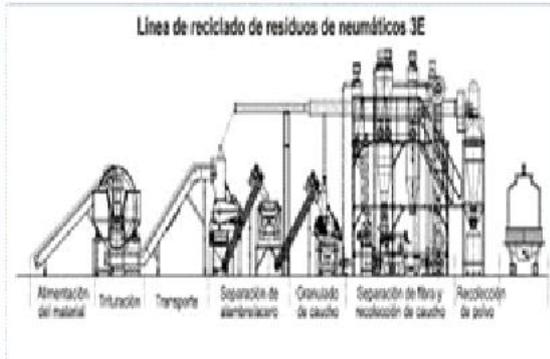




DESARROLLO ESTRATÉGICO SUSTENTABLE ANÁLISIS DE LOS NFU PARA UNA PROPUESTA SUPERADORA



Gustavo Tapia - Daniel Miliá – Gabriel R. Feldman - Gabriel L. Sánchez -
David Ruíz Díaz - Graciela Fuertes - Guillermo Monteverde –
Mariel Balmaceda - Ivana Andrada

Desarrollo estratégico sustentable: análisis de los NFU para una propuesta superadora / Gustavo Norberto Tapia ... [et al.]. - 1ª. Edición ampliada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Económicas, 2025.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-950-29-2055-9

1. Aceleración de la Inversión. 2. Agricultura Sustentable. 3. Tecnología. I. Tapia, Gustavo Norberto CDD 338.1762

ISBN 978-950-29-2055-9



DESARROLLO ESTRATÉGICO

PDE 2024-2025

RESCS-2023-1854-E-UBA-REC

FCE – UBA

**RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO.
Valuación económica social y ambiental.**

Director: Gustavo Tapia

Codirector: Daniel Miliá

SOBRE EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TÍTULO

RECICLADO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO. VALUACIÓN ECONÓMICA SOCIAL Y AMBIENTAL.

PROYECTO DE DESARROLLO ESTRATÉGICO PDE_23_2024 / EX 2023 – 02810510 – UBA – DEM # REC - años 2024 – 2025

CENTRO DE INVESTIGACIÓN PARA EL ANÁLISIS FINANCIERO – CEPAF – FCE – UBA

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Director:	Gustavo Tapia
Codirector:	Daniel Miliá
Investigador formado:	Gabriel Feldman Gabriel Leandro Sánchez
Investigador en formación:	David Ruíz Díaz Mariel Balmaceda
Investigadores asesores:	Graciela Fuertes Guillermo Monteverde Ivana Andrada

TEMÁTICA – OBJETIVOS DESARROLLO SUSTENTABLE

SUSTENTABILIDAD – ECONOMÍA – FINANZAS – TRIPLE IMPACTO – VALUACION SOCIO AMBIENTAL – ECOEFICIENCIA

ODS: 3 Salud y Bienestar - 7 Energía asequible y no contaminante - 8 Trabajo decente y crecimiento económico - 9 Industria, innovación e infraestructura - 12 Producción y consumo responsables

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el triple impacto económico – social – ambiental del reciclado de residuos de los neumáticos fuera de uso -NFU-, y evaluar las acciones estratégicas y soluciones a los problemas socioambientales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar y proponer el diseño e implementación de una planta de reciclaje de caucho vulcanizado que produzca caucho sintético molido de alta calidad a partir de neumáticos usados.
2. Establecer circuitos de recolección eficientes y seguros con cobertura nacional cubriendo las etapas de recepción, recolección, almacenamiento y eliminación.
3. Proponer mecanismos de trazabilidad de los procesos y concientización sobre la gestión de los residuos para los eslabones directos de la cadena, como también para los consumidores y comunidad. Difundir las buenas prácticas comerciales emergentes de la actividad del reciclado de NFU
4. Determinar con precisión roles y responsabilidades de los agentes generadores, los tenedores de NFU, los comercializadores y distribuidores de neumáticos, las empresas de transporte, los organismos del Estado con flota propia, los fabricantes de neumáticos, las instituciones tecnológicas (INTI), Cámaras empresarias (CIN) Organismos públicos municipales, provinciales y nacionales. ONG destinadas al medioambiente, los agentes recicladores y el *scrap* de fábricas, empresas de la industria petroquímica y actividad de la construcción.

PRÓLOGO

La gestión de los residuos sólidos urbanos es uno de los desafíos ambientales más apremiantes del siglo XXI. Dentro de esta problemática, los neumáticos fuera de uso (NFU) constituyen un residuo particularmente complejo. Su volumen, su resistencia a la degradación y los riesgos que implican para la salud y el ambiente los convierten en un punto crítico de intervención para cualquier estrategia de desarrollo sostenible.

Este libro nace en el marco del Proyecto de Desarrollo Estratégico (PDE 2024–2025) impulsado por el Centro de Investigación para el Análisis Financiero (CEPAF) de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires, con el objetivo de aportar una mirada integral sobre el reciclado de neumáticos fuera de uso en Argentina. A través de un enfoque multidisciplinario que articula economía, finanzas, medio ambiente y políticas públicas, el equipo de investigación se propone no solo diagnosticar una situación crítica, sino también ofrecer herramientas y propuestas concretas para su abordaje.

La obra recorre un amplio espectro de dimensiones: desde las características técnicas de los materiales que componen un neumático, pasando por el análisis normativo y comparado con otros países de la región y del mundo, hasta llegar a estudios de caso de plantas recicladoras, circuitos logísticos de recolección, estrategias de trazabilidad y modelos de gestión basados en la responsabilidad extendida del productor. Asimismo, se desarrollan estimaciones de impacto ambiental, económico y social, y se formula una propuesta genérica para el diseño e implementación de una planta recicladora, contribuyendo así a la construcción de evidencia útil para la toma de decisiones tanto en el sector público como en el privado.

Este libro, es una invitación a pensar el desarrollo desde una perspectiva de triple impacto. El reciclaje de NFU es una solución ambiental, pero sobre todo constituye una oportunidad económica con formulaciones estratégicas de inclusión social. Promover la creación de empleo verde, reducir las emisiones contaminantes y revalorizar materiales -que hoy terminan en basurales a cielo abierto- no debería ser una opción, sino un imperativo ético, técnico y económico.

Esperamos que estas páginas contribuyan a abrir nuevas conversaciones y debates, que inspiren políticas públicas ambiciosas y sirvan como herramienta práctica para quienes, desde distintos sectores, están comprometidos y porque no involucrados con un futuro más justo y sustentable.

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Índice

SOBRE EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	4
PRÓLOGO	5
1. CONSIDERACIONES INICIALES.....	8
I. Reseña sobre la actividad NFU	8
II. Los números de los neumáticos fuera de uso.....	21
III. Antecedentes normativos en argentina	30
IV. Qué hacen (y qué no) los fabricantes con los neumáticos fuera de uso en Argentina	37
V. Hacia una ley de responsabilidad del productor	39
VI. Situaciones críticas – problemas	41
VII. Propuestas – soluciones.....	50
VIII. Las opciones de aprovechamiento de los NFU desde la lógica del cuidado ambiental: la pirámide de jerarquización tecnológica	80
IX. Aplicaciones del caucho reciclado	84
Fuentes bibliográficas.....	114
Contactos	125
2. PLANTA RECICLADORA DE NEUMATICOS FUERA DE USO- CASO DE ESTUDIO GENÉRICO	128
I. Introducción	128
II. Impacto ambiental.....	129
III. Segmento de clientes y propuesta de valor	129
IV. Canales de distribución y relaciones con los clientes	131
V. Fuentes de ingresos	133
VI. Recursos, actividades y socios claves.....	134
VII. Estructura de costos y plan de inversión	137
VIII. Fundamento económico para la inversión de planta recicladora NFU	140
3. CIRCUITO DE RECOLECCIÓN Y LOGÍSTICA.....	145
I. Circuito de recolección	145
II. Mapeo de generadores y centros de acopio transitorios	146
III. Logística de Insumo	152
IV. Logística de Producto.....	156
V. Consideraciones finales.....	158
Fuentes bibliográficas.....	159
4. TRAZABILIDAD EN LOS PROCESOS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE NFU	161
I. Tecnología para la trazabilidad	161

II.	Eslabones de la cadena NFU	164
III.	Concientización de los consumidores y de la comunidad	165
IV.	Gestión de los residuos - orientado a NFU.....	166
V.	Huella ecológica – impacto ambiental NFU: la huella de carbono	169
VI.	Triple impacto y cadena de valor.....	172
VII.	Buenas prácticas comerciales en actividad NFU	180
VIII.	Modelos de gestión de los NFU	181
IX.	Difusión y transferencia de conocimientos.....	182
	Fuentes bibliográficas.....	183
5.	ROLES Y RESPONSABILIDADES DE LOS STAKEHOLDERS VINCULADOS A NFU.....	186
I.	Problemática de los NFU como punto de partida de roles y responsabilidades.	186
II.	Normativas y regulaciones	190
III.	Obstáculos y recomendaciones propuestas	193
	Fuentes bibliográficas.....	196
	ANEXO: VALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA – PLANTA NFU	198

1. CONSIDERACIONES INICIALES

I. Reseña sobre la actividad NFU

Los polímeros, como el caucho, son sustancias químicas de origen natural o sintético compuestos por una o varias unidades químicas, denominadas monómeros, unidas mediante enlace covalente en un patrón de repetición. El término polímero engloba a los polímeros naturales y a los sintéticos, pudiendo ser tanto orgánicos como inorgánicos. La humanidad a utilizado en primer lugar los polímeros naturales como el caucho natural, ceras y resinas, y posteriormente se han desarrollado los termoplásticos modernos como el caucho vulcanizado o el poliestireno.

El caucho natural es un producto proveniente del látex que producen algunas especies vegetales como defensa ante heridas en la corteza de su tronco. Es una mezcla de grasas, ciertas proteínas, hidrocarburos y azúcares de origen vegetal. Dependiendo de la especie vegetal el caucho está presente entre un 80% y un 95% siendo principalmente un polímero del isopreno. Los principales árboles de extracción del látex son las euforbiáceas del género *Hevea*, siendo la más típica la *Hevea brasiliensis*, originario de la cuenca hidrográfica del Amazonas (Martín, 2015).

El caucho sintético es elaborado artificialmente a partir de refinados petrolíferos, que tiene unas propiedades similares a las del caucho, siendo capaz de sufrir una deformación elástica mucho mayor que otros materiales y aun así recuperar su forma original sin deformación permanente. Este material es elaborado a partir de la polimerización de variedad de monómeros entre los que se incluye el isopreno y el *isobutileno*. Mediante el añadido de adicciones controladas, pueden modificarse diferentes propiedades físicas, mecánicas y químicas. En 1931 aparece el primer caucho sintético desarrollado con éxito bajo el nombre de Neopreno. Posteriormente se perfeccionaron los componentes y se generó una versión más barata y rentable, el *Ameripolen* 1940, surgiendo luego el caucho estireno-butadieno, frecuentemente abreviado SBR (del inglés *Styrene-Butadiene Rubber*) que es obtenido mediante la polimerización de una mezcla de estireno y de butadieno (Martín, 2015).

Los polímeros se clasifican según su respuesta termo-mecánica en: elastómeros, termoplásticos y termoestables. Los elastómeros (o cauchos o hules) se caracterizan por una extensibilidad de largo alcance que es casi completamente reversible a temperatura ambiente. Dentro de los elastómeros se ubican el caucho natural y el caucho sintético.

Elastómeros	Cauchos naturales	Estireno-butadieno (SBR)
	Cauchos sintéticos	Polibutadieno (BR)
		Isopreno
		Etileno-propileno (EPM-EPDM)
		Isobutileno-isopreno (IIR)
		Cauchos de nitrilo (NBR)
		Policloropreno (neopreno)
		Cauchos fluorados (CFM-FKM)
		Cauchos de silicona (Q)
		Termoplásticos

Fuente: Tipos de elastómeros Cano Serrano

Un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo. El caucho, durante el proceso de vulcanización, sufre reacciones químicas que son irreversibles, por lo tanto, no es posible utilizar el caucho reciclado en la fabricación de neumáticos nuevos (Díaz, 2008). El método de vulcanizado aprovecha la presencia de azufre en los componentes del caucho sintético y le aplica alta presión durante diez minutos a una temperatura de 170°C (Martín, 2015).

El problema del tratamiento correcto de los neumáticos fuera de uso (NFU) hoy en día es más actual que nunca. Las tres alternativas de tratamiento posibilitan distintos tipos de aplicación: la primera fase permite reducir el tamaño (trituración) con la finalidad de disminuir el volumen para facilitar el almacenamiento o para su valorización energética como combustible alternativo. Con la segunda fase se realiza una posterior trituración con una granulación de hasta 20mm (chip) y la separación del hierro y la fibra textil: el material, además de la valorización energética, puede ser utilizado como capa inferior en obras civiles o industriales. Con el tercer nivel de tratamiento se obtiene una materia prima secundaria (gránulos de goma de 0 a 4 mm) del 99% de pureza, ideal para suelos antigolpes, mobiliario urbano, mezclas para asfalto drenante, aplicaciones para paneles aislantes y fonoabsorbentes.

Considerando su composición, los neumáticos se componen de: caucho 45%, negro de humo 21%, acero 30%, aditivos varios 8%, textil 4%, óxidos zinc 1%, azufre 1%. Son estables químicamente, por lo que tienen una baja biodegradabilidad. Con un poder calorífico alto de 8300 kcal/kg, un neumático medio generaría la energía equivalente a 10 y 12 kilos de carbón o bien 7,5 litros de petróleo, de ahí el interés por las empresas en quemarlos.

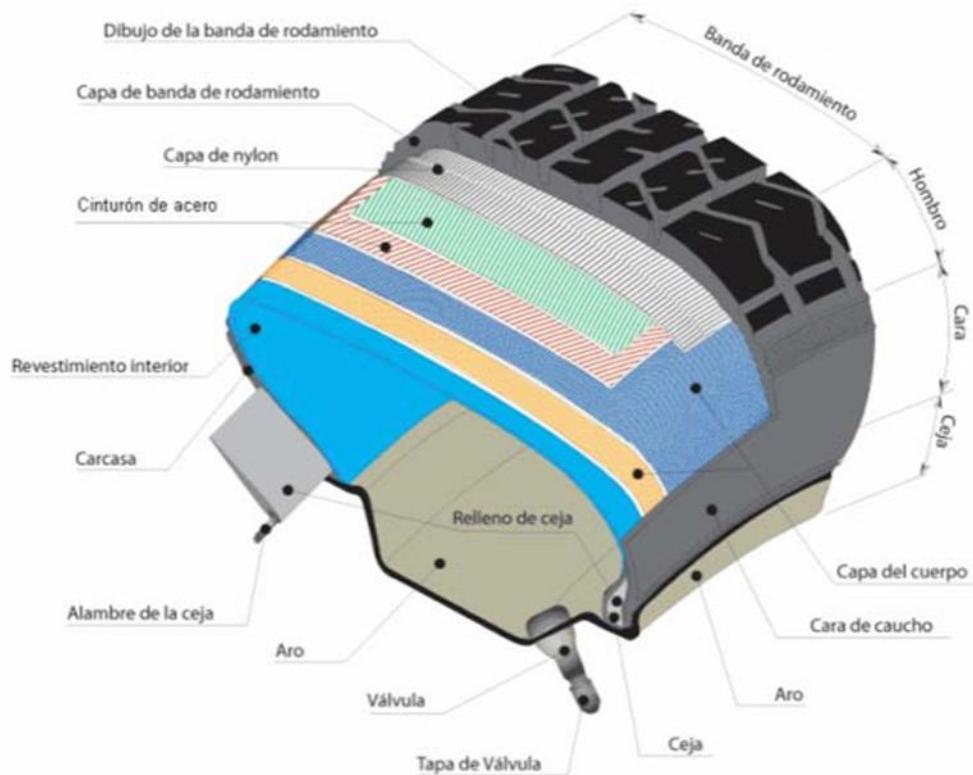


Diagrama de un neumático. Fuente: Diaz, 2008

Composición y características de los diferentes tipos de neumáticos
Neumáticos de Pasajeros (automóviles y camionetas)

Caucho natural	14 %
Caucho sintético	27%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio:	8,6 Kg
Volumen	0.06 m ³

Neumáticos MCT (camiones y microbuses)

Caucho Natural	27 %
Caucho sintético	14%
Carbón negro	28%
Acero	14 - 15%
Fibra, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio	45,4 Kg.
Volumen	0.36 m ³

Fuente: Diaz, 2008.

Composición aproximad de un neumático de automóvil en peso

Caucho	62,0
Betún	3,0
Óxido de zinc	3,0
Negro de humo	25,0
Ácido esteartico	2,5
Alquitrán pino	1,3
Azufre	2,0
Antioxidante	0,6
Acelerador	0,6
Total	100,0

Fuente: www.goodyear.cl

Fuente: Diaz, 2008

Composición media en peso de un neumático de turismo y un neumático de camión

COMPONENTE	Neumático de turismo % en peso	Neumático de camión % en peso
Caucho/Elastómeros	43%	42%
Negro de Carbono y Sílice	28%	24%
Acero	13%	25%
Textil	5%	-
Óxido de Zinc	2%	2%
Azufre	1%	1%
Acelerantes/antioxidantes	2,5%	2,2%
Ácido esteárico	1%	0,7%
Aceites	7%	1,6%

Fuente: Pérez Aparicio y Saiz Rodríguez, 2018

CEPAL: Responsabilidad extendida al productor

América Latina: países y productos con normativa relacionada con la responsabilidad extendida del productor

País	Pilas y baterías	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Envases	Vehículos	Neumáticos	Aceites lubricantes	Otros productos
Argentina	Proyecto de ley S-2561/14 Proyecto de ley 1874-D-2019	Proyecto de ley S-0934/10 Proyecto de ley 2048-D-2014 Proyecto de ley S-3421/15	Ley núm. 2729 ^a ^b Proyecto de ley S-3279/16		Resolución núm. 523/2013 Proyecto de ley 1874-D-2019	Proyecto de ley 1874-D-2019	Proyecto de ley 1874-D-2019
Bolivia (Estado Plurinacional de)	Ley núm. 755 (2015)	Decreto supremo núm. 2954 (2016)	Ley núm. 755 (2015)		Ley núm. 755 (2015)		Ley núm. 755 (2015)
Brasil	Ley núm. 12305 (2010) ^a	Ley núm. 12305 (2010) ^a	Ley núm. 12305 (2010) ^a Decreto núm. 10240 (2020) ^a		Ley núm. 12305 (2010) ^a	Ley núm. 12305 (2010) ^a	Ley núm. 12305 (2010) ^a
Chile	Ley núm. 20920 (2016) ^a Resolución núm. 1422 exenta (2021)	Ley núm. 20920 (2016) ^a	Ley núm. 20920 (2016) ^a Decreto núm. 12 (2021)		Ley núm. 20.920 (2016) ^a Decreto núm. 8 (2021)	Ley núm. 20.920 (2016) ^a Resolución núm. 129 exenta (2020)	Ley núm. 20920 (2016) ^a Resolución núm. 425 exenta (2017) y resolución núm. 483 exenta (2017)
Colombia	Resolución núm. 0372 (2009) ^c Resolución núm. 1297 (2010) ^d	Resolución núm. 1512 (2010) Ley núm. 1672 (2013) Decreto núm. 1076 (2015) Decreto núm. 284 (2018)	Resolución núm. 1675 (2013) Resolución núm. 1407 (2018) Proyecto de ley núm. 106 (2017)		Resolución núm. 1457 (2010) Resolución núm. 1326 (2017)	Proyecto de ley núm. 106 (2017)	Decreto núm. 4741 (2005) Resolución núm. 0371 (2009) Resolución núm. 1511 (2010)
Costa Rica	Decreto núm. 38272-5 (2014) ^a	Decreto núm. 35933-5 (2010) Decreto núm. 38272-5 (2014)	Ley núm. 8839 (2010) Decreto núm. 38272-5 (2014)		Decreto núm. 33745-5 (2007) Decreto núm. 38272-5 (2014)	Decreto núm. 38272-5 (2014)	Ley núm. 8839 (2010) Decreto núm. 38272 (2014)
Ecuador	Acuerdo Ministerial núm. 022 (2013) ^f	Acuerdo Ministerial núm. 190 (2013) Acuerdo Ministerial núm. 191 (2013) ^g	Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos del Estado (Registro Oficial, N° 583, 2011) Acuerdo Ministerial núm. 121 (2016)		Acuerdo Ministerial núm. 098 (2015)	Acuerdo Ministerial núm. 042 (2019)	Acuerdo Ministerial núm. 021 (2013) Acuerdo Ministerial núm. 191 (2013) Código Orgánico del Ambiente (2017)
El Salvador		Decreto núm. 527 (2020)			Decreto núm. 527 (2020)		Decreto núm. 527 (2020) Decreto núm. 41 (2000)
Guatemala	Iniciativa de ley núm. 5202 (2016)	Iniciativa de ley núm. 5202 (2016)	Iniciativa de ley núm. 5202 (2016)		Iniciativa de ley núm. 5202 (2016)	Iniciativa de ley núm. 5202 (2016)	Iniciativa de ley núm. 5202 (2016)

Cuadro 6 (conclusión)

País	Pilas y baterías	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	Envases	Vehículos	Neumáticos	Aceites lubricantes	Otros productos
Honduras	Acuerdo Ejecutivo núm. 1567-2010						Acuerdo Ejecutivo núm. 1567-2010
México	Acuerdo por el que se modifica la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 (2014) ^a Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (2006)	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) ^a	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) ^a	Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 (2013) ^a	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) ^a	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) ^a	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003) ^a Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (2006)
Panamá					Anteproyecto de ley núm. 089 (2019)		Proyecto de ley núm. 607 (2018)
Paraguay	Ley núm. 5882 (2017) ^f				Resolución núm. 627/16		
Perú		Decreto Supremo 009-2019-MINAM Decreto Supremo 014-2019-EM	Ley núm. 30884 (2018) Decreto Supremo núm. 014-2017-MINAM				
República Dominicana	Ley núm. 225-20	Ley núm. 225-20	Ley núm. 225-20		Ley núm. 225-20	Ley núm. 225-20	Ley núm. 225-20
Uruguay	Decreto núm. 373/003 ^h Ley núm. 19829 (2019)	Ley núm. 19829 (2019)	Ley núm. 19829 (2019) Ley núm. 17849 (2004)	Ley núm. 19829 (2019)	Ley núm. 19829 (2019) Decreto núm. 358/015	Ley núm. 19829 (2019)	Ley núm. 19829 (2019)

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de las legislaciones de los respectivos países.

