) se ha desarrollado. El reciclaje de este tipo de vidrio es diferente al reciclaje convencional de botellas u otro material hecho de vidrio, porque los parabrisas contienen una capa de “Butiral de polivinilo (PVB)” la cual le da la habilidad de permanecer el vidrio pegado cuando hay choques, así como también estabilidad y estructura.

⁴³ China’s Giving Batteries a Second Life, publicado por Minter A., a Bloomberg Opinion Columnist, el 11 de marzo de 2018 en el sitio web de Bloomberg, disponible en el URL: <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2018-03-11/china-s-giving-batteries-a-second-life> (recuperado en febrero de 2019)

⁴⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=UyO27wlpYb8>

⁴⁵ <https://www.sarrecycle.com/>

⁴⁶ <https://reciclajelectronico.weebly.com/>

Cuando se reciclan los parabrisas, ese PVB debe ser separado del vidrio. En la mayoría de los casos, los parabrisas usados se pulverizan o trituran primero. Después de eso, una máquina separa el vidrio del PVB. El vidrio se transforma en algo llamado "vidrio desecado", que se puede usar en una variedad de aplicaciones, como concreto, aislamiento de fibra de vidrio, asfalto y más. El PVB también se puede utilizar para varias aplicaciones como adhesivo.

Algunas empresas que se dedican al reciclaje de parabrisas son: Safelite AutoGlass en Estados Unidos⁴⁷ y la multinacional Saint-Gobain Sekurit, también ha lanzado un programa para el reciclaje de parabrisas⁴⁸.

Farolas

La estructura de una farola contiene múltiples elementos y materiales que hace difícil su recuperación para un uso posterior. Estas contienen plásticos, vidrio, metales, adhesivos entre otros.

En la revisión de literatura se ha encontrado que algunas empresas se han dedicado a recuperar los materiales provenientes de estas farolas para su uso posterior por ejemplo en canchas de juego, una de ellas es la empresa Carhart ubicada en Michigan, Estados Unidos⁴⁹

2. Recuperación de Materiales en Vehículos eléctricos

2.1 ¿De qué está compuesto un vehículo eléctrico?

En el caso de vehículos eléctricos, se espera que se use aluminio forjado en la caja de cambios, y cómo no cuentan con motores de combustión interna el consumo de aluminio fundido sea menor, requiriendo la producción de aluminio de mayor pureza para futuras aplicaciones en carros eléctricos e híbridos.

2.2 Innovaciones actuales para la recuperación de materiales de vehículos eléctricos al final de su uso

Los vehículos eléctricos son una tecnología clave para descarbonizar el sector del transporte por carretera y se espera que su uso aumente, aumentando así la demanda de baterías de iones de litio. Esto hace que el desarrollo de una cadena de valor completa para baterías en Europa sea una prioridad, particularmente el reciclaje de baterías de iones de litio donde Europa se encuentra en una ventaja como líder del mercado.

⁴⁷ <https://www.safelite.com/why-choose-safelite/glass-recycling>

⁴⁸ <https://www.revistaviajeros.com/noticia/419/programa-de-reciclaje-de-parabrisas-saint-gobain>

⁴⁹ <https://carhartproducts.com/headlight-recycling>

Lo que sucederá con esta enorme cantidad de baterías al final de su vida útil y cómo los materiales valiosos dentro de cada batería se pueden recuperar y reciclar son preguntas importantes para los responsables políticos de la UE, al igual que la información sobre los impactos del desarrollo de un reciclaje de baterías de iones de litio. industria en la UE.

Como parte del proyecto CIRCULAR IMPACTS más amplio, que analiza los impactos económicos, laborales y sociales del cambio hacia una economía circular, este estudio de caso examina los impactos de la gestión de baterías de iones de litio para vehículos eléctricos que llegan a su fin de vida útil en los próximos años. Concluye que aumentar las tasas de eficiencia de recolección y reciclaje de baterías de vehículos eléctricos en la UE puede mitigar la dependencia de los materiales importados y ayudar a mantener el valor de los materiales recuperados en la economía de la UE. Otros beneficios potenciales incluyen la creación de empleos en el sector de reciclaje de iones de litio, mientras que el reciclaje de ciertos materiales, en lugar de extraer la materia prima, puede mitigar las emisiones de CO₂⁵⁰.