^a Ley de responsabilidad compartida.

^b Envases fitosanitarios.

^c Baterías usadas de plomo-ácido.

^d Pilas o acumuladores.

^e Baterías de ácido-plomo; pilas de reloj; pilas: carbón-manganeso, carbón-zinc, litio-cadmio, litio y zinc (entre los residuos declarados de manejo especial).

^f Pilas con óxido de mercurio, pilas: níquel-cadmio, níquel-hidruro metálico, níquel-hierro, ion-litio.

^g Específico sobre celulares.

^h Pilas clasificadas como de manejo especial son las que contienen: litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc, entre otros.

ⁱ Baterías de vehículos, celdas y pilas.

^j Responsabilidad extendida del productor no mencionada explícitamente.

^k Baterías o acumuladores eléctricos de plomo-ácido.

Fuente: CEPAL, 2021, pág. 44-45

Anexo A1

Cuadro A1

América Latina: instrumentos de economía circular, gestión de residuos y responsabilidad extendida del productor

País	Economía circular	Gestión de residuos y reciclaje	Responsabilidad extendida del productor	Sectores específicos
Argentina	Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2005)	Ley núm. 25916 de gestión integral de residuos domiciliarios (2004) Ley núm. 1854: Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos reglamentada en 2007 (Ley "Basura Cero") de Buenos Aires (Ciudad de Buenos Aires, 2006) Plan Estratégico Provincial de Gestión de Residuos hacia la Economía Circular (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016)	Proyecto de ley 1874-D-2019 Presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de residuos mediante la responsabilidad extendida del productor (REP), que contempla varios productos: - Aceites vegetales usados y sus envases - Aceites minerales usados y sus envases - Aparatos eléctricos y electrónicos en desuso y sus componentes, accesorios y consumibles - Pilas y baterías portátiles - Luminarias - Cartuchos y tonners - Medicamentos vencidos y envases de medicamentos - Neumáticos fuera de uso - Instrumentos que contengan mercurio - Acumuladores de ácido plomo (2019) Ley núm. 27279 de protección ambiental para la gestión de envases vacíos de fitosanitarios (2016) Resolución núm. 523/2013: Manejo Sustentable de Neumáticos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013)	Ley núm. 13868: prohibición en la Provincia de Buenos Aires al uso de bolsas de polietileno (Provincia de Buenos Aires, 2008) Resolución 816/ MAYEPGC/19: prohibición en la utilización, entrega y expendio de sorbetes plásticos de un solo uso, en Buenos Aires (Ciudad de Buenos Aires, 2019) Proyecto de ley S-2561/14: gestión de pilas y baterías primarias y secundarias usadas (2014) Resolución núm. 189/2019- Estrategia Nacional de Gestión Sustentable de Residuos Especiales de Generación Universal (REGU) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019) Proyecto de ley 2048-D-2014- Gestión Integral de Residuos Eléctricos y Electrónicos (2014) Proyecto de ley S-3421/15: presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) y de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (2015) A nivel nacional se aplica la Ley núm. 24051 de residuos peligrosos (1992) Ley núm. 2807: gestión sustentable de los aparatos electrónicos en desuso en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Ciudad de Buenos Aires, 2008) Ley núm. 14321: gestión sustentable de RAEE en el territorio de la Provincia de Buenos Aires (Provincia de Buenos Aires, 2011) Proyecto de ley S-3279/16: gestión ambiental de los envases y sus residuos (2016)

Fuente Cepal 2021

Países y regiones

ECUADOR

En Ecuador, se desechan alrededor de 2.4 millones de neumáticos al año, lo que ocasiona, la contaminación de fuentes hídricas, márgenes de vías y terrenos baldíos (Cárdenas Peralta y Guncay Bustos, 2023). Como respuesta a esta situación, en el cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha, para gestionar este residuo se plantearon rutas de recolección que abarcan todos los generadores de llantas usadas dentro del cantón. Luego, los NFU son almacenados temporalmente en un centro de acopio, donde se separan dependiendo de sus condiciones y aptitud para reciclaje. Las llantas que están en buen estado son destinadas al reencauche, las que no son aptas para el reencauche se aplican en obras civiles o se destinan a la elaboración de productos artesanales y para su aprovechamiento energético (Carrillo Flor y Córdova Tafur, 2012).

El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013) como Autoridad Ambiental Nacional, ha establecido normas para poder gestionar a los NFU, para ello se expidió un Plan para Neumáticos Usados, cuyos principios están basados en la Responsabilidad Extendida de productores e importadores, para que puedan

establecer las medidas necesarias para gestionar los neumáticos luego de terminar su vida útil y darle su respectiva disposición final. El Acuerdo Ministerial 098 (2015) hace mención a la Responsabilidad Extendida, en donde productores como importadores son responsables de los neumáticos usados durante todo el ciclo de vida, esto incluye todos los impactos que pudiera ocasionar desde su producción hasta su disposición final (Mayorga Cárdenas et al., 2020, pág. 45).

URUGUAY

GENEU (Gestión de Neumáticos Usados), es el Plan Maestro de Gestión de Neumáticos y Cámaras Fuera de Uso de CECONEU, aprobado por DINAMA a través de la resolución 451/2016. Creado para el tratamiento y valorización de los NCFU, cumple con los requisitos del decreto 358/2015 de DINAMA generando un proceso eficiente de planificación, implementación y control del flujo de los NCFU desde el punto de eliminación al punto de procesamiento, solucionando la problemática ambiental y sanitaria que generan.

Destinos finales		
<p>CONSTRUCCIÓN</p> <p>Neumáticos rellenos con tierra y distribuidos como ladrillos para proyectos de construcción sustentable.</p>	<p>INDUSTRIALIZACIÓN</p> <p>Se trituran, separan sus componentes y se produce granulado de caucho. Materia prima con múltiples aplicaciones.</p>	<p>PROYECTOS</p> <p>Desarrollo de equipamiento para espacios tipo plazas mediante jornadas participativas.</p>
<p>ARTE Y DISEÑO</p> <p>Asesoramos y entregamos NCFU a emprendedores que realizan diversos productos e indumentaria.</p>	<p>INVESTIGACIÓN</p> <p>Vínculos con estudiantes y profesionales para el desarrollo de novedades con este material.</p>	<p>RECAUCHUTAJE</p> <p>Los neumáticos que pueden ser reconstruidos son entregados a empresas recauchutadoras.</p>

Marco Teórico

2.1 El Plan GENEU

Descripción, Funcionamiento, Actores vinculados, Financiación y Mecanismos de Control.



GENEU (Gestión de Neumáticos Usados), es el Plan Maestro de Gestión de Neumáticos y Cámaras Fuera de Uso (NCFU) de CECONEU, aprobado por DINAMA a través de la resolución 451/2016".

Fue creado específicamente para el tratamiento y reutilización de NCFU y, cumple con los requisitos del decreto 358/2015 de DINAMA generando un proceso eficiente de planificación, implementación y control del flujo de los NCFU desde el punto de eliminación al punto de procesamiento, solucionando la problemática ambiental y sanitaria que generan.

GENEU es un plan 100 % uruguayo, amigable con el medio ambiente, y con su mirada puesta en el cuidado y la salud ambiental del país.

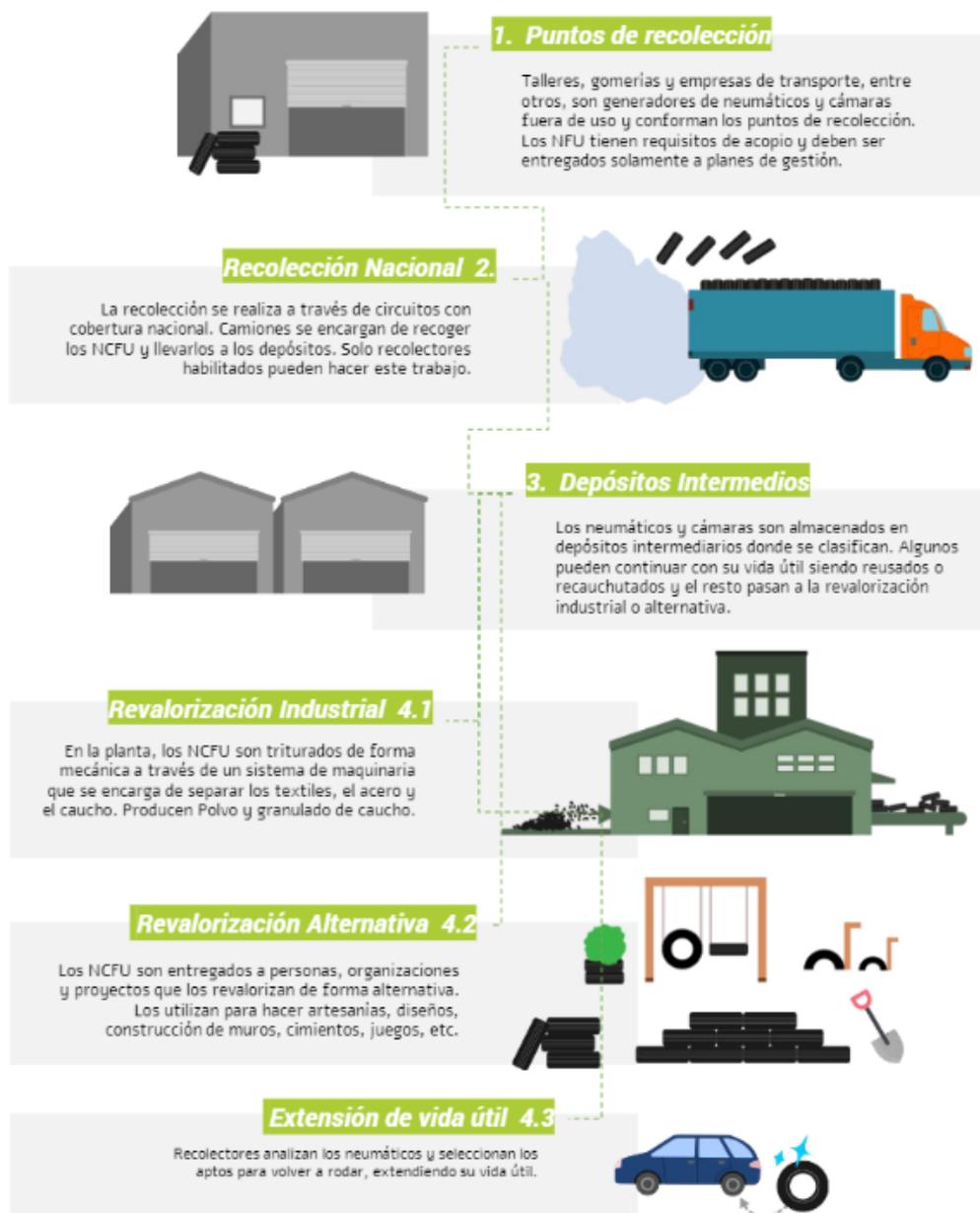
GENEU es un plan elaborado por CECONEU - Centro de Comerciantes en Neumáticos del Uruguay y Ramas Afines -, una gremial sin fines de lucro que, desde 1926, vincula comerciantes de neumáticos de todo el país, entre ellos: gomerías, talleres, servicentros, lavaderos, estaciones de servicio, importadores y empresas de transporte.



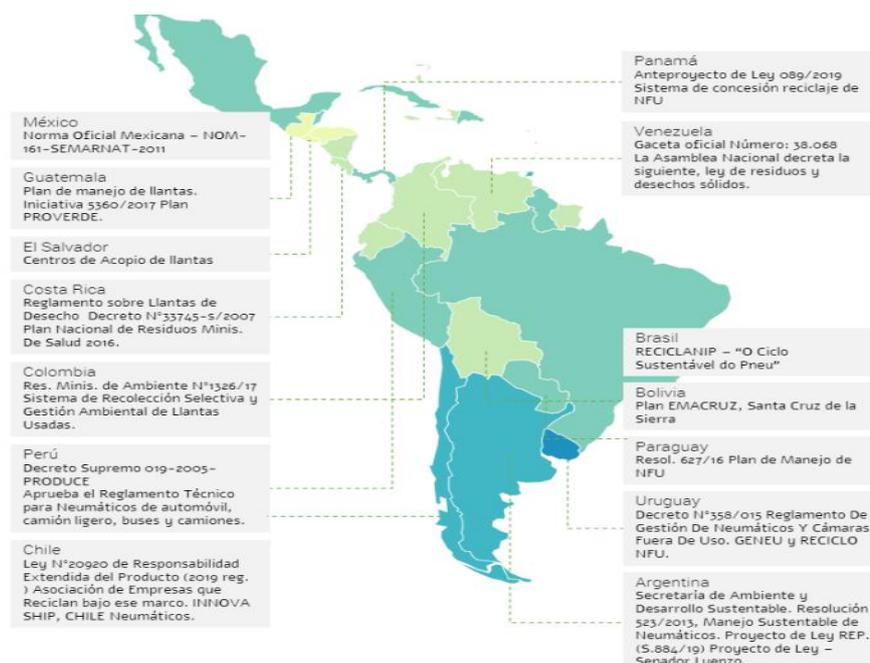
Murillo 2544. Montevideo, Uruguay.
ceconeu@ceconeu.com.uy
2200 91 92 | 091 31 32 90
www.ceconeu.com.uy

Objetivo del plan

Desarrollar un proceso eficiente de planificación,



Fuente: <https://geneu.com.uy/geneu/documentacion/informe-2020/>



Situación de la gestión		ARG	BR	CHIL	PER	COL	UY	PY	BOL	ECU
Normativa	¿Existe normativa nacional para la gestión de los NFU?	No	No	Si	Si	Si	Si	Si* no está en uso	No	Si
	¿Existe normativa regional o local para la gestión de los NFU?	Si* algún municipio	Si* algunos estados	-	-	-	-	-	-	-
	En caso de respuesta positiva, ¿la normativa para la gestión de los NFU esta en periodo de ejecución?	-	-	No	Si	Si* algunas alcaldías	Si	-	-	Si* algunos estados
	¿Existen obligaciones para importadores o productores de neumáticos para la gestión de los mismos al momento en que termina su "vida útil"?	No	No	No* aún	Si	No	Si	-	-	No
	¿Existen obligaciones para usuarios de los neumáticos para la gestión de los mismos al momento en que termina su "vida útil"?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	-	-	Si
	¿Existen obligaciones de cumplimiento en cuanto a cantidades de recolección?	No	No	No* aún	Si	Si	Si	-	-	No
	¿Se define la responsabilidad de internalizar los costos por parte del importador, productor o generador?	No	No	No* aún	Si	Si	Si	-	-	No
	¿Se define la responsabilidad de internalizar los costos por parte del usuario final?	No* aún	No* aún	No* aún	No* aún	No* aún	No* aún	No* aún	No* aún	No* aún
Para la internalización de los costos, ¿se define un sistema de impuestos?	Si las empresas pagan el servicio		No* aún	Si las empresas pagan el servicio		No	-	-	Si las empresas pagan el servicio	
Reciclar	La gestión del tratamiento para la eliminación del residuo, ¿es pública o privada?	Pública	Pública	Pública	Privada	Mixta	Privada	-	-	Mixta
	¿Se establecen metas definidas de reciclaje, revalorización o reutilización?	No	No	No* aún	No	Si	Si	Si* pero no está en uso	No	Si
Usos	¿Existen plantas industriales de transformación en funcionamiento?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	¿Existen emprendedores que utilicen el residuo para generar actividad comercial con él?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	¿Existen proyectos de construcción que utilicen el residuo como material?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Integración	Los recicladores, ¿se integran a la cadena logística?	Venden a empresas industrializadoras				Participan de la logística		Venden a empresas industrializadoras		Participan de la logística
	Las empresas que brindan servicios con neumáticos y emiten el residuo, ¿cobren los costos del retiro de los NFU de sus instalaciones?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si
Costos	¿Las empresas que brindan servicios de eliminación cobran por realizar este servicio?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si

<https://geneu.com.uy/geneu/documentacion/informe-2020/>

Decreto 358/2015: Gestión Ambientalmente Adecuada de los Neumáticos Fuera de Uso. Este Decreto del Poder Ejecutivo tiene dos grandes objetivos: desarrollar soluciones de gestión para neumáticos y cámaras fuera de uso que sean integrales, viables y sustentables desde el punto de vista económico, social y

ambiental; y reducir el número de neumáticos que son desechados, a través de, por ejemplo:

- Aumentar la vida útil mediante la calidad de los neumáticos comercializados.
- Promover los procesos de reutilización, reciclado y valorización de residuos.
- Aplicar las alternativas de tratamiento o disposición final como última opción.

El Decreto 358/2015 incentiva la participación del sector privado al asignar la responsabilidad de la gestión de estos residuos al sector importador/productor, que tendrá a su cargo la implementación de circuitos de gestión diferenciada de estos residuos y la promoción de prácticas de valorización.

Se establece que toda persona física o jurídica que importe o fabrique neumáticos o cámaras con destino al mercado nacional, ya sea para uso propio o de terceros, deberá elaborar un plan de gestión propio o adherir a un plan maestro existente. Desde julio de 2016, solo pueden importar, fabricar y comercializar neumáticos en el mercado nacional quienes cumplen con el requisito de contar o adherir a un plan maestro de gestión aprobado. Dentro de los planes de gestión se prioriza aquellos que sean grupales frente a los individuales y a los que propongan soluciones más eficientes y adaptadas a la realidad nacional. El Decreto distingue entre los diversos sujetos involucrados en la gestión y comercialización, asignándoles distintas obligaciones (OIT, 2017).

PERÚ

<https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2452205-regimen-especial-de-neumaticos-fuera-de-uso-nfu>

Ministerio del Ambiente. Régimen Especial Neumáticos Fuera de Uso (NFU)

En los últimos años, en Perú se ha registrado un incremento de estos bienes en el mercado. Así, en el 2014, ingresaron 55,673 toneladas de llantas, mientras en el 2018 se incrementó a 92,659 toneladas, ello por la necesidad de recambio del parque vehicular existente, ya sea en carretera o fuera de ella, las cuales posteriormente a su uso, se convierten en NFU. Los neumáticos son bienes de consumo masivo que, directa o indirectamente, inciden significativamente en la generación de residuos sólidos en volúmenes considerables, habiéndose identificado como problemática, el incremento de los neumáticos puestos en el mercado que influye en la generación de NFU, las insuficientes acciones de valorización de estos por falta de infraestructuras, la presencia de actividades informales de reciclaje, los altos costos de transporte de los neumáticos hacia las infraestructuras de residuos sólidos, la inadecuada disposición de los NFU, entre otros.

Cabe resaltar que los NFU cuentan con una alta posibilidad de valorización por lo que se debe priorizar su manejo a través de actividades como el reciclaje, trituración y picado, reencauche, reparación, coprocesamiento, entre otras alternativas disponibles en el mercado, antes que su disposición final. Por esta razón, se requiere de un manejo diferenciado bajo el principio de responsabilidad extendida del productor (REP), a fin de evitar posibles afectaciones al ambiente

y a la salud de la población por la presencia de puntos críticos a causa de la inadecuada disposición de sus residuos, emisiones de gases tóxicos por la quema de llantas, así como por el incremento de actividades informales vinculadas al manejo de NFU.

En ese sentido, los neumáticos fuera de uso cumplen con cuatro (4) de los criterios establecidos en el artículo 86 del Reglamento de la LGIRS para ser definido como un bien priorizado, los cuales son:

- ✓ identificación del origen y cadena de valor del residuo sólido del bien,
- ✓ volumen de generación de residuos sólidos asociado al bien,
- ✓ posibilidad de valorización de los residuos sólidos del bien,
- ✓ alternativas de tecnologías disponibles para su valorización material o energética.

Información general EUROPA

Hasta 2003, los neumáticos al final de su vida útil podían depositarse en vertederos con algunas excepciones. Esta práctica se prohíbe definitivamente en 2006 también para los neumáticos triturados por la Directiva de vertederos de la Unión Europea (Council Directive 1999/31/EC). En España, se desarrolló y publicó el Real Decreto 1619/2005 de 30 de diciembre de 2005 sobre gestión de NFU, que obliga a los productores a garantizar la recogida y correcta gestión de tantos NFU como neumáticos se introduzcan anualmente en el mercado de reposición (Pérez Aparicio y Saiz Rodríguez, 2018, pág. 12). Los principales fabricantes de neumáticos de España (BRIDGESTONE HISPANIA S.A., CONTINENTAL TIRES S.L., GOODYEAR DUNLOP TIRES ESPAÑA S.A., MICHELIN ESPAÑA Y PORTUGAL S.A., PIRELLI NEUMÁTICOS S.A.) participaron en la elaboración de este Real Decreto junto con distribuidores, gestores y otros sectores, acordando crear una entidad operacional sin ánimo de lucro que diera respuesta definitiva al difícil reto de garantizar la correcta gestión y valorización de los NFU bajo su responsabilidad, con el mayor respeto a las leyes y al medioambiente. Así surgió SIGNUS Ecovalor, del que pueden formar parte, como empresas adheridas y en igualdad de condiciones respecto de los socios fundadores, cualesquiera empresas productoras de neumáticos de reposición que lo soliciten. Actualmente son más de 300 las empresas adheridas a SIGNUS (Pérez Aparicio y Saiz Rodríguez, 2018, pág. 12).

ASTURIAS

https://weibold.com/?gad_source=1&gclid=Cj0KQCQjw2a6wBhCVARIsABPeH1tjTzsb82d9rTfLSK4cl9g_-uRbaiE0xh1-suLAAbbjzxx5HpV10tYaAtx3EALw_wcB
<https://coordinadoraecoloxista.org/el-problema-de-los-neumaticos-fuera-de-uso/>

En Asturias, de acuerdo con los datos oficiales se generan al año 6000 toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU) de las 250.000 que se tiran anualmente en España. Se cree que hay un stock histórico superior a los 4 millones de toneladas en todo el estado. En Asturias los neumáticos fuera de uso se vienen amontonando en talleres, fincas y la mayoría en el vertedero de Cogersa. Recientemente han empezado a aparecer proyectos empresariales para su reciclado:

- ✓ Planta de reciclado electromecánico Gescometal con capacidad 8.000 Tn/año en Riaño que se dedica a su recogida y trituración.
- ✓ Proyecto de Cogersa de una planta similar de 6000 Tn/año en su plan de futuro aprobado.
- ✓ Proyecto de planta similar en el polígono de Lleu en Piloña.
- ✓ Proyecto de una incineradora con recuperación energética en Vega del Rey en Lena que la llaman despolimerización.
- ✓ Solicitud de Tudela Veguin para usarlos como combustible en sus fábricas de cemento.

ESPAÑA

<https://www.ecogestionar.com.ar/en-riesgo-el-principal-destino-del-caucho-reciclado-del-neumatico-al-final-de-su-vida-util/> - 27 de junio de 2022

En riesgo el principal destino del caucho reciclado del neumático al final de su vida útil

En España anualmente se generan unas 300.000 toneladas de neumáticos fuera de uso de ellas, SIGNUS se ocupa aproximadamente de la gestión de dos terceras partes. En torno al 12% de los neumáticos gestionados por SIGNUS se destina a su preparación para la reutilización y el resto, siguiendo en principio de jerarquía de residuos, se destina a su reciclaje y valorización.

Las aplicaciones del material reciclado son múltiples y diversas, puesto que por el momento el caucho obtenido de los neumáticos reciclados, que ya está vulcanizado, no se puede destinar a la fabricación de nuevos neumáticos. El principal destino del granulado de caucho procedente de estos neumáticos (50%) es el relleno de campos de fútbol de césped artificial, una aplicación mayoritaria en toda Europa, que ahora mismo se encuentra en riesgo de prohibición.



El granulado de caucho reciclado juega un papel clave en este tipo de suelos deportivos ya que otorga al pavimento el confort y la seguridad que los jugadores necesitan al correr, caerse o deslizarse sobre este tipo de superficies. Además,

simula perfectamente las características dinámicas del desplazamiento del balón sobre el césped, presentando ventajas tanto sociales (utilización del campo 12 horas por 7 días a la semana), ambientales (ahorro de agua, y reactivos fitosanitarios), como económicas, (fácil mantenimiento y reducción de costos). La Comisión Europea está estudiando una regulación que restringe el uso de micro plásticos (tamaño < 5 mm) añadidos de manera intencionada al medio ambiente. Dentro de las posibles restricciones se encuentra precisamente la aplicación del caucho reciclado, procedente del neumático, en esta aplicación, dado que la partícula añadida a los campos de césped artificial tiene un tamaño entre 0,8 y 2,5 mm.

El principal destino del granulado de caucho procedente de estos neumáticos (50%) es el relleno de campos de fútbol de césped artificial, una aplicación mayoritaria en toda Europa, que ahora mismo se encuentra en riesgo de prohibición. Para conocer el impacto que tendrían las medidas aplicadas en los propios campos de césped artificial y con objeto de reducir la liberación de este tipo de material, desde SIGNUS y con la colaboración con el Instituto de Biomecánica de Valencia (IBV), hemos puesto en marcha un proyecto que consiste en la monitorización de un campo de fútbol de césped artificial para evaluar la efectividad de una serie de medidas de contención, recogidas en la norma europea CEN/TR 17519 que evitan la liberación de micro plásticos al medio ambiente. Aunque ya ha sido probada su eficacia en un estudio realizado por Ecoloop con un elevado porcentaje (el 97%) de reducción sobre los 5 kg/año de media de micro plásticos liberados, hemos querido realizar ese mismo estudio en España, en una ubicación con condiciones climatológicas adversas y en un lugar cercano al mar para comprobar esta eficacia y poder compartir los resultados con todas las partes implicadas y con aquellas personas responsables de posicionarse en Europa respecto a este asunto.

Para el estudio se ha seleccionado el campo de fútbol 11 federado del Carreira Club de Fútbol en el municipio de Ribeira (A Coruña). Las medidas de contención son bastante sencillas, y consisten en: filtros en el sistema de recogida de agua de lluvia y agua de riego del campo; en instalar una barrera a lo largo de todo el perímetro del campo y un sistema de limpieza de botas a la entrada-salida del terreno de juego y, finalmente, la colocación de contenedores en los vestuarios para concienciar a los jugadores de la importancia de recoger las partículas que puedan depositarse en sus botas y ropa. SIGNUS además ha sumado un nuevo elemento, más enfocado a la concienciación de los jugadores, colocando un contenedor en los vestuarios, para que los jugadores vacíen su ropa y su calzado antes de salir de las instalaciones deportivas, evitando así llevar las partículas de caucho a sus casas. En el análisis del material recogido en cada una de ellas, se ha identificado una nueva fuente de micro plásticos procedentes del propio césped, que consiste en partículas de polietileno procedentes del filamento verde, hasta ahora no tenida en cuenta, que aparece en un porcentaje del 18% sobre el total de los micro plásticos recogidos en las medidas de contención (valor total medio de 350 g/mes por campo).

Es necesario analizar la problemática de los micro plásticos desde una triple óptica de la sostenibilidad para que, al tratar de paliar un problema concreto, no

se generen otros, que de un modo u otro afectan al concepto de economía circular.

Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de implementar medidas de contención en todos los campos de fútbol de césped artificial para evitar, no sólo la liberación de micro plásticos añadidos de forma intencionada al medio ambiente, como sería el caso de los gránulos de caucho reciclado, sino también aquellos que se generan de forma no intencionada debido al uso del campo, como sería el caso de las partículas de polietileno que simula el césped, cizalladas por el rozamiento con las botas de los practicantes.

Este asunto tiene importantes implicaciones que deben de analizarse desde una triple óptica de la sostenibilidad (ambiental, social y económica) para que, al tratar de paliar un problema concreto, no se generen otros, que de un modo u otro afectan al concepto de Economía Circular, a las implicaciones en los potenciales usos y a la puesta en práctica de aplicaciones sustentables que nos permitan reducir el consumo de materias vírgenes, agua y productos químicos.

ARGENTINA

<https://www.iprofesional.com/autos/400066-que-hacer-con-los-neumaticos-viejos-paso-a-paso-para-deshacerse-de-ellos>

Con el reciclaje, los neumáticos viejos pueden convertirse en material para diversos productos como césped sintético para canchas de fútbol o de hockey, baldosas plásticas utilizadas muchas veces en las áreas exclusivas para niños en las plazas o mobiliario urbano como reductores de velocidad y divisores de ciclovías. Solo hay tres plantas especializadas en reciclaje de neumáticos en el país y no funcionan a pleno porque no les llega suficiente material.

Proceso de reciclaje

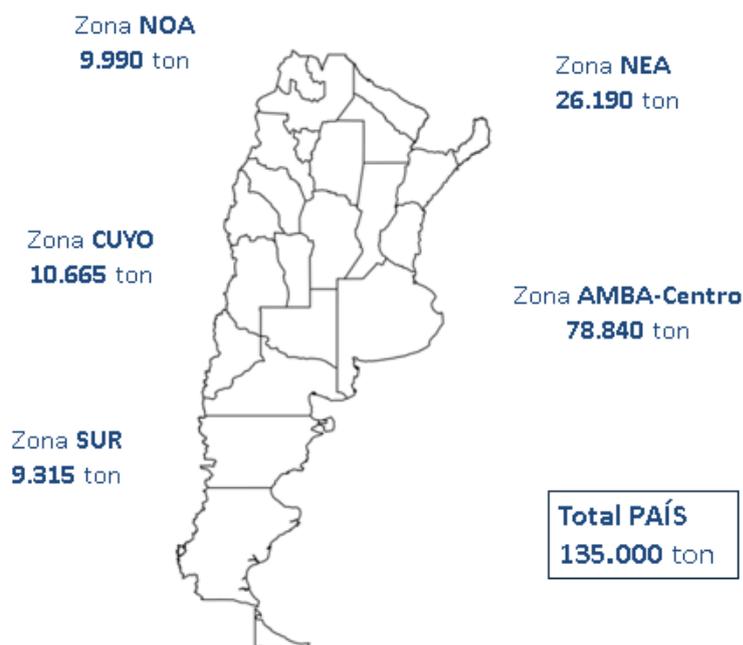
En la planta procesadora se reciben gratuitamente los NFU y se entrega, sin costo, la certificación de disposición final que piden los municipios y las empresas privadas. En primer lugar, los neumáticos se pesan. Luego, son triturados mecánicamente y derivados al sector de granulación. El caucho obtenido de la trituración primaria se granula en diferentes etapas, para reducir el tamaño del gránulo y separar en cada una de ellas el acero y el textil que componen el neumático. El material obtenido se vende a empresas que los utilizan para canchas de fútbol sintético, pistas de atletismo y baldosas de caucho para plazas, entre otras cosas. Los neumáticos viejos también pueden ser reciclados en casa para hacer distintas cosas, como por ejemplo macetas, asientos, mesas y columpios.

II. Los números de los neumáticos fuera de uso

En Argentina, la generación de neumáticos fuera de uso (NFU) supera las 130.000 toneladas anuales, de las cuales 40.000 corresponden solo a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y su área metropolitana. A su vez, el 90% de

los neumáticos que se descartan cada año terminan en basurales a cielo abierto, terrenos periurbanos, cauces de agua o quemas, contaminando el suelo, el aire y el agua, y facilitando la proliferación de vectores transmisores de enfermedades zoonóticas. La degradación del caucho le lleva a la naturaleza más de 600 años, y la inexistencia de marcos regulatorios para promover su reutilización, o reciclaje dificultan su disposición segura y sustentable.

Distribución NFU en Argentina



Zona	Toneladas	%
NOA	9.990	7%
CUYO	10.665	8%
SUR	9.315	7%
NEA	26.190	19%
AMBA-Centro	78.840	58%
Total	135.000	

Plantas de Reciclaje de NFU en Argentina

NFU en Argentina



REGOMAX

<https://www.regomax.com/>

Regomax es una empresa nacional dedicada al reciclado de neumáticos fuera de uso transformándolos en un producto de alto valor agregado para su posterior reutilización en distintas aplicaciones. Planta: Salvador Debenedetti 8947, San Martín - Provincia de Bs. As. – Argentina

Hace más de diez años, Regomax fue la primera planta recicladora de neumáticos del país. Se instaló en San Martín en un predio del CEAMSE (Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado) y cuenta con supervisión del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) en todos sus procesos. Es también la más grande del país y cuenta con 65 empleados. “La empresa no tiene ningún subsidio, la planta funciona las 24 horas los 7 días de la semana:

“Tenemos capacidad para procesar 1.400 toneladas, pero actualmente estamos en 900. Si hubiera más neumáticos podríamos dar más trabajo y hacer más productos. Tenemos un 35 % de la planta que podría estar trabajando, pero no llegan neumáticos”, explica Marcelo Pizelman, representante de Regomax“y si recibiéramos más neumáticos podríamos emplear a unas 15 personas más”.

En la planta procesadora, relata, se reciben gratuitamente los NFU y se entrega, sin costo, la certificación de disposición final que piden los municipios y las empresas privadas. “Los neumáticos se pesan y luego son triturados mecánicamente y derivados al sector de granulación. El caucho obtenido de la trituración primaria se granula en diferentes etapas, para reducir el tamaño del gránulo y separar en cada una de ellas el acero y el textil que componen el neumático”, agrega. Regomax vende esos materiales a empresas que los

utilizan para canchas de fútbol sintético, pistas de atletismo y baldosas de caucho para plazas.

El 60 % de los neumáticos que se desechan en el país provienen de la Ciudad y de la provincia de Buenos Aires. “La mayor concentración está en el AMBA por lo tanto es de donde más recibimos, pero también traen desde el resto del país, tanto del norte como del sur, incluso de Tierra del Fuego”, explica, y señala que uno de los mayores obstáculos es la logística: el traslado es muy caro y no suele ser una prioridad. Regomax se abastece principalmente de los neumáticos fallados que le envían las fábricas Fate, Bridgestone y Pirelli y de los NFU que hacen llegar los distribuidores de su producto, que son quienes tienen más sucursales en AMBA. “Trabajamos muy fuerte también con los municipios de la provincia de Buenos Aires donde ha crecido mucho la conciencia sobre este residuo”, agrega.

ECOCUYUM

<https://www.ecocuyum.com/quienes-somos.php>

“Somos una empresa de Mendoza - Argentina, la primera de la región de Cuyo dedicada al reciclaje de neumáticos fuera de uso. Transformamos los NFU (neumáticos fuera de uso) en materia prima para la elaboración de nuevos productos.”

Planta: Independencia 484 - Godoy Cruz, Mendoza, Argentina

En Mendoza, Ecocuyum existe desde 2016. “...Trajimos la planta de China, aunque hoy el 90 % ya es argentina, porque como tenemos una metalmecánica le hemos ido anexando máquinas”, explica Armando Parlanti, presidente de Ecocuyum, ubicada en Godoy Cruz. “Trituramos 800 kilos por hora, en jornadas de 8 horas. El acero se vuelve a fundir, el caucho se vuelve a fundir y se usa para canchas de césped sintético o para parques de niños u otros productos y el nailon lo comercializamos a una empresa que hace hormigón o lo almacenamos porque en esta empresa no se tira nada. Estamos haciendo un estudio con la Universidad de Cuyo para ver qué se puede hacer con él”, cuenta Parlanti. Además de los usos tradicionales del caucho reciclado, Ecocuyum desarrolló y patentó productos de mobiliario urbano como reductores de velocidad, divisores de ciclovías, banquitos, bolardos (los postes de baja altura que separan la zona peatonal de la de vehículos cuando se encuentran al mismo nivel en una calle), bastoncitos amarillos y bases para faroles. “Trabajamos con municipalidades y empresas, recibimos sus NFU, los pesamos en una báscula y emitimos un certificado de disposición final”, explica el presidente de la empresa mendocina. Ecocuyum tiene 20 empleados.

KUMEN-CO

<https://www.kumenco.com.ar/>

Kumen Co S.A. es una empresa de capitales nacionales, que se estableció en la localidad de Arroyo Seco, Provincia de Santa Fe, para poner al servicio de la sociedad un sistema de gestión ambiental integral, afianzado por el desarrollo propio, innovación y tecnología; asumiendo la responsabilidad empresarial de desarrollar cada una de sus actividades bajo el concepto de sustentabilidad ambiental; cuya principal actividad es el reciclado y valorización de NFUs (neumáticos fuera de uso). Actualmente trabajando en conjunto con la empresa Reciclado de Caucho y Plástico (RCP).

Kumen-Co brinda los servicios de:

- Disposición Final: Garantizamos el tratamiento y disposición final adecuada del residuo avanzando sobre una problemática que afecta a toda la sociedad. Entregamos Certificado de disposición Final avalado por el Ministerio de Medio Ambiente de Santa Fe
- Trituración: recepción y reducción del material recibido

Planta de Proceso: Prof. Graciela Nucci 1100. Arroyo Seco. Sta.Fe.
Centro Acopio Transit.: Lote 7. Pque.Tec. De Reciclado Rafaela. Sta.Fe.

Kumen Ko surgió en 2015 de la mano de Claudio Frydman en Arroyo Seco (Santa Fe). En 2016 un tremendo incendio devoró casi toda la planta y en 2017 se sumó un grupo de socios y de inversores que lograron que a fines de ese año volviera a operar. “La planta siempre tuvo como fin la disposición final de los NFU pero en un comienzo los neumáticos iban a ser utilizados como combustible, que es uno de los caminos posibles. Cuando entramos nosotros, decidimos darle un valor agregado al residuo y reciclarlo”, cuenta Leandro Palma, uno de los socios.

En la misma planta se realizan baldosas de goma para gimnasios o patios y el excedente del material reciclado se vende a granel a empresas que hacen canchas de césped sintético. “Trabajamos con grandes compañías del cordón industrial santafesino que asumen dentro del proceso el tratamiento del residuo, están obligadas por la certificación ISO y necesitan una correcta disposición final. Les cotizamos por tonelada. También trabajamos bastante con municipios de Santa Fe”, explica Palma y señala que los costos más altos de la actividad son la logística y la energía, que representa entre un 35 y un 40 % del costo. A pesar de ser plantas que se ocupan de la disposición final de un residuo, no cuentan con ningún subsidio. También, dice, toda la maquinaria es importada.

ECOVALOR

<http://ecovalor.com.ar/>

Primera planta de reciclaje en la provincia de Córdoba.

Etapa 1: RECEPCIÓN Y ACOPIO

Recepción en nuestra planta de reciclaje de neumáticos fuera de uso, donde son seleccionados y acopiados ordenadamente a la espera de ingresar al proceso.

Etapa 2: TRITURADO Y SEPARACIÓN

Se ingresa el material al proceso de triturado, donde se granula y se separa el alambre de acero y el mallado de nylon.

Etapa 3: RESULTADO

Se obtienen 3 productos resultantes, caucho en diferentes granulometrías, alambre y nylon. La separación de estos se realiza con una efectividad del 99,5%.

El caucho granulado y en polvo obtenido de la última etapa de reciclado, puede utilizarse en varios espacios: Desde canchas de fútbol o hockey hasta plazoletas para niños. Además, puede utilizarse para pavimentación y reductores de

velocidad vial de carreteras, losas para pisos y techos y pinturas látex, entre otros.

Planta Villa Allende, Córdoba.

Elpidio Gonzalez 1100.

Dirección: Calle Bv. Rivadavia 3607 (Barrio Los Boulevares), Córdoba, Argentina (CP 5147)

Una pyme tritura 400 neumáticos en desuso por día y abastece a fabricantes que los reciclan.

Federico Giacomelli fundó en 2020, en la ciudad de Córdoba, Ecovalor, la primera y única planta de reciclaje de neumáticos en desuso de la provincia mediterránea. Esta pequeña empresa recibe neumáticos fuera de uso (NFU), los tritura y vende el *scrap* a fabricantes que emplean el granulado de caucho como materia prima en la fabricación de canchas de fútbol sintético, pistas de atletismo y baldosas de caucho para plazas, entre otras cosas, lo que evita que sea enterrado. Desde su página web, en Ecovalor plantean que “solo en la provincia de Córdoba se generan 18.000 toneladas anuales de NFU. La gran mayoría son desechados en basurales a cielo abierto favoreciendo 4.000 veces la cría de mosquito del dengue, zika o chikungunya, o enterrados contaminando napas o, lo que es peor, quemados. Al quemar 200 neumáticos se incrementa 200 % el nivel de mercurio en el aire, 500 % el zinc en forma de ceniza, se liberan dioxinas y furanos, dos de los químicos más tóxicos conocidos por la ciencia como principales causantes del cáncer”.

En la planta de Ecovalor se seleccionan los NFU y se acopian ordenadamente. Una vez ingresado el material al proceso de triturado, se granula y se separa el alambre de acero y el mallado de nailon, que también se puede reutilizar. Este mecanismo se desarrolla sin ningún líquido, sin contaminantes, en seco. Se obtienen tres productos resultantes: caucho en diferentes granulometrías, alambre y nailon. “El alambre se lo lleva una chatarrería; en el caso del nylon, estamos viendo qué se puede hacer”, dice el emprendedor.

Ecovalor recicla 400 cubiertas diarias de vehículos, camionetas y camiones. “Hoy se procesan unos 400 kilos por hora, para llegar a unos 2.000 kilos diarios de producto final. Hay una merma aproximada del 30 % porque los NFU tienen mucho nailon y alambre. Es decir que no se logra triturar el 100 %. Lo importante es que son 400 neumáticos que no se entierran, sino que se procesan”, enfatiza Giacomelli. En 2021 el ente Córdoba Obras y Servicios (COYS) se sumó a la iniciativa, a través de lo que se junta en los Centros de Transferencia de Residuos (CTR), y varios municipios de la provincia, como el de Devoto. Parte de su producción se genera a partir del material que juntan los establecimientos del COYS, que reciben un promedio de 1.200 neumáticos por semana.

Clientes y aplicaciones: Ecovalor tiene clientes públicos y, principalmente, privados. Como se mencionó, el caucho granulado y en polvo obtenido de la última etapa de reciclado puede utilizarse en varios espacios: desde canchas de fútbol de césped sintético, de hockey, de rugby o de atletismo, plazoletas de juego infantil o gimnasios, hasta suelas de zapatillas o de borceguíes e, incluso,

asfalto: puede emplearse para la pavimentación y la confección de reductores de velocidad vial de carreteras, losas para pisos y techos y pinturas látex, entre otras aplicaciones. El emprendedor fantasea con un producto: las tejas de goma. Ya tiene el prototipo analizado por el Centro Experimental de la Vivienda Económica (Ceve, que depende del CONICET y tiene su sede en Córdoba) y la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Pero para largarlo necesita un empujón que, una vez más, sólo puede dar en escala el Estado, por ejemplo, con la incorporación del producto en algún plan de vivienda oficial. Proyección de crecimiento: Ecovalor hoy es una empresa que se autosostiene, pero “para ser completamente rentables, tenemos que hacer un clic en la parte productiva y elevar el procesamiento a unos 1.000 kilos de NFU por hora”, proyecta Giacomelli, aunque afirma que “los costos están aumentando mes a mes y la capacidad sigue siendo la misma, o desconocemos beneficios para este tipo de industria verde”. Para subir el techo necesita invertir en máquinas. Es tecnología sencilla pero cara, dice. “Trabajamos con una máquina trituradora de neumáticos que es como una ‘pasta linda’ pero con rolos que no son lisos, sino que tienen líneas y ganchos para desgarrar, además de taloneras para sacar el alambre”. Una máquina china con capacidad para triplicar su producción cuesta cerca de 40 millones de pesos (a noviembre 2023). Pero podría retirar del circuito de los residuos sólidos urbanos más de 1.500 neumáticos usados por día.