Litio

El litio es el elemento sólido más ligero de la tabla periódica. Las dos fuentes naturales principales de las que se extrae el litio son los minerales (roca dura) o las soluciones salinas (salmueras). La extracción de minerales se encuentra principalmente en Australia Occidental. A través de una serie de pasos de purificación y separación mecánica, se puede concentrar el litio en los minerales extraídos. La mayor parte del litio usado industrialmente se extrae de salmueras. La mayoría de estas soluciones salinas se encuentran en las salinas que cubren partes de Chile, Argentina y Bolivia: el llamado triángulo de litio. El litio disuelto en salmuera se concentra por evaporación solar, seguido de una combinación de pasos de precipitación y filtración para eliminar las impurezas residuales como el calcio, el magnesio y el boro. La solución de LiCl purificada se puede usar para hacer una variedad de productos químicos de litio (por ejemplo, Li₂CO₃ y LiOH).

El litio es un elemento único por su baja densidad (0.534 g / cm³) y su alta capacidad de calor específica (3.58 kJ / (kg K), la más alta de todos los sólidos. Esto ha llevado a una variedad de aplicaciones industriales que utilizan Litio. Hoy en día, la industria de baterías de iones de litio es el mayor consumidor de litio del mundo, principalmente para la producción de materiales de cátodos activos para baterías de iones de litio, donde el litio se utiliza en forma de Li₂CO₃ o LiOH de alta pureza. Además de la industria de baterías de iones de litio, el litio se ha utilizado durante muchos años en otras aplicaciones más tradicionales, como en vidrios y cerámicas, en polvos de fundente de moldes y en fundición de aluminio. Otras aplicaciones que consumen litio son las grasas para sistemas mecánicos (por ejemplo, cajas de engranajes), catalizadores para la síntesis de caucho (butillitio), aleaciones de aluminio para aviones, sistemas de enfriamiento de aire (bromuro de litio) y antidepresivos.

Debido a la abundancia de litio en la naturaleza, el reciclaje de litio no tenía prioridad para los actores en la industria de baterías de iones de litio, vidrio, cerámica, etc. El reciente aumento de

50 Drabik, E. and Rizos, V., Prospects for Electric Vehicle Batteries in a Circular Economy, disponible en URL: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/sector/automotive-industry> (recuperado en marzo de 2019)

la demanda de litio para vehículos eléctricos enfatizó la importancia del reciclaje. Ahora, tanto las piro-tecnológicas como las hidrometalúrgicas pueden reciclar el litio de los residuos de la batería de ion-litio.⁵¹

⁵¹ Lithium, UMICORE website, Disponible en URL: <https://www.umicore.com/en/about/elements/lithium/> (recuperado en enero de 2019).

3. Discusión y recomendaciones

3.1. Modelos de colaboración de interés para optimizar la recuperación de partes y materiales en el sector automotriz colombiano

Como se ha establecido con los ejemplos mostrados en el **capítulo 1.2**, el establecimiento de una red de colaboradores para cerrar el ciclo de materiales de la industria automotriz es primordial. El ejemplo de las operaciones de la compañía francesa INDRA (subsidiaria del grupo Renault) muestra que ellos han desarrollado diversas capacidades que incluyen la recolección y procesamiento de vehículos al final de su vida útil, así como la oferta de una gama completa de herramientas y equipos que satisfacen las necesidades de los diferentes actores en el desmontaje de vehículos. Su modelo de operación ha logrado la recuperación del 95% de la masa de los vehículos al final de su vida útil en Francia. Además, alianzas con fabricantes de autopartes y materiales para la industria automotriz también es primordial para lograr el objetivo e incrementar la tasa de recuperación de estos elementos.