WORMS

<https://worms.ar/>

Somos la única empresa en la República Argentina que posee una planta de reciclaje y valorización, a escala industrial, con una capacidad de procesado de 1200 toneladas mensuales.

Damos solución a las problemáticas causadas por su acumulación, retirándolos y, posteriormente, transformándolos en materia prima reutilizable mediante el reciclado mecánico. En nuestra planta, convertimos NFUs en productos como caucho granulado, acero, textil, pisos, baldosas, postes, cordones, lomos de burros, drenajes, entre otros. Planta de Proceso: En el km 268 en la R9 se encuentra un puente (s/salida yendo desde Bs. As) que lleva por esa misma calle hacia el este a 1,2 kms. a las instalaciones de Worms

NFU TIRES

<https://m.facebook.com/NFUTIRES.S.A>

NFU TIRES S.A es una empresa formada por 4 socios y amigos

“Reciclamos neumáticos fuera de uso, convirtiéndolos en caucho triturado dándoles una segunda vida”. Planta: Ameghino al 1600, pasando Perito Moreno. Campana. Buenos Aires.

CHILE

Michelin iniciará en la Región de Antofagasta la construcción de su primera planta de reciclaje de neumáticos mineros al final de su vida útil, a través de un Joint Venture con la empresa sueca Enviro. Las obras comenzarán a realizarse en el último trimestre de 2021, con operaciones previstas para ser iniciadas en 2023. La nueva planta se dedicará al reciclaje de neumáticos mineros (45-63

pulgadas). Este hito va de la mano con el desarrollo de la economía circular, en donde los sistemas de reciclaje de neumáticos refuerzan el concepto “all sustainable” de la marca, estando plenamente alineado con su compromiso para producir. Con la tecnología de la empresa sueca Enviro, se recuperarán nuevos materiales de alta calidad, como el Negro de Humo (o también llamado Negro de Carbono), el diésel verde, el gas y el acero, para su reutilización (Pérez Vallejo, 2021)

<https://www.linkedin.com/pulse/valorizando-los-neum%C3%A1ticos-fuera-de-uso-nfu-resur-sa-vaaac/?originalSubdomain=es>

En RESUR SA estamos comprometidos con un propósito fundamental: valorizar los Neumáticos Fuera de Uso (NFU), primer producto prioritario establecido por la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), con la finalidad de preservar nuestro medio ambiente y fomentar un desarrollo sostenible. Perteneciente a un consorcio con más de 40 años de experiencia en la gestión de residuos, hemos aplicado nuestros conocimientos para abordar la creciente problemática ambiental ocasionada por los neumáticos fuera de uso (NFU). Nuestra trayectoria se define por estrategias innovadoras destinadas a contrarrestar el impacto ambiental de los residuos contaminantes.

En Chile, cada año se consumen alrededor de 6 millones de neumáticos, equivalentes a unas 180 mil toneladas, pero lamentablemente solo el 17% se recicla. El destino del 83% restante es un misterio, con muchos de ellos abandonados en la vía pública o utilizados incorrectamente, dado su carácter no biodegradable y la imposibilidad de ser depositados en rellenos sanitarios.

En este escenario, nuestra Gerenta de Valorización, Magali Pavez enfatiza nuestra responsabilidad corporativa: *“Abordamos los NFU con procesos responsables y sostenibles, contribuyendo a la preservación del medio ambiente y al desarrollo sostenible del planeta. Nuestro enfoque se basa en un modelo de economía circular, procesando los materiales recopilados para reintegrarlos como nuevas materias primas.”* Nuestra operativa actual se basa en un sistema de recolección con transporte autorizado que recoge los NFU desde los establecimientos designados por nuestros clientes. Posteriormente, estos neumáticos se trasladan a nuestra planta de reciclaje en Maipú, donde se someten a un minucioso proceso de trituración. Aquí, se separan sus componentes principales, como el caucho vulcanizado, el acero y la fibra textil, listos para su posterior comercialización. Valorizamos cerca de 350 toneladas de neumáticos fuera de uso al mes, específicamente aquellos de categoría A, es decir de aro inferior a 57 pulgadas que corresponden a vehículos de carretera. Estos generan diversos gránulos que son vendidos como materia prima para la elaboración de productos como insumos para la construcción de canchas de fútbol, palmetas para pisos, pavimentación y moldes.

Mendoza ARG

<https://ciudaddemendoza.gob.ar/2020/07/17/los-neumaticos-fuera-de-uso-de-la-ciudad-seran-coprocesados-en-forma-sustentable/>

A través de este proceso, se integran los residuos de una fuente conocida al proceso productivo del cemento, con el propósito de recuperar energía y materia prima. De esta manera, se introducen mejoras en el desempeño medioambiental preservando recursos no renovables. Con esta acción, la compañía aporta a uno de sus objetivos globales de Desarrollo Sostenible para 2030 que es el de coprocesar 80 millones de toneladas de residuos. Además, participa a la Ciudad de Mendoza para reforzar su compromiso social aportando a la mejora de las condiciones sociales de la Ciudad y sus alrededores, contribuyendo a la protección del ambiente de una manera sustentable, preservándolo para las generaciones futuras. Según el Banco Mundial, entre el 20 y 50% del presupuesto de los municipios se destinan al tratamiento de los desperdicios urbanos. Actualmente, la Municipalidad de la Ciudad de Mendoza está llevando adelante una estrategia para promover prácticas de reducción, reutilización y reciclado de diferentes materiales antes de que los mismos sean considerados como residuos. El acuerdo con Geocycle se encuentra alineado por esta estrategia municipal con un altísimo impacto positivo para la Ciudad de Mendoza.

Acerca del Coprocesamiento

El coprocesamiento se trata de una manera sustentable de gestionar los desechos. Consiste en el aprovechamiento de su valor energético para lograr la total integración al proceso de producción, sin dejar ningún tipo de residuo. En el caso de los neumáticos, al estar fabricados con material no biodegradable, permanecen como basura por muchos años, generando serios problemas ambientales y de salud por lo que deben ser dispuestos de una forma responsable, segura y ambientalmente sostenible.

Acerca de Geocycle

Geocycle opera en más de 85 instalaciones de pretratamiento en 61 países. Pertenece al Grupo Holcim y ofrece a la sociedad una opción superadora para la gestión de los residuos. Busca recuperar la energía y minerales que estos contienen, reincorporándolos a otro proceso productivo y disminuyendo el consumo de energías no renovables.

Acerca de Holcim Argentina

Holcim Argentina pertenece al grupo LafargeHolcim y es líder en la industria de la construcción en la producción de cemento, hormigón elaborado, agregados pétreos y servicios de asesoramiento técnico. Con más de 80 años de trayectoria en Argentina, Holcim emplea a más de 1.000 colaboradores y posee una amplia cobertura del territorio nacional. Cuenta con cinco plantas de cemento ubicadas en las provincias de Córdoba, Mendoza, Jujuy, y Buenos Aires. Asimismo, cuenta con plantas fijas y móviles de hormigón elaborado; una planta de agregados pétreos y otra de coprocesamiento de residuos industriales, ambas localizadas en Córdoba.

III. Antecedentes normativos en argentina

<https://utopiaurbana.city/2022/07/14/argentina-se-encamina-la-sancion-del-proyecto-de-ley-de-neumaticos-fuera-de-uso-nfu/>

Argentina: se encamina la sanción del proyecto de Ley de Neumáticos Fuera de Uso (NFU). 14 DE JULIO DE 2022

La Cámara de Senadores le dio media sanción a este proyecto que busca responsabilizar a los fabricantes de la basura que generan los NFU. Proponen la gestión y reciclaje para impulsar una nueva industria nacional de empleo verde.

En Argentina, los NFU superan las 130.000 toneladas anuales que se acumulan en basurales a cielo abierto o incluso peor, se queman liberando el famoso “humo negro” que emite mercurio, plomo y dióxido de carbono generando grandes daños a la capa de ozono. Además, se ha demostrado que es causante de graves enfermedades respiratorias. Las estadísticas además indican que un 90% del total de esta cifra no recibe un correcto tratamiento y tampoco es utilizada para reciclaje. Esta problemática afecta directamente a las ciudades con más urbanización, donde la basura que no es tratada se acumula generando diversas problemáticas ambientales. Buenos Aires es uno de los casos más emblemáticos, ya que allí se generan nada más y nada menos que unas 40.000 toneladas anuales de NFU. Por esta razón, diversas autoridades y funcionarios del país han empezado a buscar soluciones, ya que apelar a la degradación del caucho es algo impensado en el corto plazo, debido a que cada nuevo neumático que llega a un basural tarda unos 600 años en descomponerse totalmente. Uno de los casos con más proyección en el país es el que tuvo su media sanción en el Senado de Argentina y seguramente tendrá su sanción completa en la Cámara de Diputados es el Proyecto de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la gestión de los neumáticos Fuera de Uso.

La iniciativa impulsada por los senadores Alfredo Luenzo y Silvina García Larraburu, propone responsabilizar a los productores frente a la basura generada por los neumáticos producidos. De esta manera se espera promover un equilibrio entre la riqueza generada por las empresas a partir de la explotación de los recursos naturales y su responsabilidad medioambiental. “Deberán constituir asociaciones sin fines de lucro a fin de llevar a cabo la gestión integral de los NFU”, expresa el cuerpo de la ley. Además, uno de los puntos más importantes de este proyecto es que establece la obligación de los distribuidores de “recibir en forma gratuita los NFU para su posterior tratamiento y serían responsables de ingresarlos al sistema integrado de gestión en su carácter de generador”. Estos generadores serán responsables de entregar los NFU a los productores, o en definitiva a un sistema de gestión autorizado, para “garantizar la recogida de los NFU en todo el territorio nacional y su correcta gestión, alcanzando a todos los eslabones de la cadena de comercialización y reutilización de los neumáticos”. Esta normativa incluye todas las etapas de la cadena durante la vida útil del producto, ya sea su producción, uso, reutilización, reciclaje, valorización y tratamiento final. Para ello las empresas deberán desarrollar centros de gestión de estos residuos en las cercanías de las fábricas. Cabe mencionar que esta normativa no incluye neumáticos de bicicletas o triciclos. El

proyecto de ley viene a suplir la ausencia de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), por la cual el fabricante debería asumir el compromiso de realizar un seguimiento hasta el final del ciclo de vida del mismo. Distinto es el caso en países de la región como Uruguay, Chile y Brasil donde el reciclaje forma parte de la vida cotidiana empresarial y las empresas están obligadas a hacer un recorrido de sus productos desde el momento de la venta hasta convertirse en basura. Allí se articulan los centros y campañas de reciclaje con conceptos de economía circular.

En Argentina se desechan 10 millones de neumáticos al año, equivalentes a 120 mil toneladas y abarcan una superficie de 50 canchas de fútbol. Su tiempo de degradación es mayor a 1.000 años y si son quemados, liberan sustancias tóxicas como monóxido de carbono, mercurio y plomo (Mobilier, 2020). Se presentan una serie de problemas de almacenamiento al ser un producto altamente inflamable y capaz de producir nubes tóxicas en caso de incendio. Además, la reproducción de ciertos mosquitos, que son vectores de distintas enfermedades, llega a ser 4.000 veces mayor en el agua estancada de un neumático que en la naturaleza (Díaz, 2008).

Estimaciones del INTI y de empresas productoras y de reciclaje elevan la cifra de 120000 toneladas anuales a un valor de entre 130000 y 150000 toneladas anuales de NUF generados (Alonso, 2022).

<i>FUENTE</i>	<i>TONELADAS</i>
INTI	150.000
ReNFU	134.000
FATE	130.000
REGOMAX	150.000

NFU en toneladas. Fuente: Alonso, 2022. Entrevistas de campo

<i>ÁMBITO</i>	<i>AUTOMÓVILES</i>	<i>VEHÍCULOS COMERCIALES LIVIANOS</i>	<i>TRANSPORTE DE CARGA (CAMIONES)</i>	<i>TRANSPORTE DE PASAJEROS (BUSES)</i>	<i>TOTAL</i>
PBA	4.404.441	934.061	223.109	31.202	5.592.813
Total nacional	10.617.281	2.645.941	677.907	83.984	14.025.113

Fuente: Dirección Nacional del Registro de la Propiedad del Automotor (DRNPA) - La clasificación corresponde a ADEFA (2020) / FADEEAC (2020)

Parque automotor. Año 2019. Fuente: Alonso, 2022

Cuadro 2.8 IPI manufacturero. Productos de caucho y plástico. Septiembre de 2023*

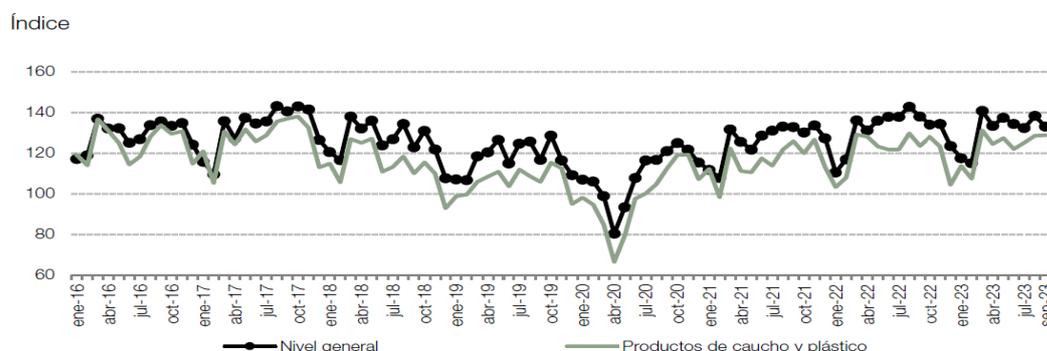
Código	Descripción	Índice base 2004=100	Variación porcentual		Incidencia
			respecto al mismo mes del año anterior	acumulada del año respecto a igual acumulado del año anterior	
25	Productos de caucho y plástico	128,7	4,3	1,9	4,3
25110	Neumáticos	132,5	98,7	15,2	7,9
25190	Otros productos de caucho	96,8	-11,4	-3,3	-1,0
25201/9	Manufacturas de plástico	132,0	-3,1	0,4	-2,6

Nota: los totales por suma pueden no coincidir por redondeo en las cifras parciales.

Fuente: INDEC, Dirección Nacional de Estadísticas Económicas. Dirección de Estadísticas Mineras, Manufactureras, Energéticas y de la Construcción.

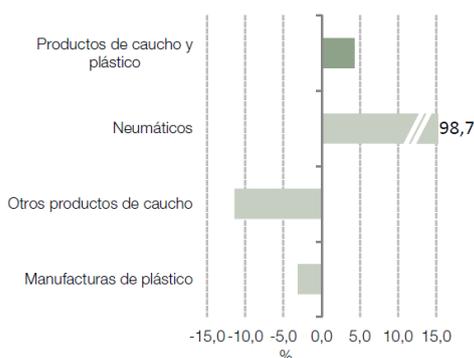
Fuente: Indec, 2023, pág. 14

Productos de caucho y plástico respecto al nivel general del IPI manufacturero. Enero 2016-septiembre 2023



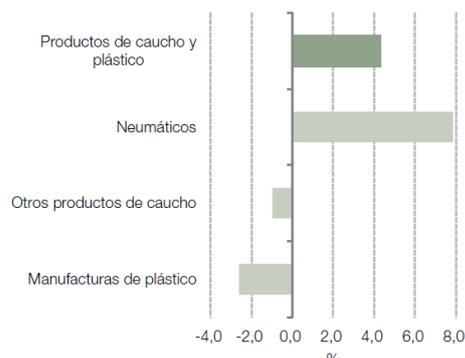
Fuente: INDEC, Dirección Nacional de Estadísticas Económicas. Dirección de Estadísticas Mineras, Manufactureras, Energéticas y de la Construcción.

Gráfico 2.8 b Productos de caucho y plástico, variación porcentual interanual. Septiembre de 2023



Fuente: INDEC, Dirección Nacional de Estadísticas Económicas. Dirección de Estadísticas Mineras, Manufactureras, Energéticas y de la Construcción.

Gráfico 2.8 c Productos de caucho y plástico, incidencias. Septiembre de 2023



Fuente: INDEC, Dirección Nacional de Estadísticas Económicas. Dirección de Estadísticas Mineras, Manufactureras, Energéticas y de la Construcción.

Fuente: INDEC, 2023

El mercado de neumáticos nuevos en la Argentina está conformado por tres empresas con fabricación local: FATE, Bridgestone/Firestone y Pirelli. FATE es el único fabricante local de camiones (más del 30 % del mercado local); además, exporta entre el 20 % y el 30 % de su producción. En cuanto a la estructura de mercado de importación, 13 marcas representan el total, de las cuales 4 empresas explican el 80% de las importaciones y las 5 primeras el 90 % (Alonso, 2022).

La firma Nosis identifica en 2020 a 344 empresas dedicadas en el país a la elaboración de otros productos de caucho. Entre ellas, las de mayor facturación son: Regomax, Tricaucho, Ecopiano, RCP y Floorsystem. Excepto RCP que está ubicada en Santa Fe, el resto se ubica en Buenos Aires. Tienen una antigüedad promedio de entre 14 y 17 años. Regomax tiene una participación del 56% del mercado y una facturación superior a la suma de las otras 4 empresas. Cuenta con planta de procesamiento en CEAMSE y asegura el correcto procesamiento y disposición mediante la emisión del certificado de tratamiento de disposición final extendido por el Organismo provincial para el desarrollo sustentable (OPDS). Cuenta con unos 40 empleados, mientras que el resto de las empresas emplean entre 10 y 20 personas (Mobbillo, 2020).

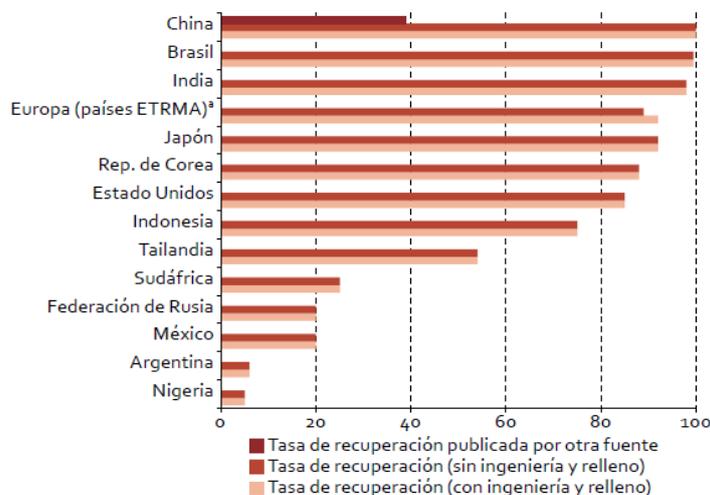
En el sur de Santa Fe, la firma Bustinza Goma S.A. elabora baldosas anti-lesiones a partir del caucho recuperado. Otra firma argentina que elabora piezas con caucho reciclado es Tecnogom S.R.L.

La Resolución Nacional 523/2013 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable regula el manejo sustentable de neumáticos, establece definiciones y lineamientos para el desarrollo de una estrategia nacional referida al manejo sustentable de neumáticos en su ciclo de vida, particularmente los neumáticos desechados o fuera de uso. Establece una jerarquía de manejo de NFU, iniciando con la prevención y minimización, la reutilización y reciclado, la recuperación energética, y por último, la disposición final. Permite el aprovechamiento como fuente de energía (mediante adecuado tratamiento de efluentes gaseosos) como combustible alternativo en hornos de cemento, en plantas de generación eléctrica y en procesos industriales. El NFU triturado puede ser utilizado, entre otras cosas para: superficies deportivas, patios de juegos, pisos de seguridad, recubrimiento de contenedores para flete marítimo, asfaltos modificados y en pavimentos de hormigón de cemento. Los NFU enteros pueden ser utilizados en escolleras y rompeolas artificiales, para el control de erosión, como barrera acústica, en barreras de contención contra colisiones (autódromos, puertos, entre otros) y en aplicaciones de ingeniería civil.

Asimismo, la RN 523/2013 define la responsabilidad extendida del productor como la asignación de la carga de la gestión ambiental a los productores, a lo largo de todo el ciclo de vida del producto incluida la etapa posconsumo.

Luego, en el año 2016, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación estableció la Resolución 522/2016, que aborda los lineamientos para desarrollar una estrategia nacional para el manejo sustentable de los Residuos Especiales de Generación Universal (REGU). Los REGU, conforme a la resolución, son entendidos como aquellos residuos que se generan por el consumo masivo y que, debido a sus características, requieren de una gestión adecuada y diferenciada para proteger el ambiente. Dicha resolución, en su Anexo I, entiende a los neumáticos en desecho como REGU (Alonso, 2022, pág. 64).

Gráfico 16
Países seleccionados: tasas de recuperación de neumáticos, 2015
(En porcentajes)



Fuente: Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible (WBCSD), *Global ELT Management: a Global State of Knowledge on Regulation, Management Systems, Impacts of Recovery and Technologies*, 2019 [en línea] <https://www.wbcd.org/Sector-Projects/Tire-Industry-Project/End-of-Life-Tires-ELTs>.

^a Países ETRMA: se refiere a los países que pertenecen a la Asociación Europea de Fabricantes de Neumáticos y Caucho (ETRMA).

Fuente: CEPAL, 2021

Como lo muestra el gráfico 16, China se destaca con una recuperación total y en América Latina, el Brasil reporta tasas de casi un 100%, México del 20% y la Argentina del 6% (WBCSD, 2018).

AMBA – Saidon y Sorroche (2024)

Algunos municipios del AMBA que han manifestado tener políticas de recolección y tratamiento son los siguientes:

- Almirante Brown: recolectan los NFU que se encuentran en basurales a cielo abierto, los cuales luego son llevados a la empresa Regomax S.A., donde son reciclados.
- Avellaneda: tiene un programa de recolección diferenciada en talleres y gomerías por parte del Municipio. Estos NFU, luego, son trasladados a la empresa Regomax S.A., con quien se firmó un convenio para tal fin. A pesar de ello, el Municipio ha sufrido importantes inconvenientes para hacer frente a la logística que esto implica, lo que ha provocado que se acumulen los NFU en un depósito, convirtiéndolo en una situación peligrosa por las razones que se detallaron al comienzo de este capítulo.
- Berazategui: tiene un programa de recolección diferenciada de NFU para los grandes generadores. Estos son enviados a la estación de transferencia de Almirante Brown, para luego ser trasladados a Regomax S.A. Además, en el municipio hay un proyecto de ordenanza cuyo objetivo es la prohibición del abandono de NFU en lugares no habilitados para tal fin.
- CABA: existe un programa de recolección diferenciada para NFU, que establece que son los generadores quienes deben hacerse cargo de su

traslado hasta la estación de transferencia ubicada en Pompeya, para luego ser derivados a la empresa Regomax S.A. Lamentablemente, en el territorio, en la mayoría de los casos, los NFU son dispuestos de forma inadecuada o son entregados a casqueros.

- Escobar: tiene campañas esporádicas de recolección diferenciada de los NFU, los cuales son trasladados a centros de disposición transitoria, para luego ser enviados a la empresa Regomax S.A.
- Esteban Echeverría: tiene un sistema de recolección diferenciada de NFU, que son recolectados semanalmente y acopiados en el Ecopunto II. Finalmente, son trasladados a la empresa Regomax S.A.
- Florencio Varela: si bien no existe un programa específico de recolección diferenciada de NFU, el municipio recibe denuncias telefónicas de los vecinos, que alertan sobre la presencia de estos en los espacios públicos. Además, los grandes generadores también pueden solicitar al Municipio el retiro de los NFU de sus instalaciones. Estos son transportados por parte del Municipio a la empresa Regomax S.A.
- General Las Heras: el Municipio recolecta los NFU provenientes de las gomerías del partido y, luego, los envía a la empresa Regomax S.A.
- General San Martín: el Municipio cuenta con un punto de recolección de NFU y además los recoge de forma gratuita en las gomerías y en microbasurales. Los NFU son derivados a la empresa Regomax S.A., la cual se ubica en su territorio.
- La Plata: ha dictado una ordenanza (N.º 10.661/09 “Basura Cero”) donde los NFU son considerados como residuos peligrosos domésticos, prohibiendo su quema a cielo abierto. Los NFU son recolectados en la fracción de residuos no habituales, pero luego son destinados a disposición final en un relleno sanitario.
- Lomas de Zamora: el Municipio recolecta los NFU, los cuales luego son derivados a la empresa Regomax S.A.
- Luján: recolecta los NFU en las gomerías del municipio, para luego ser derivados a galpones pertenecientes a la Dirección de Gestión Ambiental.
- Malvinas Argentinas: los NFU de vehículos considerados pesados (camiones y colectivos) son recolectados por una empresa privada. Estos son derivados a una planta de achique para luego ser enviados a una cementera.
- Marcos Paz: el municipio cuenta con una ordenanza que establece el tratamiento de los NFU en la empresa Regomax S.A. Estos últimos son recolectados por el Municipio en las gomerías, luego acopiados transitoriamente y, finalmente, trasladados a la empresa. Es el único Municipio que se detectó cuenta con cifras sobre la cantidad de NFU derivados a Regomax S.A.
- San Miguel: si bien no posee programas de recolección y tratamiento de NFU, se han realizado campañas de prevención de plagas, donde se han recolectado materiales que acumulan agua, entre los que se encuentran los NFU.

- Vicente López: por medio de una ordenanza (N.º 3.039/11), se establece el Plan de Recolección Diferenciada y Reciclado de residuos especiales domiciliarios, entre los que se encuentran los NFU. A pesar de ello, no cuenta con programas de recolección y tratamiento de los mismos.

Estado de Situación del Proyecto de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la gestión de los neumáticos Fuera de Uso.

<https://www.iprofesional.com/autos/400066-que-hacer-con-los-neumaticos-vejos-paso-a-paso-para-deshacerse-de-ellos>

En 2021, el Senado de la Nación aprobó el proyecto de ley "Presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de neumáticos fuera de uso", que tiene como objetivos promover el compromiso de los consumidores; reducir la disposición final de los NFU para disminuir el impacto sobre el ambiente; y promover emprendimientos para la gestión integral de los NFU, generando mecanismos que impacten en su correcto manejo en todo su ciclo de vida.

En este sentido, la ley de neumáticos prohíbe la importación de NFU, el abandono y/o el desprendimiento de neumáticos en la vía pública o con los residuos domiciliarios, como así también cualquier proceso de eliminación no previsto en la ley.

Un punto importante es que propone que los productores sean responsables de la gestión integral de los NFU, constituidos en asociaciones sin fines de lucro. Asimismo, los distribuidores de neumáticos estarán obligados a recibir en forma gratuita los NFU para su posterior tratamiento y serán responsables de ingresarlos al sistema integrado de gestión en su carácter de generador.

A su vez, los generadores de NFU serán responsables de entregarlos al productor de neumáticos o a un sistema de gestión autorizado.

Entre otros puntos, la iniciativa establece una serie de sanciones (apercibimiento; multas; suspensiones; clausuras). Tras obtener media sanción en el Senado, este proyecto de ley fue girado a Diputados, donde obtuvo un dictamen favorable, pero luego el proceso parlamentario se interrumpió y la ley no fue sancionada.

<https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dcomisiones/periodo-140/140-537.pdf>

Dictamen favorable de la Cámara de Diputados (fecha 17/11/2022)

<https://www.futurosustentable.com.ar/la-mala-gestion-de-los-neumaticos-fuera-de-uso-un-problema-alarmando/>

Un proyecto de Ley trunco

Uno de los casos con más proyección en el país es el que tuvo su media sanción en el Senado de Argentina y perdió estado parlamentario en la Cámara de Diputados era el Proyecto de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la gestión de los neumáticos Fuera de Uso. La iniciativa impulsada por los senadores Alfredo Luenzo y Silvina García Larraburu, proponía responsabilizar a los productores frente a la basura generada por los neumáticos producidos.

Uno de los puntos más importantes establecía la obligación de los distribuidores de recibir en forma gratuita los NFU para su posterior tratamiento y serían responsables de ingresarlos al sistema integrado de gestión en su carácter de generador. En definitiva, un sistema de gestión autorizado, para "garantizar la

recogida de los NFU en todo el territorio nacional y su correcta gestión, alcanzando a todos los eslabones de la cadena de comercialización y reutilización de los neumáticos.

El proyecto de ley pretendía suplir la ausencia de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), por la cual el fabricante debería asumir el compromiso de realizar un seguimiento hasta el final del ciclo de vida del mismo.

<http://www.saij.gob.ar/13640-nacional-caducidad-proyectos-ley-Ins0001967-1949-09-30/123456789-0abc-defg-g76-91000scanyel>

Ley 13.640

ARTICULO 1.- Todo proyecto de ley sometido a la consideración del Congreso que no obtenga sanción en una de sus Cámaras durante el año parlamentario en que tuvo entrada en el cuerpo o en el siguiente, se tendrá por caducado. Si obtuvo sanción en alguna de ellas en el término indicado, éste se prorrogará por un año más.

Legislación en otros países

<https://www.redaccion.com.ar/como-se-reciclan-los-neumaticos-desechados-en-materiales-para-plazas-mobiliario-urbano-y-canchas-de-cesped-sintetico/>

Legislación y conciencia: las claves para aumentar el reciclaje de aceite vegetal usado

“La Argentina está bastante atrasada en lo que respecta al reciclaje en general. La región avanzó más en legislación. Chile ya tiene su ley, que empieza a funcionar desde el año que viene; Uruguay también cuenta con una: no tiene fabricantes, pero sí importadores de neumáticos a los que se les cobra un extra y con esa plata se financia la red logística para dejarles a los trituradores el residuo en planta. También Ecuador y Brasil tienen leyes de responsabilidad extendida del productor en las que quien produce también debe hacerse cargo de la disposición final”, amplía Leandro Palma (socio KumenKo).

RETEMA 238

<https://economiasustentable.com/noticias/que-hacen-los-fabricantes-con-los-neumaticos-fuera-de-uso>

IV. Qué hacen (y qué no) los fabricantes con los neumáticos fuera de uso en Argentina

“Si bien desarrollan procesos para aumentar su vida útil, Fate, Bridgestone, Michelin y Pirelli no participan del destino final post venta. El rol de la primera recicladora de cubiertas del país y qué pasa con el proyecto de ley que se discute en el Congreso”.

Patricio Ballesteros Ledesma. 24/08/2021

Más allá de desarrollar procesos para maximizar el rendimiento y retrasar la obsolescencia de sus productos, y de las tradicionales operaciones de recapado

(o recauchutado) para camiones y ómnibus en los talleres, llega un momento en que los neumáticos terminan su ciclo de uso.

Para que deje de ser un residuo abandonado o con destino a rellenos sanitarios -aunque su descomposición se estima en más de 600 años- su reciclaje mediante la trituración mecánica cobra cada vez más relevancia y, en otras industrias, adquiere una nueva vida útil como insumo. Sin embargo, la gran mayoría de las cubiertas en desuso, que casi en su totalidad provienen de las gomerías y talleres mecánicos de todo el país, van a entierro sin un reaprovechamiento ni ningún tipo de tratamiento previo.

Parte del scrap (chatarra, descarte) de neumáticos se dispone para ser reciclado para granulado de canchas de pasto sintético, canchas de hockey o plazas. Mientras que otra parte es enviada a una planta de producción de material para capado”, aseguran en Fate, la mayor fabricante del país a *Economía Sustentable*. En este caso el reciclado es sobre la materia prima dentro de la planta fabril pero no hay un involucramiento en el destino final de las cubiertas post venta.

Lo mismo ocurre en Bridgestone Argentina, que logró superar su propio récord al recuperar más del 90% de su scrap al realizar una óptima separación y clasificación de residuos según su material, como por ejemplo alambre, tela y caucho. Algunas empresas sí envían cada tanto a una recicladora ciertos lotes que no se vendieron, no pasaron el control de calidad o rezagos de la Aduana.

La gran mayoría de las cubiertas en desuso, que casi en su totalidad provienen de las gomerías y talleres mecánicos. En el tema neumáticos, mientras no haya una ley sobre la responsabilidad extendida del productor en el país, pareciera que lo que ocurre con las cubiertas en desuso queda a criterio de cada firma. Por eso, desde el oficialismo impulsan un proyecto de ley que ya cuenta con media sanción del Senado y espera su tratamiento en Diputados para una pronta sanción. En España, por ejemplo, ya se aprobó ese marco legal, lo que obligó a todo el mercado a cumplir con la normativa. Algunas compañías tienen varios planes de sustentabilidad y eficiencia medioambiental hacia dentro de sus plantas industriales y con su cadena de valor, pero sobre el destino post uso de sus productos no hay mucho para mostrar.

Desde Pirelli Argentina comentan a *Economía Sustentable* que “en apoyo a la innovación relacionada con la economía circular, la firma trabajará en el desarrollo de innovadores procesos que garanticen el alto nivel de calidad requerido para sus neumáticos, con el uso de materias primas secundarias derivadas de los neumáticos fuera de uso”.

Por otro lado, dentro de su enfoque Eco & Safety en los neumáticos de consumo a nivel global, para 2025 planean que sus “materias primas de materiales renovables aumenten el 40%, de reciclados alcancen un 3% y de derivados de los fósiles disminuyan un 40%”. Pero en el país no fabrican, sólo importan y comercializan.

Los principales fabricantes de neumáticos en la Argentina son Fate y Bridgetone, mientras que Pirelli, Goodyear, Michelin, Dunlop, Continental y otras abastecen

el mercado local mediante la importación y distribuidores. En sus diferentes presentaciones se utilizan en automóviles, camionetas, camiones, colectivos, motos, maquinaria agrícola y maquinaria vial. De la mano de las terminales automotrices, que durante la pandemia pudieron seguir fabricando y exportando miles de unidades, la industria nacional de neumáticos sigue creciendo mes tras mes.

La fabricación aumentó interanualmente en junio un 68,4%, por la mayor demanda desde el mercado interno y externo, según el índice de producción industrial manufacturero del INDEC. Se registró un ascenso en el nivel de pedidos de cubiertas para equipo original, gracias a la mayor cantidad de unidades cero kilómetros, fabricadas y para el consumo local de reposición.

Su fabricación es un proceso con un alto costo energético: por ejemplo, un neumático de auto insume 80 litros de petróleo crudo para su manufactura con caucho sintético vulcanizado. Hay que tener presente que los neumáticos se componen en un 80% de polvo de goma, 15% de acero y 5% de fibras textiles. La generación de neumáticos fuera de uso en el país, si se suman los consumos de fabricados a nivel local y los importados, supera las 135.000 toneladas anuales, según el INTI Caucho. De ese volumen, el 40% corresponde a CABA y GBA (54.000 tn).

V. Hacia una ley de responsabilidad del productor

Antes que los fabricantes y los gobiernos, ciertas iniciativas ciudadanas fomentaron la reutilización de los neumáticos como asientos de hamacas, defensas en embarcaderos, maceteros en huertas y jardines, que, si quedaban tirados al aire libre, pueden convertirse en focos infecciosos por ser reservorio de mosquitos y roedores.

En mayo de 2013, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación sancionó la Resolución 523/13, que establece una estrategia nacional para la gestión sustentable de los neumáticos de desecho. Años después, la cartera oficial comenzó a trabajar en la Ley de Presupuestos Mínimos para la Gestión de Residuos mediante la Responsabilidad Extendida del Productor, que ahora espera su tratamiento en Diputados. En la norma en debate se hace hincapié en la promoción del reciclaje inclusivo, pero también se incorpora una tasa ambiental y el criterio de la REP.



La economía circular vino a ofrecer una segunda vida a los neumáticos descartados.

Un mayor compromiso de los consumidores

Con abundante materia prima a la vista, la economía circular vino a ofrecer una segunda vida a los neumáticos descartados tras su uso tradicional. Así nació Regomax, la primera planta nacional dedicada al reciclado de las cubiertas fuera de uso, avalada por el INTI y el CEAMSE, que procesa más de 800 toneladas por mes (aunque tiene una capacidad de hasta 2.000 tn/mes), y las transforma en un producto de alto valor agregado para su posterior reutilización en diferentes aplicaciones. Incluso ha realizado exportaciones a Uruguay y Chile.

Los NFU de auto y camión son recibidos en forma gratuita en la planta procesadora, ubicada en José León Suárez en el partido bonaerense de San Martín, donde se pesan y acopian a la espera de su procesado. Estos neumáticos provienen de organismos, generadores, ONG y de diferentes municipios (los bonaerenses Saladillo, Avellaneda, Roque Pérez, Marcos Paz, Florencio Varela y el entrerriano de Viale), que junto a sus vecinos están comprometidos con el cuidado del medioambiente en sus distritos, con los que la empresa transformadora ha firmado convenios. Recientemente, también firmaron un acuerdo con la Comuna 12 porteña.

«En Regomax aseguran el correcto procesamiento y disposición final de los neumáticos, mediante la emisión del certificado de tratamiento extendido por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sustentable», explica Daniel Rodríguez, gerente general de la firma. También hay otras dos recicladoras en el país, en Godoy Cruz (Mendoza) y en Arroyo Seco (Santa Fe), si bien su capacidad es mucho más limitada.

Una segunda vida útil con reciclaje

En un principio los neumáticos son cortados y triturados, luego el caucho obtenido se deriva al sector de molienda mecánica, donde se reduce su tamaño y se separa cada partícula del acero y el textil que lo componen. El granulado del caucho se aplica en el relleno de canchas de pasto sintético (para fútbol validadas por la FIFA, rugby), bases para canchas de hockey, pistas de atletismo y baldosas de caucho para plazas infantiles.



Los neumáticos son cortados y triturados.

Por otro lado, el polvo de caucho es usado como asfalto modificado y otros productos moldeados de partículas más finas. “Nuestra empresa comercializa estos derivados y paga un canon anual al CEAMSE, que aportó 2 hectáreas de terreno por 20 años para la instalación de la procesadora”, aclara Rodríguez. Con investigación, creatividad y sofisticación, hoy existen un sinnúmero de manufacturas que derivan del reciclado de los neumáticos: suelas de calzado, vestimenta y accesorios, aislantes en vehículos, losetas de goma, protección lateral en barcos. También se emplean como materiales para la fabricación de tejados, pasos a nivel, masillas, moquetas, pistas de ciclismo y atletismo, cintas de freno, bandas de retención de tráfico, aislantes de vibración, alfombras, bajo juegos infantiles en plazas.

VI. Situaciones críticas – problemas

Los neumáticos son considerados productos prioritarios en la gestión de residuos debido a su volumen y composición (que los hace difíciles de gestionar en los vertederos), por su impacto ambiental (ya que no son biodegradables) y el peligro que representan para la salud (aumentan el riesgo de enfermedades como el dengue y el Zika, y pueden acumular lixiviados), por el peligro de incendio y los gases tóxicos que liberan en su combustión, pero también debido a su potencial de reutilización y reciclaje (principalmente para pisos de caucho, como combustible o como asfalto modificado). Debido a ello, en muchos países, se ha promovido legislación que establece la responsabilidad extendida del productor (REP) para los neumáticos, lo que significa que los fabricantes y distribuidores de neumáticos son responsables de gestionar los neumáticos al final de su vida útil, recolectarlos, reciclarlos o revalorizarlos a través del tratamiento más adecuado.

Debido a su masiva fabricación y su dificultad de tratamiento, los neumáticos en desuso se han convertido en uno de los mayores problemas medioambientales

en todo el mundo. En el Reino Unido, se desechan anualmente 25 millones de neumáticos, mientras que en Estados Unidos esta cifra alcanza los 250 millones. En España, cada año se generan entre 250.000 y 300.000 toneladas de neumáticos usados, de las cuales solo un 20 % se tratan para su reutilización, y el 80 % restante termina en los vertederos sin tratamiento alguno, poco más de la mitad se deposita en vertederos controlados y el resto en vertederos no controlados. En Europa, en los últimos años se han generado unos 205 millones de neumáticos, lo que a un peso promedio de 7.5 kg¹ totaliza por encima del millón y medio de toneladas. Las cifras son difíciles de dimensionar, sólo en Estados Unidos hay unos tres billones acumulados, en Alemania unas 630 mil toneladas” (Díaz, 2008).

La formación de este tipo de vertederos trae aparejados problemas característicos como la ocupación de grandes volúmenes, la contaminación de zonas naturales y del suelo y napas, la posibilidad de incendio (con la emanación de gases tóxicos que ello implica) y la proliferación de roedores e insectos (principalmente los mosquitos). El agua estancada procedente del agua de lluvia que recogen los neumáticos llega a aumentar por 4.000 la reproducción natural de ciertos mosquitos cuya picadura puede transmitir fiebres y encefalitis (Martín, 2015).

Uno de los mayores inconvenientes y costos para el procesamiento adecuado del NFU es la logística inversa necesaria para recuperar los neumáticos desechados y disponerlos en las plantas de procesamiento. En muchas ciudades, la recolección es uno de los cuellos de botella debido a la dificultad de coordinar la acción conjunta de los consumidores finales, del gobierno y las empresas privadas. Un estudio realizado en una ciudad de Brasil con menos de 100 mil habitantes comprobó que al crear una legislación municipal para regular la eliminación de los NFU utilizando benchmarking con otros municipios, y en los puntos de generación de los neumáticos mantener mecanismos de comunicación periódica para concientizar sobre la importancia de la disposición de llantas usadas, implementando un sistema de recolección regular en dichos puntos, con fechas fijas y sin costo inicial para los comercios participantes, tuvo como respuesta un incremento en la recolección del 50% (Fagundes et al., 2017).

Se hace indispensable que el sector público controle y exija el estricto cumplimiento de la normatividad hacia los comercializadores, mayoristas y minoristas, en lo que respecta a la recolección de los NFU. Por otra parte, hace falta acompañar esto con estrategias de comunicación dirigidas a la comunidad tendientes a la sensibilización hacia el daño producido por la deficiente disposición de NFU sobre el medio ambiente (Martínez Gallego, 2019).

Existe una estrecha relación entre la logística inversa y la reutilización de productos fuera de uso. La principal falencia del reciclaje y reutilización de llantas

¹ Un neumático de la medida 155/70 R13 pesa aproximadamente 6,5 kg, el 185/70 R13 entre 7,0 y 7,2 kg, el 175/65 R14 entre 6,5 y 7,2 kg, y el 195/65 R15 entre 8,2 y 9 kg.

se encuentra en la forma que estas son recolectadas y almacenadas después de su uso (Granados, 2016).

Alvarez Rivera et al. (2023) resaltan la importancia de considerar a los grupos vulnerables como parte fundamental de un proyecto social de reciclado de NFU, buscando generar un beneficio social y contribuir al desarrollo ambiental y social. Los autores mencionan problemáticas comunes que pueden ser abordadas a través de un emprendimiento social, como el analfabetismo, la pobreza, la exclusión, la drogadicción y la contaminación ambiental.

El desgaste de los neumáticos en su uso habitual genera la presencia de micro plásticos en el ambiente con graves consecuencias para la salud humana y el medio. Esto se incrementa con el uso de autos eléctricos debido a su mayor peso por las baterías (Velasco Pérez et al., 2023)

Un neumático fuera de uso tarda 1.000 años en desaparecer en la naturaleza. Por eso es importante reciclar, porque se contribuye a preservar el ambiente, se ahorra energía, se optimizan recursos y se incentiva un modelo de economía circular más justo con la sociedad y el planeta.

<https://ecogreenequipment.com/es/conoce-cuales-peligros-pueden-ocasionar-los-neumaticos-fuera-de-uso-nfu/>

¿Conoces qué peligros pueden ocasionar los Neumáticos Fuera de Uso (NFU)?