En el caso del CNS y los agentes del contexto colombiano, y considerando la posición del CNS dentro de la cadena de valor de la industria automotriz colombiana (Ver **Figura 5**), se recomienda explorar las siguientes oportunidades:

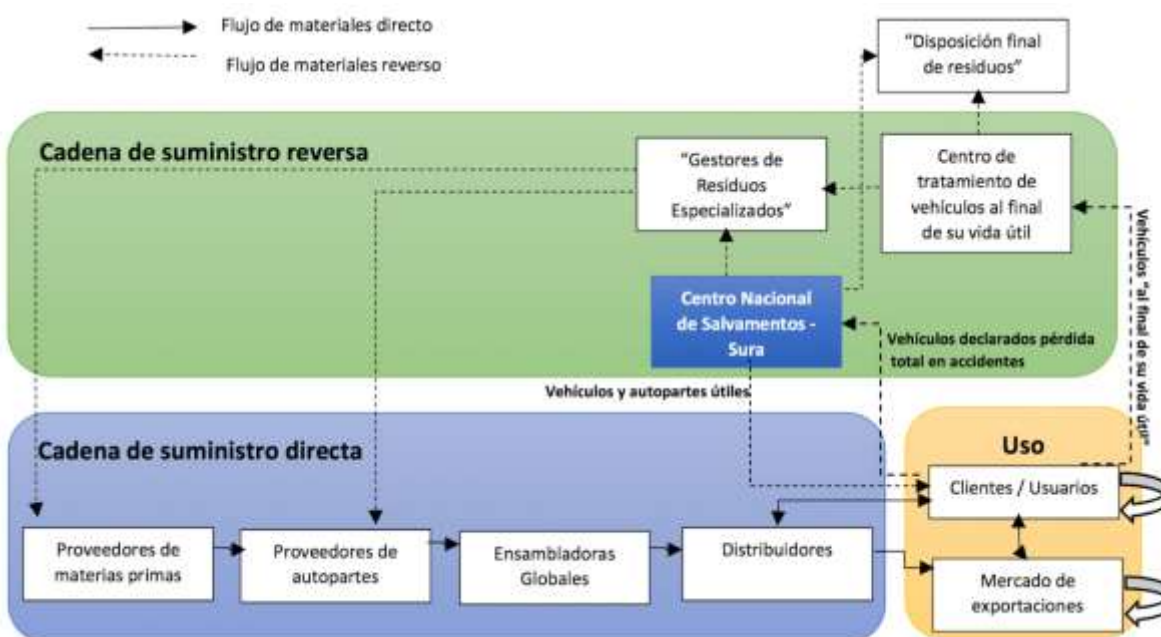


Figura 5. Posición del CNS en la cadena de valor automotriz colombiana

- **Ampliar la capacidad de operación para posicionarse como único centro de recuperación de vehículos en Colombia**, siguiendo un modelo similar al de INDRA. Para esto se justifica hacer un acercamiento por parte del CNS a INDRA para intercambiar experiencias y mejores prácticas y explorar posibilidades de cooperación con el objetivo

mutuo de querer lograr el 100% de recuperación de componentes y materiales de cada vehículo recibido en sus instalaciones y liderar la transición hacia una economía circular en sus respectivos países.

- **Explorar una posible colaboración con el Grupo Renault** en Colombia (SOFASA), dado que: **(1)** es quien ha estado liderando iniciativas de economía circular en otros contextos **(2)** cuenta con planta de ensamble en Envigado, Antioquia, lo que facilita cerrar el ciclo de materiales a nivel local y **(3)** gran parte de los vehículos recolectados en el CNS pertenecen a marcas de la Alianza (Renault, Nissan y Mitsubishi).
- Una vez seleccionados los materiales y/o partes de los cuales se quiere optimizar la tasa de recuperación, se plantea acercarse a posibles **aliados en la industria nacional que fabriquen estas partes o materiales** con el fin de implementar modelos que permitan cerrar el ciclo de los materiales.