22 de enero de 2018

Debido al auge automotriz, es cada día mayor la cantidad de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) que se genera a nivel mundial. La acumulación de estos en botaderos de basura de manera descontrolada puede causar serios daños al medio ambiente ya la salud pública. Un neumático pasa a estar fuera de uso cuando alcanza su vida útil y debe ser sustituido por otro. De esa manera en los Estados Unidos para el año 2015, la cantidad de 460 mil toneladas de cauchos fueron a desperdicio y se almacenaron en vertederos de basura. Igualmente, en España para el año 2016, se desecharon aproximadamente 200.000 mil toneladas de neumáticos.

¿Cómo mejorar los NFU en la contaminación ambiental?

Sin lugar a duda, las cifras de alarma indicadas anteriormente revelan un grave problema ambiental, las consecuencias de este producto una vez que su tiempo de vida útil fue empleado son muchos, entre los cuales tenemos:

peligro de incendio. Cuando los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) se encienden, pueden quemarse durante meses, incluso años, y cuando la limpieza es finalmente posible, puede tardar incluso más que el propio fuego. El caucho de neumático es un gran combustible porque se puede quemar, lo cual, también lo hace peligroso. Aunque todavía es inflamable en forma triturada, la acumulación de un gran número de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en un solo lugar presentando un peligro de incendio mucho más grave, porque los neumáticos enteros atrapan gas metano de una manera que los fragmentos no lo hacen.

Productos Químicos Tóxicos

Debido a que los neumáticos están hechos de caucho sintético, no son biodegradables, y su composición química particular conduce a la lixiviación de tóxicos en el suelo y el agua. Las investigaciones aún no han determinado si los neumáticos montados en pilas aspiran suficientes productos químicos (como el óxido de zinc) para ser peligrosos, pero eliminar los neumáticos al quemarlos en lugar de reciclarlos de forma segura puede tener graves consecuencias para el medio ambiente.

NFU y el peligro en peligro de la Salud Pública

Otro de los grandes problemas que se están presentando en las ciudades donde se generan acumulaciones de Neumáticos Fuera de Uso (NFU). Corresponde al riesgo del cambio de la salud en las comunidades afectadas a estos sitios. Probablemente el peligro menos obvio que poseer los neumáticos es el peligro que se genera, cuando no se reciclan es la enfermedad. Las enfermedades no provienen de los propios neumáticos, por supuesto, pero proporcionan las condiciones adecuadas. Esto es debido a la gestión deficiente de residuos como son los neumáticos fuera de uso. Ya que en muchas oportunidades se les trata como basura normal, pero en este caso su acumulación sin control constituye un probable foco de infección por convertirse en estos NFU en lugares de anidamiento de fauna nociva y plagas. Es conocido que en diversas zonas se acostumbra a acumular neumáticos en los techos o botaderos cercanos a las viviendas. Luego con las lluvias se forman pozas artificiales en su interior, generándose lugares ideales para la proliferación del mosquito *Aedes aegypti* que es el vector principal del dengue.

Enfermedades y Plagas

El incremento de las plagas y los mosquitos, ya que estos depositan sus huevos en cualquier lugar donde puedan encontrar agua estancada. Después de una lluvia torrencial, los neumáticos viejos acumulan aguas que se encuentran en lugares ideales para el criadero de estos. La reproducción sólo se tarda de diez a catorce días para que los mosquitos se desarrollen desde el huevo hasta convertirse en adulto. De manera que más allá de ser simplemente una molestia, los mosquitos son a menudo vehículos de enfermedades graves. Tales como Chikungunya, Dengue y Fiebre Amarilla.

Además de las anteriores se encuentra la Encefalitis. Cuya transmisión se realiza por medio de los mosquitos. Se trata de una enfermedad fatal para niños pequeños. Los casos graves causan daño cerebral permanente, coma y muerte. Otro Virus que se transmite por los mosquitos es el Virus del Oeste del Nilo. Mucho más mortífero y extendido que las cepas de encefalitis. No existe una vacuna para el Virus del Nilo Occidental. Lograr combatir estos mosquitos se hace más complicado por la dificultad de hacer llegar insecticidas dentro de los apilamientos debido a las formas propias de los neumáticos. Además de este tipo de plagas. Los neumáticos fuera de uso constituyen un hábitat ideal para otros insectos peligrosos entre los que se pueden mencionar algunas especies de alacranes, arañas y roedores.

Situaciones Críticas-Problemas

Principales obstáculos:

- **Obstáculos vinculados con aspectos regulatorios** En primer lugar hay que mencionar la ausencia de una ley que regule la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), donde se determine con precisión los roles y obligaciones de cada actor en la cadena del neumático respecto de los residuos generados, a la vez que se asigne dónde recaen los costos y el liderazgo de su adecuada gestión (normalmente, con una ley de REP los fabricantes/importadores tributan una tasa por neumático nuevo enviado al mercado, que contribuirá a un fondo para el funcionamiento del sistema de reciclado). Tampoco la legislación establece la separación de los NFU en origen, de modo de facilitar la logística de su gestión posterior. Como consecuencia de todo esto no puede organizarse un sistema de gestión ordenado de los NFU para el conjunto de la economía. Con el propósito de compensar la carencia de una legislación marco de referencia, se han generado normativas locales en muchos municipios de la provincia, con distintos grados de organización y especificidad y formalización de la gestión municipal sobre los NFU. También se observa una carencia en lo normativo, de reglas y estímulos, que prioricen selectivamente las distintas opciones de transformación/recuperación en función de su mayor o menor contribución al sostenimiento ambiental (en la actualidad principalmente: procesamiento en hornos cementeros, transformación intermedia –granulado y asfalto modificado, en ese orden).
- **Obstáculos vinculados con aspectos logísticos** Desde el punto de vista de la logística, la distancia entre los puntos de generación de NFU y los sitios de transformación y reciclado, supone costos demasiado elevados de transporte de los neumáticos, lo que desalienta por un lado su transporte por parte de los municipios y por el otro compromete la rentabilidad de los transformadores que quisieran asumir su traslado. En la práctica a muchos municipios puede resultarles indiferente soportar el costo del envío a los procesadores o, alternativamente, despachar los NFU, mezclados con otros residuos, a un relleno sanitario. Este problema central acerca de “quién paga la cuenta” ha paralizado muchos proyectos de transformación de neumáticos fuera de uso y dificulta el funcionamiento a pleno de otros.

Obstáculos para:

https://www.ambiente.gba.gob.ar/pdfs/009_INFORME%20NEUMATICOS_OCT22_comprimido.pdf

Reconstrucción de neumáticos:

- **Desde el punto de vista regulatorio**, se señaló una debilidad en el sistema de controles (VTV, otras inspecciones) para detectar neumáticos que ya no pueden circular (asegurando su destrucción) y realizar un efectivo control de los neumáticos reconstruidos (realización en talleres certificados, bajo procesos normalizados, etc.). Necesidad de control sobre la importación de

ciertos segmentos de neumáticos asiáticos, para verificar que cumplan con la normativa vigente. Necesidad de generar una normativa que aliente la reconstrucción de neumáticos entre los entes oficiales del Gobierno nacional, provincial y municipal. Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires 90 Necesidad de generar incentivos para el desarrollo de la industria de reconstrucción (por ejemplo, premios a las empresas que lo hacen). Mayor control en los sitios de disposición final (destruir el neumático cuando ya no sirve más: trozar, cortar el talón, para impedir su reúso).

- **Desde un punto de vista más general**, la necesidad de un reordenamiento y coherencia entre la normativa de los distintos niveles (nacional, provincial, municipal), a través de una ley de REP que opere como elemento rector y ordenador y que induzca a un mejor reaprovechamiento a lo largo de toda la cadena del neumático, incluyendo la facilitación del acopio y traslado de neumáticos usados como actividad subsidiada. Necesidad de tomar ejemplos como el de Brasil, con un marco normativo nacional y gestión centralizada, así como el de Europa, con sistemas integrales de recolección y reciclado.

Reciclado:

- La principal limitante para el desarrollo de este sector reside en la falta de un suministro de NFU confiable, continuo y a un costo que haga factible la operación. La principal empresa en la PBA está operativa desde 2010. El CEAMSE fue su principal proveedor al principio, remitiendo el material sin costo; sin embargo, en la actualidad, cuando esa provisión supera las 15 mil toneladas deben pagarles por el suministro de NFU. Con otros proveedores esto no sucede y reciben los NFU sin costo por parte de empresas fabricantes de neumáticos, algunos municipios y grandes gomerías. Si bien la provisión de los grandes generadores tiene continuidad, no sucede lo mismo con los particulares, pequeñas gomerías, municipios, etc. Señalan que en este caso la recolección y traslado de los NFU debería correr a cargo de los municipios. Por una parte, esto resulta oneroso, por las distancias a recorrer y por el hecho de que se trasladan neumáticos enteros (el 70 % - 80 % del NFU entero transportado es aire, lo cual encarece el traslado). Como la tasa que pagan los municipios por entierro de todo tipo de desperdicios (incluyendo los neumáticos) en el CEAMSE es relativamente baja (\$1.200 \$/t), los estímulos para separar los NFU para otro destino son reducidos.
- **Una barrera importante a la entrada en este sector es el costo de los equipos.** Una de las empresas consultadas refirió que un triturador cuesta 2 millones de dólares (50 % Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires 95 más por importación); esa firma posee equipos hidráulicos alimentados por motores eléctricos: un triturador primario y tres granuladoras. El mantenimiento es el mayor problema de estos equipos. Consideran a los equipos chinos, por un lado, como descartables; por otro lado, en los equipos americanos y europeos un juego de cuchillas cuesta 40 mil dólares. Se estimó un costo total de la planta de 5 millones de dólares. Al preguntarse sobre los

equipamientos móviles para triturado de NFU en su lugar de origen, como modo de abaratamiento del traslado posterior, se informó que de todos modos el costo de ese equipamiento es elevado (no menos de 1,5 millones de dólares). Otro de los casos analizados es un emprendimiento que cuenta con dos equipos móviles que traslada a la fuente de provisión de NFU, donde cortan el neumático separando la banda de rodamiento de los laterales, reduciendo así un 75% el costo de traslado posterior. Al hacerse cargo del transporte, se convierten en una opción preferible para los municipios frente a otras opciones de destino de los NFU. En ese caso, la clave para mantenerse competitivos sigue siendo la distancia y la inexistencia de instalaciones de acopio o transformación ulterior de los NFU cortados, lo cual mantiene bajos los costos fijos. Sin embargo, debe señalarse que, al momento de redactar esta reseña, la encuesta de municipios que se lleva adelante detectó, simultáneamente, la presencia de una empresa que dispone de equipos trituradores móviles de menor costo y ofrece a los municipios el triturado in situ. Actualmente, tiene acuerdos con, por lo menos, ocho municipios y está en tratativas con otros tres. Deben asegurar la venta de las celdas y los laterales en sitios cercanos a los de recolección del material, minimizando el traslado y asegurando operaciones con la mayor simultaneidad posible entre la obtención y corte de los NFU y su ubicación posterior como productos en la zona aledaña (sin requerimiento de facilidades de almacenamiento y los costos operativos que ello implica). Por lo tanto, su mayor desafío actual es el de consolidar un mercado estable para sus productos; se trata de un modelo de negocio que todavía deberá probarse exitoso y en la actualidad no tiene incidencia mayor sobre el procesamiento de NFU. Ambos casos referidos comprueban la aseveración de que la logística de traslado de NFU enteros implica un costo que los municipios no están, en general, dispuestos a soportar y las empresas transformadoras no pueden financiar, sosteniendo al mismo tiempo una operación eficiente. Como efecto de lo expuesto, la planta de mayor porte opera normalmente al 50 % de su capacidad, afectando la posibilidad de recuperación de costos y de operar con niveles de rentabilidad adecuados. A su vez, la mitad de los municipios que acopian NFU no tienen previsto un sistema de gestión para su retiro y tratamiento posterior, quedando un stock ocioso. Se mencionó el contraste con casos como Alemania y Brasil, donde la existencia de una ley REP, permite subsidiar la producción de su caucho molido y ofrecerlo en condiciones que los productores locales consideran como de dumping en el mercado. Con respecto a Brasil, se señaló que allí el costo del caucho molido son 170 dólares /t, mientras que aquí se eleva a la t (USD 250). Como consecuencia de las condiciones expuestas, en el año 2019 se registró una importación de caucho granulado de 826,6 t (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020)). En particular, se informó que cierto granulado de caucho con pigmentos de mayor calidad es importado. Como contrapartida, una de las empresas reportó la exportación anual de unas 300 t a Chile y a Uruguay.

- La respuesta a la pregunta sobre qué hacer para fortalecer la competitividad de este sector tiene varias aristas: lo normativo (ley de REP, recolección diferenciada por parte de los municipios), la organización del acopio y del transporte de NFU, el corte temprano para minimizar costos, entre otras. En la última sección se tratará este problema y se sugerirá algunas opciones para superarlo.
- Producción de bienes finales con caucho granulado Existe una cantidad indeterminada de empresas locales (muchas veces vinculadas con las que, aguas arriba, trituran y granulan los NFU) que fabrican otros productos utilizando caucho granulado o en polvo. Si bien el estudio no ha profundizado en este aspecto, se mencionan algunos productos actualmente en fabricación o en fase de producción piloto o experimental. Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires.
- Asfalto modificado Esta es una opción de utilización del NFU una vez pasado por un proceso de molienda, para fabricación de asfaltos modificados. Se estima que pueden generarse formulaciones de hasta 18 o 22 % de molido de caucho, por lo que existe un alto potencial de uso para este propósito. El resultado es un asfalto de mayor dureza y viscosidad, aunque requiere más energía para calentarlo. Si bien aún no se está produciendo en el medio local más allá de pruebas y algunos lotes pequeños de experimentación, se incluirá en esta sección por su potencialidad para absorber una parte importante de la generación de NFU. En la actualidad se están realizando pruebas en YPF (que ha experimentado con la producción de juntas de pavimentos de hormigón), en colaboración con un proveedor local de caucho granulado. Esto es así porque se necesita una molienda especial para asegurar un adecuado proceso de dispersión posterior del caucho. Para ello, se requiere que el material se mantenga estable desde la elaboración hasta el vertido. Se señalaron problemas recurrentes también para otras aplicaciones: la necesidad de lograr un acopio constante y estable de NFU a un precio competitivo internacionalmente. Aquí se repiten ambos aspectos como limitantes para incursionar en una producción constante de asfalto modificado. En YPF se indica que podrían utilizarse entre 1000 y 1200 t de NFU al año en la producción de asfaltos. Para avanzar en esta área se requeriría, además de los aspectos señalados, algún estímulo en la normativa de contratación pública, la que podría estipular, por ejemplo, que un porcentaje del asfalto a utilizar en la obra pública debería ser modificado.
- **Producción de geoceldas.** Este es un proceso en el que se separa la banda de rodamiento de los laterales y se rellena con piedra partida con granulometría estandarizada o escoria de acerías, produciendo geoceldas que después son utilizadas para construir muros de contención de erosión, accesos a campos, industrias, feedlots y otras instalaciones. Pueden desarmarse posteriormente y tienen un costo menor a las geoceldas industrializadas. Sobre los laterales se estaba experimentando, al momento de producir este informe, en la cobertura de silos, de forrajes, etc. Permitirían

el reemplazo de la cubierta entera, sin alambres ni acumulación de agua ni suciedad, con mayor cubrimiento por unidad de peso y transporte.

- **Producción de canchas de pasto sintético** La producción de césped sintético deportivo y de superficies deportivas en general es uno de los principales usos del NFU procesado. Una sola empresa productora de canchas de césped sintético cubre entre el 70 % y el 80 % de la demanda nacional en ese rubro. Existe un número indeterminado de empresas que utilizan el caucho granulado para fabricar otros productos finales
- **Producción de pisos y baldosas de caucho** Otra de las aplicaciones locales del caucho granulado es la producción de pisos enteros o baldosas de caucho. Tal es el caso de una empresa de Santa Fe que, a tal efecto, recibe NFU de hasta 150 km de distancia (incluido el norte de la provincia de Buenos Aires) para su granulado y transformación en el producto final: baldosas amortiguantes y pisos de seguridad. · Aplicaciones directas de los NFU como soporte de silo puentes Una actividad detectada es la compra NFU a los casqueros (aquellos neumáticos que estos no pueden revender para un uso adicional en vehículos) y su reventa a productores de ganado. Los NFU, tal como están, se utilizan para los silos puentes que se emplean para acumular el alimento destinado a los animales por criadores de ganado, *feedlot*, tambos, etc. Los NFU se acumulan sobre los silos puentes, ejerciendo presión sobre los mismos y evitando la filtración de aire por debajo, que descompone el contenido. Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires 101 Normalmente esta actividad se realiza casi exclusivamente con NFU de autos y camionetas. Los de mayor dimensión resultan demasiado pesados para los silos puentes y requieren una logística más costosa. La provisión a los ganaderos se hace a través de los camiones jaula que regresan vacíos a su punto de origen y, por lo tanto, pueden trasladar los neumáticos con un costo de casi un 70 % más bajo del flete normal. Los productores ganaderos pagan los neumáticos y el traslado. Para un solo caso, que concentra el acopio y el transporte de NFU, se estimó un envío actual anual de hasta 100.000 NFU (cantidad que podría duplicarse). A un peso promedio estimado de 10 kg por neumático, esto supone un volumen de 1000 t/año. ›Otras aplicaciones de NFU sin transformar Existen otras opciones de aplicaciones de los NFU sin sufrir una transformación previa, muchas de las cuales han sido referidas por los municipios entrevistados durante este trabajo. Sin embargo, por la dispersión de casos y la falta de registro no es posible tener una estimación del volumen dedicado a estas aplicaciones. Pueden mencionarse entre otras: -Postes de seguridad -Muros de contención -Terraplenes en carreteras -Rompeolas -Barreras acústicas Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires 102 En respuesta a las encuestas suministradas, en 19 municipios se mencionó el uso de NFU en establecimientos rurales, mientras que, en otros 15 casos, como base y protección de silos bolsas. En 5 casos adicionales se mencionó el uso en alcantarillas y contención de tierra; delimitación de caminos; contención en caminos rurales; huerta; armado de composteras; adornos; y en otros 5

casos, la utilización en autódromos/autoclubes/karting, como protección y contención.

- **Valorización híbrida:** El coprocesamiento es la integración ambientalmente segura de residuos provenientes de una fuente o proceso conocido, al proceso de fabricación de cemento (Entrevista N°10, 2021). Siguiendo el criterio de la economía circular, tal cual se presenta en la Norma IRAM 29.600 (IRAM, 2020), que ordena según distintos ejes las diferentes técnicas de valorización de residuos, el coprocesamiento en la industria cementera se ubica en cuarto lugar, inmediatamente después de la utilización del residuo. Uno de esos residuos es el NFU, con un proceso de desgaste o daño estructural que hace imposible el reaprovechamiento en su función original. La razón por la que se ubica antes de la valorización energética es porque el coprocesamiento en la industria cementera asegura una recuperación integral del residuo. La técnica de coprocesamiento en la industria cementera proporciona una opción de valorización sostenible gracias a que realiza una recuperación eficiente de los R y S. No sólo se utiliza su energía remanente para la operación del horno de clinkerización, sino que también valoriza su parte material, incorporando las cenizas de combustión en la matriz del clínker. Esta recuperación tiene, a su vez, el efecto de reducir los requerimientos de combustibles fósiles y materias primas vírgenes no renovables (IRAM, 2020, p. 7). Esta técnica, entonces, proporciona un consumo sostenible de varios subproductos industriales, evitando que se conviertan en residuos.

VII. Propuestas – soluciones

La firma elaboradora de neumáticos Continental tiene por objetivo utilizar el 100 % de materiales sostenibles en sus neumáticos para el año 2050, y ya se encuentra realizando investigación con desechos urbanos y de la agricultura como: el silicato obtenido de las cenizas de la cáscara de arroz-, el uso de la planta dientes de león, obtención de humo negro del caucho reciclado o la elaboración de bandas de poliéster a partir de botellas de PET (Revista plásticos Universales, 2024).

Lo explicado en párrafos anteriores pone en evidencia la necesidad de trabajar sobre la disposición y manejo de los NFU, y en forma paralela se identifica la oportunidad de poder procesar estos materiales, contribuyendo con el medio ambiente y pudiendo generar una oportunidad de negocio y generación de empleo (Baquero, 2016).

Previo al reciclado del NFU, en los vehículos de carga, buses, tractores o de maquinaria agrícola, industrial o minera, es legal y conveniente la reconstrucción del neumático para extender su vida útil. La reconstrucción del neumático es un proceso mediante el cual se vuelve a utilizar un neumático gastado, sustituyendo solamente la banda de rodamiento o también sus laterales, duplicando así su vida útil. De acuerdo con las definiciones de la norma conjunta INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION (IRAM) 113.323 y

MERCADO COMUN DEL SUR (MERCOSUR) NM 225, el neumático reconstruido es un neumático usado que fue sometido por uno de los siguientes procesos para reutilización de su carcasa: 1.- Recapado, proceso por el cual un neumático es reconstruido por sustitución de su banda de rodamiento; 2.- Recauchutado, proceso por el cual un neumático es reconstruido por sustitución de su banda; de rodamiento y de sus hombros; 3.- Remoldeado, proceso por el cual un neumático es reconstruido por sustitución de su banda de rodamiento, de sus hombros y de toda la superficie de sus costados, este proceso también es conocido como recauchutaje de talón a talón (Alonso, 2022).

Las fuentes consultadas en la cámara de empresas dedicadas a la reconstrucción de neumáticos señalaron que los neumáticos renovados ofrecen el mismo potencial kilométrico (al menos en la primera reconstrucción) y la misma seguridad que los neumáticos convencionales. Los neumáticos de mayor tamaño (camión, bus, tractor) tienen en la actualidad 3 o 4 vidas útiles por reconstrucción. Esto aleja en el tiempo la necesidad de procesar y disponer los NFU (Alonso, 2022).