3.2. Mejores prácticas de recuperación de materiales en vehículos convencionales de interés para el CNS

En este reporte se hizo una revisión extensiva de las prácticas a nivel mundial para la recuperación y valorización de materiales y partes provenientes de vehículos al final del uso, con el objetivo de comparar con las prácticas actuales del CNS y poder hacer recomendaciones de posibles mejoras para contribuir a migrar hacia modelos circulares.

Es importante aclarar que actualmente las diversas soluciones se han enfocado en el **reciclaje y la recuperación energética de materiales**. En Europa, debido a la legislación vigente, se ha estado implementando modelos que permitan **cerrar completamente el ciclo de los materiales** para ser utilizados varias veces en la industria automotriz. Esto quiere decir que trayendo a colación el gráfico desarrollado por Accenture, para la economía circular en la industria automotriz (ver **Figura 5**), estas soluciones se enmarcan en modelos de "Collection", "Recycling and energetic recovery (minimize)" y "Closed-loop recycling". Sin embargo, es importante tener en cuenta que dentro de una economía circular hay modelos de negocio, que son más eficientes (tales como la remanufactura) y que el objetivo final es migrar hacia modelos efectivos partiendo del diseño de automóviles y materiales pensados para una economía circular.

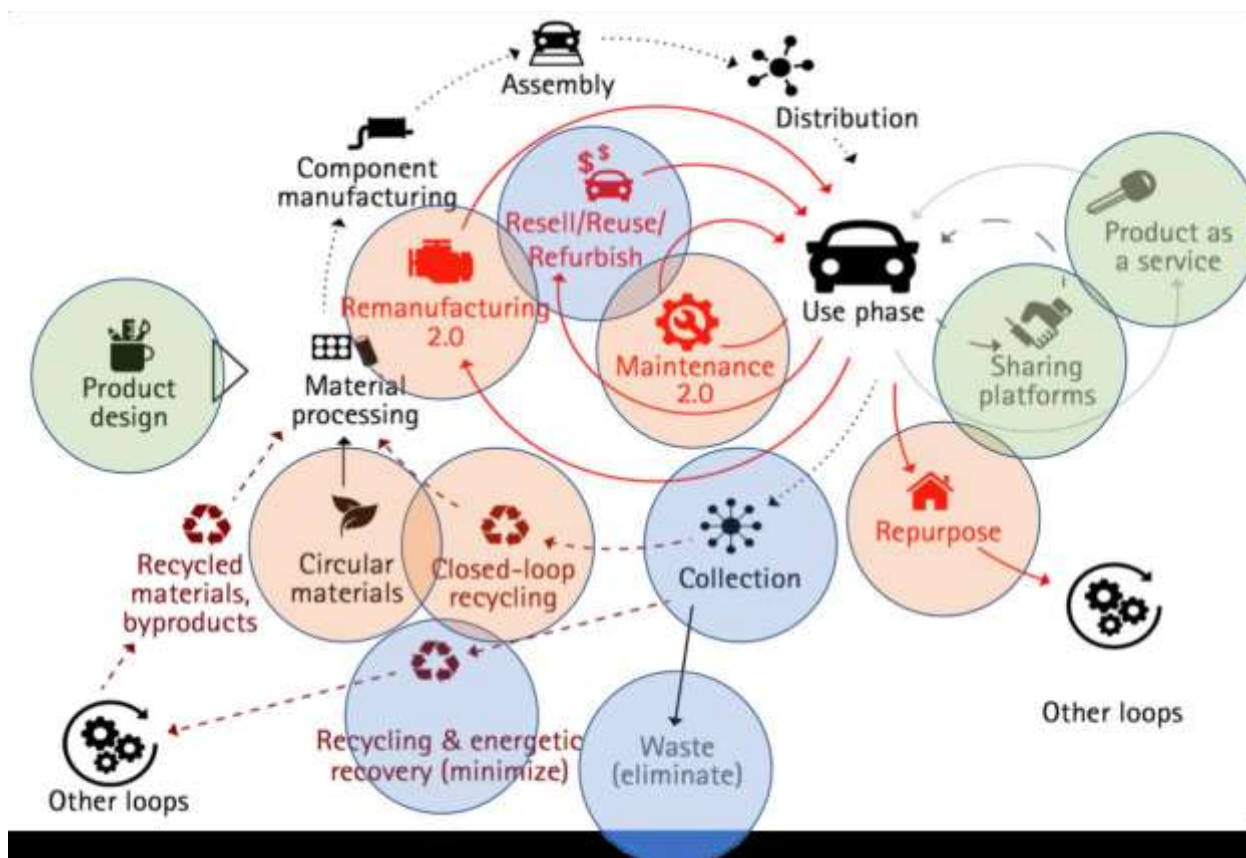


Figura 6. Futuro ecosistema circular del sector automotriz (modificado de Accenture Strategy 2017)

La **Tabla 2 presenta** las recomendaciones para el CNS de mejores prácticas enmarcadas dentro iniciativas de “Recolección”, “Reciclaje” y “Reciclaje en Ciclo Cerrado” que podrían implementarse para los materiales y/o partes provenientes de vehículos convencionales. Para poder desarrollar estas recomendaciones es importante priorizar cada una de las oportunidades e identificar socios clave que harían posible la ejecución de las mismas.

Tabla 2. Recomendaciones para la recuperación de materiales y partes de vehículos convencionales al final del uso

MATERIAL O PARTE	MEJOR PRÁCTICA DISPONIBLE	ANÁLISIS Y RECOMENDACIÓN PARA EL CNS