El reciclaje y la recuperación de neumáticos usados pueden considerarse estrategias razonables para solucionar este problema. Sin embargo, existen algunas limitaciones que superar, ya que un neumático está compuesto por diversos materiales y aditivos incorporados en el compuesto de caucho, convirtiéndolo en un sistema muy complejo (Morera, 2022).



Fuente: Retema (2024)

Los sistemas de tratamiento de neumáticos más utilizados en la actualidad son: la trituración a temperatura ambiente, el tratamiento húmedo, la trituración criogénica, la incineración con recuperación de energía, la pirolisis y la termólisis. El polvo de caucho resultante está constituido por varios polímeros naturales y

sintéticos: caucho natural (NR), estireno butadieno (SBR), polibutadieno (BR) y polisoprenos sintéticos (IR) (Diaz, 2008). A continuación, se describe brevemente cada uno de estos tratamientos.

Proceso de reciclaje por triturado a temperatura ambiente

Las plantas de reciclaje que utilizan el método de triturado a temperatura ambiente pueden estar planteadas para distintas capacidades productivas. Del proceso de triturado se obtienen entre un 70 % y 80 % de caucho molido, y el resto se compone de acero y fibra textil. Como ejemplo, se puede considerar una capacidad máxima de procesamiento de 2,000 kg/h de neumáticos de tamaño estándar (vehículos particulares, camiones y buses), lo que brinda una capacidad anual de procesamiento de entre 5900 a 7000 toneladas, estimada para unas 3500 horas de trabajo efectivo. El cálculo se realiza para una media de 287 días (de lunes a viernes, y sábado media jornada) menos unos aproximadamente 15 días feriados al año que en Argentina tienen la posibilidad de caer en días laborables. Esto nos da unos 272 días de trabajo efectivo al año en dos jornadas de 8 horas diarias.

Se destaca el hecho que este tipo de plantas no están preparadas para dar tratamiento a neumáticos procedentes de vehículos mineros, grúas, aviones, tractores y otra maquinaria agrícola, lo que requiere de equipamiento específico debido a las características (espesor, dureza y peso) de los mismos. En San Juan, se ha implementado una planta para el reciclado de neumáticos proveniente de las actividades mineras de dicha provincia argentina, que también puede dar tratamiento al resto de los neumáticos mencionados que no puede tratar una planta convencional.

En la recogida taller por taller, más los costes de transportes entre el centro de almacenamiento y clasificación y la planta de trituración y valorización, se gasta cerca del 55% de los ingresos, en gran parte debido al costo del combustible y de la energía eléctrica, ya que los procesos de trituración de neumáticos son electro-intensivos, por lo que una alteración al alza o a la baja de los costes energéticos impacta de lleno en los presupuestos de la planta de reciclaje (Peña, 2023 2). Por este motivo, resulta interesante analizar la viabilidad de la instalación de paneles solares en los techos de la nave industrial para reducir parcialmente los costos energéticos.

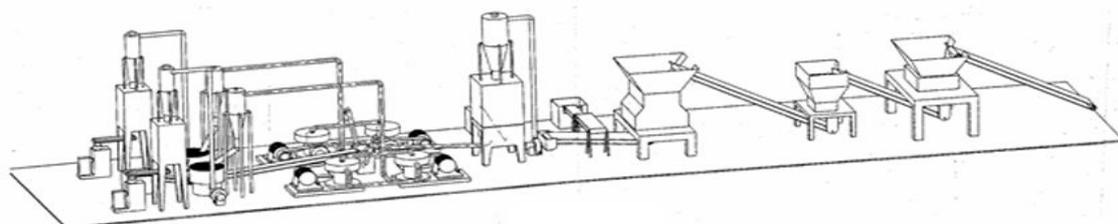
La principal limitante para el desarrollo de este sector reside en la falta de un suministro de NFU confiable, continuo y a un costo que haga factible la operación. La recolección y traslado de los NFU resulta oneroso, por las distancias a recorrer y por el hecho de que se trasladan neumáticos enteros (el 70 % - 80 % del NFU entero transportado es aire, lo cual encarece el traslado). La logística de traslado de NFU enteros implica un costo que los municipios no están, en general, dispuestos a soportar y las empresas transformadoras no pueden financiar, sosteniendo al mismo tiempo una operación eficiente. Como efecto de lo expuesto, la planta de mayor porte opera normalmente al 50 % de su capacidad, afectando la posibilidad de recuperación de costos y de operar con niveles de rentabilidad adecuados. A su vez, la mitad de los municipios que acopian NFU no tienen previsto un sistema de gestión para su retiro y tratamiento posterior, quedando un stock ocioso (Alonso, 2022).

Debido a ello sería interesante considerar la posibilidad de generar un trabajo conjunto con las cooperativas de recicladores urbanos, proveyéndolos de herramientas para el trozado y destalonado de los neumáticos, de manera que su transporte a la planta procesadora sea más eficiente.

Las 5900 toneladas se logran con una eficiencia en el uso de la capacidad de procesamiento del 80 % y utilizando media hora al inicio de la jornada para poner en funcionamiento la planta y media hora al final de la jornada para el apagado de las mismas y cierre de la planta (lo que en ambos casos incluye la muda de ropa de los operarios, almuerzo y descansos correspondientes).

Para evitar el recorte horario por jornada nocturna (en donde cada hora nocturna se computa como una hora y ocho minutos), la planta puede trabajar entre las 6:00 y las 21:00 horas (el primer turno de 6 a 14 horas y el segundo turno de 13 a 21 horas) ya que en Argentina la Ley 11544 establece que la jornada de trabajo nocturna no puede durar más de 7 horas diarias o 42 horas semanales. De este modo, durante una hora al día se trabaja con ambos equipos en forma simultánea y a una capacidad del 100 %. Otra opción es utilizar horarios rotativos del régimen de trabajo por equipos, en donde no aplica esta limitación.

Este tipo de plantas tienen una potencia instalada que ronda los 200 HP con un consumo energético menor a 0.35 Kwh/Kg. Se requiere de al menos 2000 metros cuadrados de área cubierta para la instalación de la planta de procesamiento, de los cuales 600 m² son ocupados por la maquinaria, y debido a que el proceso productivo se encuentra muy automatizado, solo se requiere de un mínimo de 4 operarios por turno. Las tareas principales de mantenimiento se concentran en las máquinas trituradoras, las que deben ser sometidas periódicamente al afilado, cambio de cuchillas y de los discos refinadores (Díaz, 2008).



Esquema propuesto de una planta de reciclaje de NFU a temperatura ambiente
Fuente: Díaz, (2008)

El esquema de planta de reciclado a temperatura ambiente presentado en la ilustración anterior se compone de seis secciones, las que se encuentran íntegramente controladas mediante un sistema computarizado. El proceso inicia del lado derecho de la imagen, en la que se ubica la sección de triturado, luego continua con la sección de granulado, la sección de pulverizado, la sección de desmetalizado, la sección compuesta de aireado y redes vibratorias intercambiables, para finalizar en la sección de empaquetado. Las distintas secciones del sistema se encuentran interconectadas por bandas transportadoras. Previo al triturado. El producto final usualmente se clasifica en distintas presentaciones: polvo de hasta 0.7 mm (tamaño máximo), grano de 2

mm (material entre 0.8 y 2 mm), grano de 3.5 mm (material entre 2 y 3.5 mm), grano de 5 mm (material entre 3.5 y 5 mm), grano de 10 mm y grano de 16 mm, las cuales se presentan en bolsas de papel de 25 kg o bolsas de 800 kg, además del acero y la fibra textil (Diaz, 2008).



Proceso de tratamiento de NfVU Fuente: Pérez Aparicio y Saiz Rodríguez, 2018

Resultados de la huella de carbono total de SIGNUS en 2012 (t CO ₂ eq)		
ACTIVIDAD DE RECOGIDA (todas las modalidades)	14.164	t CO ₂ eq
ACTIVIDAD DE TRANSPORTE DE NFU ENTERO	4.153	t CO ₂ eq
ACTIVIDAD DE TRANSPORTE TRITURADO Y CHIP	1.173	t CO ₂ eq
ACTIVIDAD DE TRITURACIÓN	1.215	t CO ₂ eq
ACTIVIDAD DE GRANULACIÓN	9.115	t CO ₂ eq
TOTAL GESTIÓN SIGNUS 2012	29.820	t CO ₂ eq
GESTIÓN SIGNUS 2012 POR TONELADA	186	Kg CO ₂ eq/ t de NU gestionado

Fuente: Signus, (2014)



Figura 4. Acero y fibra textil separados durante el proceso de transformación.



Figura 5. Diferentes granulometrías del caucho procedente de los NFVU.

Fuente: Pérez Aparicio y Saiz Rodríguez (2018)

Trituración húmeda

Este tratamiento, variante del anterior, utiliza partículas con tamaños menores a la malla # 20, las que se humedecen y se hacen pasar por un sistema de molienda, produciendo partículas mucho más uniformes y con un rango de tamaños amplio y predecible. Este sistema exige luego un sistema de secado para controlar el contenido de humedad, elemento que no se requiere en el proceso anterior (Díaz, 2008).

Trituración criogénica

En este tratamiento, los neumáticos previamente cortados en trozos son previamente enfriados y luego sometidos a muy bajas temperaturas (-195,8 grados centígrados) mediante la aplicación de nitrógeno líquido en forma de espuma criogénica dentro de túnel de ciclo cerrado aislado al vacío. Debido a la baja temperatura, el caucho se vuelve frágil y quebradizo, lo que facilita mucho su molienda (en un tamaño de 0,1 mm) y la separación de las cenizas, acero (mediante separación magnética) y fibras textiles. Este tratamiento tiene como ventaja que no genera ninguna contaminación ya que todo el proceso se realiza en un tuvo al vacío mientras que el proceso de triturado a temperatura ambiente necesita que el aire circundante sea filtrado ya que puede liberar polvo o partículas de caucho y fibras. Como desventaja, es tecnológicamente más complejo y costoso en su instalación y mantenimiento (Díaz, 2008, pág. 37).

Se ha realizado un estudio exhaustivo y sistemático para comprender el mecanismo de reparación de los compuestos de caucho SBR y la influencia del polvo de neumático de desecho (GTR), molido criogénicamente (c-GTR) y modificado químicamente (m-GTR) como carga sostenible. La modificación mecano-química del GTR se logró mediante una combinación de crio-molienda y tratamiento químico, reduciendo el tamaño medio de las partículas a 100-150

µm. La modificación más efectiva se realizó con ácido sulfúrico, aumentando el contenido de oxígeno en la superficie del GTR. Los compuestos con c-GTR y m-GTR mostraron un buen equilibrio entre resistencia a la tracción y capacidad de reparación, confirmando su potencial como cargas sostenibles en materiales elastoméricos. La combinación de enlaces disulfuro y enlaces iónicos reversibles en la superficie del m-GTR promovió un compromiso entre eficiencia de reparación y rendimiento mecánico. El uso de un agente de acoplamiento mejoró la dispersión e interacción de la carga con la matriz SBR, aumentando la resistencia mecánica, pero limitando la capacidad de reparación. Además, se desarrollaron compuestos híbridos de SBR combinando m-GTR con cargas convencionales como negro de carbono (CB) y sílice (Si), superando las limitaciones de c-GTR y m-GTR. El sistema híbrido con 20 partes por cien de caucho (ppc) de m-GTR y 20 ppc de CB (m-GTR20-CB20) resultó ser el mejor, logrando un equilibrio positivo entre resistencia mecánica y eficiencia de reparación (Morera, 2022).

Incineración para su aprovechamiento energético y en la industria cementera

La sustitución de combustibles fósiles en el sector cementero por NFU y otros residuos, es una oportunidad para reducir el vertido de residuos y a la vez reducir el consumo de otro tipo de combustibles. Las características técnicas de los hornos de clínker permiten la valorización tanto de los neumáticos completos, de tamaño reducido, como de los neumáticos troceados (Guzmán, 2010, pág. 46). De este modo, es posible retirar el armazón metálico del neumático antes de enviarlo a la planta para recupera el acero, que tiene un valor de recupero interesante, si es que el costo de retirarlo es menor que el precio de venta del acero recuperado.

En este tratamiento, mucho más contaminante para la salud humana que los anteriores, se genera calor que puede ser utilizado para la generación de energía o en procesos productivos, mediante la combustión de los materiales orgánicos del neumático (caucho y fibras textiles) a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Estos materiales difieren en su velocidad de combustión y generan residuos que deben luego ser depurados. Sin embargo, existe la tecnología apropiada para evitar la mayor parte de la contaminación por monóxido de carbono, xileno hollín (que contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos poli cíclicos), óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono, óxidos de zinc (particularmente tóxico para la fauna acuática), benceno, fenoles, dióxido de azufre, óxidos de plomo y tolueno, muchos de los cuales son solubles en agua con lo que pueden pasar a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos (Díaz, 2008).

El caucho y los textiles son usados para su recuperación energética en la producción de ladrillos, calderas industriales, en plantas de energía, en las fábricas de pulpa y papel (Alonso, 2022).

Cabe destacar el gran poder calorífico contenido en los neumáticos, de entre 7.000 a 8.000 Kcal/kg, lo que supera a muchas calidades de carbón, y a todos los componentes de los residuos sólidos urbanos, pero se sitúa por debajo del fuelóleo. Esto es consecuencia del alto contenido en compuestos

hidrocarbonados en los polímeros de caucho, alcanzando composiciones básicas de más del 75 % en carbono. Su incineración con recuperación de energía, en instalaciones diseñadas al efecto o como sustituto del carbón, es frecuente en centrales térmicas para cogeneración eléctrica. La incineración a más de 1.000°C destruye completamente el neumático, y minimiza las emisiones de dioxinas y furanos. En el proceso de incineración se generan residuos sólidos reciclables (como el acero y el óxido de zinc) y algunos fangos constituidos por sulfato de calcio, sulfito de calcio y sulfato de sodio, además de gases residuales (Díaz, 2008).

Asimismo, es usual su incineración en cementeras, donde se emplean, previamente trozados en tamaños de 5x5 cm o 10x10 cm (excepto que el horno este equipado con un precalcinador), tanto como combustible en los hornos como en las torres de enfriamiento. Los residuos metálicos se incorporan al clínker, el azufre a la cal y las cenizas a la escoria, lo que garantiza la total eliminación del neumático. El clínker es un producto en forma de gránulos o pequeñas bolas, de entre 0,5 y 25 mm, que se forma a partir de la calcinación de caliza, arcilla y otros componentes minoritarios, a temperaturas que oscilan entre los 1350 y 1450°C y se utiliza en la fabricación de cemento. El clínker resultante, que es de un color algo más oscuro que el habitual debido a la presencia de metales no combustionados, es luego molido y se mezcla con cenizas volantes, escoria, puzolana y yeso para crear el cemento. El Instituto para la Protección Medioambiental del estado de Baviera (Alemania), llegó a la conclusión de que la mejor forma de eliminar neumáticos desechados era quemarlos en los hornos de cemento (Díaz, 2008).

Las plantas cementeras reúnen las condiciones necesarias para llevar a cabo una quema limpia de neumáticos desechados y aprovechar así su alto contenido calórico en reemplazo del petróleo o carbón. La elaboración del clínker se lleva a cabo al interior de hornos rotatorios que requieren de una gran cantidad de energía, suministrada por el combustible, que se inyecta al horno, y representa el mayor costo económico en la fabricación del cemento (Díaz, 2008).

Las fuentes consultadas señalaron que en el caso de tener que pagar el traslado de NFU más la trituración, la operación no es factible, ya que la utilización de los neumáticos resulta más costosa que con el uso de combustible tradicional. Esta situación se hace todavía más limitante cuando por factores del mercado se reduce el precio de venta de dichos combustibles (Alonso, 2022).

Puertas et al (2003) sostiene que los clinker fabricados con combustibles alternativos no presentan diferencias significativas en la composición mineralógica respecto de los obtenidos con combustibles convencionales. Los elaborados con neumáticos presentan un contenido mayor de zinc, pero cumplen con las normas vigentes, tanto en sus características físicas como especificaciones químicas, y su comportamiento mecánico se ajusta a norma y es independiente del tipo de combustible utilizado. Tampoco el comportamiento reológico de las pastas de cemento se ve afectada.

Un estudio de emisiones de treinta y una plantas de cemento que actualmente utilizan neumáticos fuera de uso en Estados Unidos de América de 2008

concluye que la emisión de dioxinas fue hasta un tercio menores de las emisiones de estos contaminantes en los hornos que utilizaban combustibles convencionales como el carbón, coke y gas natural. Esta diferencia resultó estadísticamente significativa. Las emisiones de materia particulada de los hornos que empleaban NFU fueron un 35% menor y las emisiones de los óxidos de nitrógeno, varios metales, y dióxido de azufre también presentan valores de emisión menores que los combustibles convencionales. Las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos totales fueron ligeramente mayores en las instalaciones que utilizan neumáticos respecto de las que no los usan. De este modo, el proceso de combustión de neumáticos reduce o no incrementa significativamente las emisiones de varios contaminantes procedentes de los hornos de cemento (CEMA, 2014, pág. 52).

Meriólisis

La Meriólisis es la descomposición térmica (termodescomposición) de los residuos por medio de presión y temperatura entre 650°C y 1200°C (calentando, no quemando) en ausencia de oxígeno. El tratamiento no produce emisiones ni contamina el medio ambiente. La tecnología de Meriólisis cumple totalmente con todos los estándares de emisiones. Permite transformar cualquier tipo de residuos, excepto los inertes, en energía.

Previamente al tratamiento se retira el esqueleto de acero del neumático y se separa la fibra. El caucho recuperado se reduce a pellets. En el proceso de meriólisis, los pellets ya secados se introducen por una tolva que ha de ser alimentada continuamente, y en la que un sistema de cuchillas permite su entrada a la vez que limita la entrada de oxígeno para que no se produzca combustión de ningún tipo. El proceso dura 1 a 3 horas. La retorta se calienta con la ignición del propio gas recuperado por la planta, la temperatura en el tubo superior es menor que en el inferior. En el tratamiento de cualquier tipo de residuos, en función del producto que se quiera obtener, se ajustará la temperatura. Cuanta más temperatura, más syngas y menos carbón y viceversa. Gracias a esta posibilidad, se obtiene un mayor rendimiento que en las plantas de pirólisis.

En el caso del tratamiento de neumáticos, al aplicarles el proceso de meriólisis se obtiene combustible Fuel Bunker a $\leq 1\%$ de Azufre y humo de carbón. De cada tonelada de caucho se obtienen entre 500 y 600 kg de combustible. El carbón puede ser empleado para fines industriales y químicos (Landfillsolutions, 2024b). El Fuel Bunker o Fueloil se utiliza como combustible de sustitución por industrias que basan su actividad en un alto consumo de energía, como el caso de las empresas cementeras, fomentando el ahorro energético, mientras que el humo de carbón también se puede emplear como combustible no contaminante para industrias.

La presión interna dentro de la retorta está entre 1 y -1kPa (0,01 y -0,01 bares). Una vez los pellets han discurrido a lo largo de ambos cilindros, se han descompuesto y liberado todos los gases contenidos en su interior caen a unas cintas transportadoras en forma de humo de carbón si la basura tratada tiene solo componente inorgánico. Los gases producidos por la descomposición de los

pellets pasan a una gasificadora donde se purifican a la vez que se van enfriando, pasando de 650 a 40°C en el proceso (Landfillsolutions, 2024a).

Gasificación (Pirólisis y termólisis)

Bajo el nombre de *gasificación* se engloban los procesos de combustión en condiciones de defecto de oxígeno, con producción de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno y metano, en proporciones diversas según la composición de la materia prima y las condiciones del proceso. La temperatura de operación oscila entre 700 y 1500°C y el oxígeno se limita entre un 10 y un 50% del teóricamente necesario para una combustión completa (Martínez Morán et al., 2004).

Pirolisis

Tanto la pirolisis como la termólisis son procesos basados en la descomposición, despolimerización y craqueo del caucho al someterlo a altas temperaturas. En la pirólisis el aporte energético es interno por combustión del residuo. En este proceso, la naturaleza y la composición de los productos finales dependen de las propiedades de la materia tratada, de la temperatura y presión de operación y de los tiempos de permanencia del material en la unidad de pirólisis (Martínez Morán et al., 2004).

La pirólisis es un proceso termoquímico que descompone materiales orgánicos mediante calor en ausencia de oxígeno o con un suministro muy limitado de oxígeno. Este proceso se lleva a cabo a altas temperaturas, generalmente entre 300°C y 800°C, y produce productos gaseosos, líquidos y sólidos. Es un proceso que degrada térmicamente una sustancia y tiene tres etapas: la dosificación y alimentación de la materia prima, la transformación de la masa orgánica y la obtención y separación de los productos (coque, aceite y gas). De este modo, los productos obtenidos tras este proceso son: gases, compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos; líquidos hidrocarbonados y un residuo sólido carbonoso (Martínez Morán et al., 2004).

Este tratamiento es de los menos extendidos debido a la complejidad de la separación de compuestos carbonados, ha tenido experiencias muy exitosas en Taiwán desde 2002. Los productos obtenidos después del proceso de pirolisis son principalmente: un gas similar al propano que se puede emplear para uso industrial, aceite industrial líquido que se puede refinar en diésel, coque y acero (Díaz, 2008).

Según el modo de transmisión de calor, los procesos de pirolisis se clasifican en: autotérmicos (calentamiento por contacto directo con una sustancia caloportadora) (gas, aceite, esferas cerámicas, etc.) o alotérmicos (cuando los NFU están separados del elemento calefactor por una barrera física). Respecto de la velocidad de transmisión del calor o la presión de operación, la pirolisis se puede clasificar en pirólisis lenta a presión atmosférica o en pirólisis flash en la que el tiempo de residencia de los gases en el reactor es generalmente inferior a medio segundo alcanzando temperaturas de hasta 1000°C. Estos procesos pueden ser llevados a cabo en distintos tipos de reactores, como el horno vertical

u horizontal, el horno multipiso, el reactor rotatorio, el lecho poroso agitado, el lecho fluidizado y en el tornillo de Arquímedes (Díaz, 2008).