Acero Uso en carrocerías de vehículos convencionales	- Reciclaje cercano al 100% por proceso de trituración, separación magnética y fundición para producir acero nuevo - Remanufactura de partes elaboradas en aleaciones de acero - Reuso	La práctica actual en el CNS para los metales es la de vender como chatarra las partes metálicas provenientes de carrocerías para ser procesadas por la siderúrgica, quienes implementan procedimientos de reciclaje convencional o “downcycling”.

Aluminio Uso en motores de combustión interna y rines de vehículos convencionales	• “Downcycling”- Reciclaje para producir aluminio de fundición (con una pureza del 85%) • Desarrollo de tecnologías para obtener purezas superiores al 95%, para aplicaciones en vehículos eléctricos y vehículos más livianos.	Algunas recomendaciones para este material son: • Explorar la remanufactura de motores de combustión interna para su posterior comercialización • Hacer una separación de corrientes metálicas para impulsar la valorización de cada metal por separado, es decir acero, aluminio y cobre.
Cobre Uso en aleaciones del tren de potencia, transmisiones, motor, carrocerías y en los cables del vehículo	• El Cobre presente en aleaciones se somete recuperación por reciclaje igual que el aluminio con alta pureza. • El Cobre presente en los cables se recupera con una pureza del 99.99% con tecnología de clasificación óptica y separación de corrientes de Eddy. • Iniciativa de Ciclo Cerrado Corto, implementado por Renault.	
Polipropileno (PP) Uso en bumpers y gurdabarro	• Reciclaje con procesos que incluyen granulación y lavado • Proyectos de ciclo cerrado en Renault	La práctica actual de recuperación de plásticos en el CNS no distingue que tipo de material se está tratando. Las recomendaciones son las siguientes:
Polietileno (PE) Uso en carrocerías, tanques de gasolina y como aislamiento eléctrico	• Reciclaje con procesos que incluyen granulación y lavado	
Poliuretano (PUR) Uso en la silletería de los vehículos, tapetes, paneles de puertas, cubiertas de airbags y otros	• Reciclaje mecánico y recuperación como espuma de PU flexible troceada para alfombras, creación de molduras y tableros. • Reciclaje químico en donde se obtienen polioles que se utilizan en la síntesis de poliuretanos y como	

	combustibles, gases y aceites.	
Poliamida/ Nylon 6/6 Uso en cajas de engranajes, cojinetes, levas, rodamientos y recubrimientos a prueba de agua.	Reciclaje de poliamida para utilizar en autopartes	Explorar alianzas para reciclaje de espumas de poliuretano con fabricantes locales como Espumlátex ubicado en la ciudad de Bogotá
Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) Uso en consolas, cobertores de puertas, partes decorativas del interior del vehículo, bumpers, alojamiento de farolas y espejos	Reciclaje. Se deforma y se recupera el material por acción de la temperatura.	Explorar alianzas para reciclaje de Nylon con fabricantes locales como Enka ubicado en Girardota, Antioquia
Textiles de Sillas	Recolección y reciclaje de espumas y textiles para desarrollar paneles para aislamiento térmico y acústico.	Actualmente, no se encuentra con una práctica de recuperación de sillas en el CNS. Se recomienda: Explorar con aliados nacionales la implementación del modelo desarrollado por Renault en su proyecto VALTEX, para recuperación del material proveniente de sillas.
Cinturones de seguridad	Recolección y reciclaje para obtener hilos cardados que se utilizan después en interiores y tapicería de vehículos	Actualmente, no se encuentra con una práctica de recuperación de cinturones de seguridad en el CNS. Se recomienda: Explorar con aliados nacionales, como ENKA, la implementación del modelo desarrollado por Renault AFILER, para recuperación de hilos provenientes de cinturones de seguridad, para su posterior reinserción en la cadena de valor.
Cuerdas en llantas	Recuperación de las cuerdas presentes en las llantas las cuales encuentran aplicación en la producción de compuestos plásticos de PP para fabricar canecas de basura y la producción de asfalto reforzado	Actualmente, no se encuentra con una práctica de recuperación de cuerdas en llantas en el CNS. Se recomienda: Explorar con aliados nacionales, como ENKA, la implementación del modelo desarrollado en Europa, para recuperar las cuerdas provenientes de llantas y su posterior uso en otras aplicaciones.
Elastómeros: Llantas y sellos	Reciclaje mecánico por trituración y laminado para múltiples aplicaciones (ej: parques infantiles)	En Colombia, se identificó la empresa CAELCA SAS, que tiene la experiencia en transformar caucho en productos con un siguiente propósito y valor. Se recomienda acercarse a esta empresa para explorar maneras de

	• Producción de combustibles derivados de neumáticos para hornos de cemento: Waste-to-Energy • Reparación y reuso de llantas • Remanufactura de llantas y modelos de "Producto como Servicio" • Producción de "Polvo Micronizado de caucho" a través de procesos fisicoquímicos el cual puede utilizarse como material virgen para fabricación de productos de caucho.	valorización del caucho recuperado en las operaciones del CNS que actualmente no están siendo aprovechados. Otros actores a acercar para explorar posibles soluciones son Huella Urbana Ambiental S.A.S y Hulex
Baterías Acido-Plomo	• Reciclaje convencional de baterías	En las baterías de ácido-plomo existen pocas alternativas mejores a las que SURA actualmente tiene para la gestión de estos componentes.
Convertidores catalíticos	• Reciclaje para la recuperación de metales preciosos (Paladio, Rodio y Platino)	Actualmente no hay una práctica en el CNS para recuperación de estos componentes. Algunas empresas dedicadas a la recuperación de metales preciosos de los convertidores catalíticos son la inglesa SAR Group que tiene una subsidiaria en Brasil y en Colombia la empresa CATEX ubicada en Medellín se dedica al reciclaje de estos convertidores. Se recomienda acercar a estos actores para posibles alianzas.
Vidrio de parabrisas	• Reciclaje para recuperación de vidrio que se utiliza como concreto, fibra de vidrio y asfalto y PVB que se utiliza como adhesivo.	Actualmente no hay una práctica en el CNS para recuperación de estos componentes. Se recomienda acercar la subsidiaria en Colombia de Saint-Gobain Sekurit para explorar posibilidades de reciclaje de este material.