En la evaluación del reactor de lecho fijo se determinó que la variable de mayor influencia significativa sobre el rendimiento de los productos provenientes del proceso de pirólisis de NFU es la temperatura de operación, debido que al trabajar a 500 °C, el rendimiento del producto líquido máximo alcanzado es 52.87 %, el rendimiento del producto sólido se mantiene en un valor promedio de 42.39 % y el rendimiento del gas alcanza un máximo de 9.92 %, caso contrario ocurre al trabajar a 600 °C el rendimiento del combustible líquido sufrió un efecto negativo y este disminuyó en promedio el 3.04 %, en caso de los rendimientos del producto sólido y gas, estos sufrieron un efecto positivo, ya que estos incrementaron en promedio del 0.52 y 2.53 % respectivamente (Altamirano y Mamani, 2023).

En todo el mundo se están desarrollando proyectos encaminados a la obtención de productos de alta calidad a partir de los neumáticos fuera de uso, como el TPO o aceite pirolítico, un valioso combustible industrial y el *Recovered Carbon Black*, pero es necesaria mucha más implicación por parte de las administraciones, ya que por sí sola, la intervención privada no es suficiente, tanto en la investigación, como en la financiación (Peña. 2023).

El negro de carbono consiste en un aglomerado de partículas, cuya estructura se encuentra totalmente desordenada. Un proceso permite obtener grafito desde el negro de carbono, un subproducto que se genera a partir de la pirólisis de NFU. El procedimiento tecnológico desarrollado permite, mediante un proceso químico-térmico, transformar este carbón en grafito, cuya estructura es ordenada y cristalina, un producto con un alto valor comercial y tecnológico. Los análisis de laboratorio realizados mediante difracción de rayos X, indican que la conversión a grafito desde el negro de carbono conduce con éxito a un material con un alto grado de cristalinidad y pureza (Alonso, 2022).

El proceso de pirolisis permite la recuperación del negro de carbón o negro de carbono (CB por sus siglas en inglés, Carbon Black) que es un material carbonoso amorfo producido por la combustión incompleta de hidrocarburos derivados del petróleo. Por sus características como reforzante, la producción de este material se destina mayoritariamente a la fabricación de neumáticos, por lo que resulta razonable enfocar la atención a la recuperación del mismo una vez los neumáticos han terminado su vida útil. Adicionalmente, la producción de CB supone un serio impacto ambiental en forma de emisiones de CO₂ de origen fósil (del orden de 2.4 kg de CO₂ por kg de CB producido). Además, el coste de producción de CB mediante el proceso más común (Furnace Black) es bastante volátil pues está altamente ligado al precio del barril de crudo de petróleo, provocando variaciones importantes en las industrias que trabajan con este material y que finalmente repercuten en el consumidor final. Pero existen algunos desafíos asociados al CB recuperado de cara a su uso como alternativa al CB comercial (Sanchis, 2022).

La pirólisis produce un residuo de carbono sólido que sometido al calentamiento flash, alrededor del 70 % se convierte en grafeno, que tiene múltiples

aplicaciones. Para ello, se usa una descarga de electricidad para sobrecalentar rápidamente casi cualquier fuente de carbono a unos 2.725 °C, convirtiéndola en virutas de grafeno. (Alonso, 2022). Otra forma de obtener grafeno a partir de NFU, un material con potencial en distintas áreas, la describe Ríos Padilla (2023): el proceso consiste en una molienda del NFU que luego es mezclado con hidróxido de potasio, en proporción 1 caucho:2 KOH, que es posteriormente sometido a pirólisis por 8 horas, con pendiente de calentamiento de 5°C/min, hasta una temperatura de 1000°C. Posteriormente, el material sólido obtenido sería purificado mediante neutralización, con control de pH mediante HCl, con un set-point de 7, pasando a la última etapa de lavado con agua destilada y filtrado de material purificado.

El proceso de pirólisis resulta ser una alternativa de interés para el reciclado de neumáticos. A partir de 500 ° C y con 30 minutos de tiempo de reacción queda garantizada la descomposición completa de la materia orgánica del neumático.

Durante la pirólisis los neumáticos se descomponen generando del orden de un 39% de líquidos y un 18% de gases, y queda alrededor de un 44% de material sólido. Los líquidos de pirólisis pueden utilizarse como fuente de compuestos químicos valiosos tales como limoneno, tolueno, xilenos o hidrógeno (Laresgoiti Pérez, 2010).

Se han realizado estudios que demuestran que el NFU, como otros materiales poliméricos de desecho, puede ser aprovechado mediante distintos métodos físicos y químicos (uno de los cuales es la pirólisis) para la obtención de materiales carbonosos adsorbentes (MCA). Esos MCA son materiales porosos constituidos mayoritariamente por carbono y que poseen una gran superficie interna, y que debido a sus propiedades texturales y químico superficiales, es capaz de adsorber especies químicas tanto de naturaleza inorgánica como orgánica en fase gaseosa y en fase líquida, por lo que puede ser utilizado en el tratamiento de descontaminación del agua (Pereira, 2022).

Este proceso genera un 85% menos de CO₂ que otros métodos de reciclaje, lo que lo convierte en una fuente de energía limpia. Por cada 10.000 toneladas de neumáticos reciclados mediante pirólisis, se obtienen diferentes recursos:

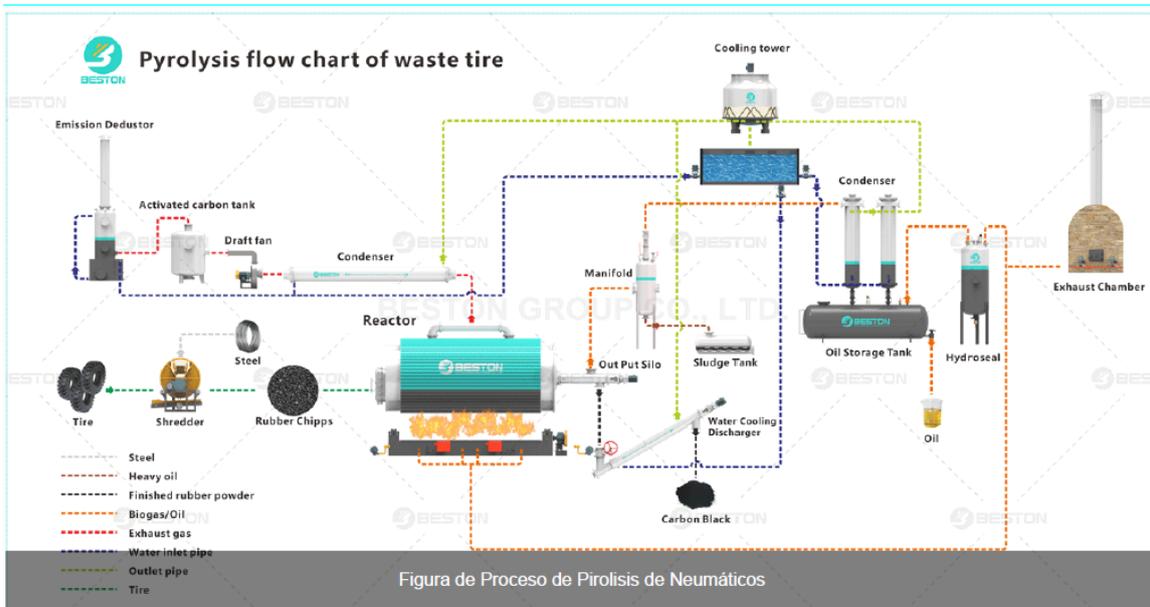
- 43% (4.300 toneladas) de aceite pirolítico, que se utiliza como combustible o para la producción de energía eléctrica o térmica.
- 41% (4.100 toneladas) de negro de carbón, utilizado en la fabricación de diversos productos petroquímicos.
- 15%-16% (1.500/1.600 toneladas) de gas de proceso, una fuente de energía limpia que se utiliza para autoabastecer la misma planta pirolítica” (TNU, 2023)



Fuente: TNU (2023)



Fuente: <https://www.bestoneco.com/planta-de-reciclaje-de-neumaticos/>



Beston Vende la Planta de Reciclaje de Neumáticos

Actualmente, tenemos tres tipos diferentes de máquinas de reciclajes de neumáticos, que se dividen en discontinuas, semicontinuas y continuas según sus métodos de trabajo.

Modelo	BLJ-3	BLJ-6	BLJ-10	BLL-16	BLL-30
Capacidad Diaria	2-3T	5-6T	8T-10T	13-16T	20-30T
Método de Trabajo	Discontinuo			Semi-Continuo	Continuo
Materias Primas	Residuos de Plástico, Neumáticos/Llantas, Caucho, Lodos de Aceite				
Tamaño del Reactor	D1.4m*L5m	D2.2m*L6.0m	D2.6m*L6.6m	D2.8m*L7.1m	D1.8m*L8.5m
Patrón	Horizontales y Rotativas				
Materiales de Calefacción	Fuel Oil, Gas Natural, GLP, etc.				
Poder Total	16.65kw/h	37.85kw/h	44.3kw/h	44.6kw/h	256kw/h
Solicitud de Área de Instalación (L*W*H)	18m*4.2m*6m	30m*12m*8m	33m*13m*8m	33m*13m*8m	70m*20m*10m
Peso	18T	32T	36T	42T	150T
Presión Operacional	Ligera Presión Positiva				Ligera Presión Negativa
Método de Enfriamiento	Refrigeración por Agua				

Fuente: <https://www.bestoneco.com/planta-de-reciclaje-de-neumaticos/>

Termólisis

En la termólisis los NFU son sometidos a temperaturas mucho más altas que en la pirólisis (en torno a los 500° C) y en completa ausencia de oxígeno. En la termólisis el aporte energético es externo y debido a ello se produce una reacción química en la que se rompen los enlaces químicos (craqueo) de los átomos que conforman sus compuestos y aparecen cadenas de hidrocarburos de cadenas cortas, medias y largas, constituyendo la fase gaseosa y sólida y siendo la composición básica del gas H₂ (dihidrógeno), CO₂ (dióxido de carbono), CO (monóxido de carbono), hidrocarburos y vapor de agua. De este modo, se obtienen los compuestos originales del neumático. Es un método que consigue

la recuperación total de los componentes del neumático (metales, carbones e hidrocarburos gaseosos) los cuales pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u otras actividades (Díaz, 2008, pág. 39 y 69). La termólisis, como caso particular de la pirólisis, es una descomposición de la materia por acción del calor en ausencia de oxígeno, sin producción de aceites, es decir, con esta técnica solamente se obtienen dos tipos de productos: una fracción sólida y una mezcla de gases, gracias a las condiciones utilizadas (Martínez Morán et al., 2004).

Desvulcanización

La desvulcanización es un proceso de regeneración o recuperación del material (caucho) que se realiza a los NFU, para reutilizarlos con diferentes propósitos. El principio consiste en la ruptura de los enlaces C-S, S-S mediante diferentes tratamientos, que se clasifican en físicos, químicos y biológicos. El caucho desvulcanizado se puede mezclar con caucho natural u otros tipos de polímeros (SBR, EPDM, TPV, etc.) para la producción de nuevos compuestos sin generar una disminución significativa de las propiedades mecánicas y físicas.

Existen distintos métodos de desvulcanización (Cano Serrano et al., 2007), a saber:

- Tratamiento físico: se desvulcaniza por una fuente de energía externa (por ejemplo: procedimiento mecánico por medio de la trituración, termomecánico previa trituración y sometimiento a elevadas temperaturas, criomecánicos y ultrasonido).
- Tratamiento químico: generalmente se vale de agentes químicos como bisulfuros o mercaptanos orgánicos, o también de agentes inorgánicos y el tratamiento puede ser mejorado mediante la catálisis por transferencia de fase.

Para una desagregación del tipo de tratamientos de desvulcanización:

- Desvulcanización química. Con agentes químicos se rompen enlaces para eliminar el azufre del enlace químico entrecruzado. Se emplea CO₂ super crítico con disulfuro de bifenilo.
- Desvulcanización térmica. Empleado para caucho natural, se calienta el polvo de caucho a una elevada temperatura sin agentes químicos. O desvulcanización por microondas, que provoca ruptura del enlace químico entrecruzado, un ajuste fino puede conseguir romper enlaces S-S y C-S, pero no C-C (Alonso, 2022, pág. 41).
- Desvulcanización mecánica. Un proceso que emplea aleaciones Fe-Co para reducir mediante catálisis la densidad de entrecruzamiento de cloropreno y EPDM con un porcentaje de desvulcanización de 43 %.
- Desvulcanización químico-mecánica. Aplica cortadura mecánica (molienda) sobre polvo de caucho, así se pueden producir radicales en la cadena principal. Aquí se añaden agentes químicos (dioles, disulfuro), evitando su recombinación; al mismo tiempo, los entrecruzamientos se abren y la viscosidad se reduce.
- Desvulcanización termomecánica. Se emplea una extrusora que calienta el polvo de caucho, produciendo una masa viscosa que es mezclada con el

compuesto virgen. Así aumenta la fracción sólida y disminuye el número medio de entrecruzamiento.

- Desvulcanización termoquímica. Se emplean temperaturas de 150 °C a 190 °C durante un tiempo dado, se extrae la masa ablandada y se lamina en un molino de dos rollos.
- Desvulcanización ultrasónica. Sin agentes químicos y con ondas ultrasónicas se rompen enlaces químicos del azufre entrecruzados en el caucho, produciendo la desvulcanización, degradando la cadena principal bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, reprocesando y revulcanizando normalmente (Alonso, 2022).

Consigue una descomposición de los componentes del neumático, a la vez que permite reutilizar los componentes de los NFU para fabricar distintos elementos. Como aspectos negativos, se obtiene un caucho con propiedades físicas inferiores al original y requiere una óptima selección de materias primas y condiciones de proceso (Alonso, 2022, pág. 42).

Los resultados señalan que el proceso de desvulcanizado de los neumáticos fuera de uso mediante microondas (GTRdmw) se presenta como el más efectivo, seguido del desvulcanizado químico-mecánico (GTRdcm), y del desvulcanizado mecánico (GTRdm), siendo este último el que presenta resultados más discretos en todos los ensayos efectuados. Concretamente, con el desvulcanizado con microondas (GTRdmw) se ha mejorado la compatibilidad entre los neumáticos y el elastómero inicial (SBR/ NR), demostrándose que el proceso de desvulcanizado homogeniza las partículas de GTR, disminuye su tamaño y rompe entre otros los enlace S-S, con lo que se permite una efectiva revulcanización. Los resultados a tracción obtenidos ponen de manifiesto este hecho, observándose un incremento de la resistencia a tracción y la deformación a rotura en todas las muestras desvulcanizadas con GTRdmw respecto de las muestras con GTRdn sin devulcanizar. Los resultados de tracción de estas muestras han quedado por debajo de los obtenidos para el elastómero inicial SBR/NR (Mujal Rosas et al., 2017).

Finalmente, cabe mencionar que existen estudios como el de Alonso Pastor (2022) en donde se analiza el aprovechamiento del caucho proveniente de neumáticos fuera de uso en elastómeros autorreparables mediante distintos procesos fisicoquímicos. En el estudio se evalúa el potencial de aprovechamiento del caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), como un refuerzo eficaz para mejorar el rendimiento de cauchos autorreparables. Para ello, se han correlacionado la macro y microestructura del polvo de caucho de NFU (GTR) y del producto desvulcanizado derivado (dGTR), con las propiedades y el comportamiento de un caucho estireno-butadieno (SBR) autorreparable. Los materiales autorreparables son aquellos que tienen la capacidad de recuperar total o parcialmente sus propiedades iniciales después sufrir un daño. Esta capacidad permite prolongar la vida útil de los materiales, retrasando el momento en el que tengan que ser desechados (1). Sin embargo, los materiales autorreparables están lejos de poder ser extrapolados a aplicaciones de la vida real, pues sus prestaciones, tanto mecánicas como de reparación, son aún incipientes.

Resumiendo, los diferentes sistemas de tratamiento para NFU

TERMÓLISIS.

Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. Aparecen entonces cadenas de hidrocarburos. Es costoso y tiene el problema de valorizar el aceite pirolítico y el negro de humo. Esta es lo que pretendió poner RMD en Argoncillo-León y después en el resto de España.

PIROLISIS

Se encuentra aún en fase de investigación y presenta problemas técnicos de separación de la gran cantidad de compuestos carbonados que se producen en el proceso, además de ser muy costoso.

INCINERACION

Proceso por el que se produce la combustión de los materiales orgánicos del neumático a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Es un proceso costoso y además presenta el inconveniente de la diferente velocidad de combustión de los diferentes componentes y la necesidad de depuración de los residuos por lo que no resulta fácil de controlar y además es contaminante. Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, entre ellos el Monóxido de carbono – Xileno Hollín -Óxidos de nitrógeno, Dióxido de carbono-Óxidos de zinc Benceno-Fenoles, Dióxido de azufre-Óxidos de plomo, Tolueno. Además, el hollín contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos, altamente cancerígenos. El zinc, en concreto, es particularmente tóxico para la fauna acuática. También tiene el peligro de que muchos de estos compuestos sean solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos.

TRITURACION CRIOGENICA.

Este método necesita unas instalaciones muy complejas lo que hace que tampoco sean rentables económicamente y el mantenimiento de la maquinaria y del proceso es difícil. La baja calidad de los productos obtenidos y la dificultad material y económica para purificar y separar el caucho y el metal entre sí y de los materiales textiles que forman el neumático, provoca que este sistema sea poco recomendable.

TRITURACIÓN MECÁNICA.

Es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos

GASIFICACIÓN

El neumático se transforma en humo negro, un material que se utiliza precisamente para construir las ruedas y que se vendería a fábricas especializadas, dado que existe una gran demanda del mismo. Un 20 por ciento del producto resultante será gas pobre, que se utilizará en motores de generación eléctrica. La chatarra se agrupará en bloques para venderla a fábricas de metales

QUE SE PUEDE HACER

- Mejora de la vida útil, alargándola.
- Mejorar la calidad del recauchutado que solo es utilizada para los neumáticos más grandes, ahora mismo es de un 15%
- Recuperar mecánicamente la totalidad de los neumáticos, destinando la parte no metálica a varias cosas: losas y suelo de caucho para fines deportivos, centros infantiles, nuevos productos, paneles acústicos, bandas de protección de carreteras para motoristas, etc.
- Aunque, el grueso del consumo que proponemos es ser utilizados mezclados como parte del asfalto. Este uso supone importantes ventajas: mayor adherencia, menor ruido, menor desgaste neumáticos, mejor suelo en caso de lluvia. Está claro que tiene muchas ventajas, pero tiene el problema de que es más costoso y choca con el interés de las grandes empresas constructoras y petroleras.

PLANTAS EN ARGENTINA

INTI-CEAMSE-REGOMAX, la única planta que se instaló en la Argentina a nivel industrial para el reciclado de neumáticos fuera de uso. Actualmente la planta recupera casi 2 millones de neumáticos por año de los cuales el 95% se

transforma en relleno para canchas de pasto sintético y el resto en caucho en polvo que se incorpora a la industria del sector. “Resulta sumamente importante replicar esta experiencia público-privada en otros puntos del país, donde la problemática de los neumáticos fuera de uso sigue siendo un importante problema ambiental”,

PLANTAS NEUMÁTICOS FOR-REC

Las plantas FORREC de reciclaje de neumáticos desarrollan un ciclo de producción con el que se obtiene, a partir de neumáticos fuera de uso, materia prima secundaria de distintas granulometrías, con la separación simultánea del resto de componentes: acero y fibra textil. La primera fase del proceso consiste en la extracción del aro de acero de los neumáticos de camión. A continuación, el material se tritura finamente, hasta alcanzar una granulometría uniforme que se clasifica en el modo siguiente: 0÷2 mm y 2÷4 mm. Durante el proceso de trituración el acero es separado y almacenado a través de distintas fases de separación magnética. Las plantas cuentan con un sistema de limpieza que se desarrolla en varias fases, garantizando la separación total de la fibra textil, lo que permite obtener un producto granulado con el 99% de pureza. Un avanzado sistema de aspiración, con filtros y sistemas anti-incendio, garantiza el control de polvo, con arreglo a las normativas vigentes, y unas condiciones de trabajo seguras.

INFORMACIÓN TÉCNICA			
Planta	TY1500	TY2500	TY4000
Capacidad procesamiento (kg/h)	1500	2500	4000
Superficie requerida (m ²)	1500	1750	2000
Potencia instalada (KW)	600	750	900
Nº de operarios	4	5	6
INPUT	NFU automóvil camión, agrícola		
OUTPUT	gránulos de goma (60%), acero (35%), fibra textil (5%)		

INFORMACIÓN MECÁNICA			
Planta	TY1500	TY2500	TY4000
1º	Trituradora de doble eje TB1500	Trituradora de eje simple MR1500	Granuladora FMS150/70
2º	Trituradora de eje simple MR1500	Trituradora de eje simple MR2000	Trituradora de eje simple MR2000 (n.2)
3º	Granuladora FMS150/70	Granuladora FMS200/70	Granuladora

VENTAJAS TECNOLÓGICAS

- Número bajo de revoluciones, eficiente relación par elevado – bajo consumo.
- Baja emisión de polvo y consiguiente ahorro estructural en sistemas de aspiración.
- Contaminación acústica: nivel de emisiones bajo.
- Sistemas modulares que posibilitan ampliaciones posteriores.
- Excelente relación mano de obra empleada / automatismos.
- Sistema de ejes con motores y reductores independientes.
- Ejes intercambiables entre sí.
- Cojinetes situados fuera de la cámara de corte.
- Uso de aceros de alta calidad.
- Servicio de asistencia a distancia vía módem.

El reciclaje de neumáticos como solución al problema

Entre las soluciones que se manejan para disminuir el problema de la acumulación de los Neumáticos Fuera de Uso, se encuentra darle un rehúso y / o reciclaje a los mismos. Ya que es una de las maneras más fáciles de mantener las poblaciones de mosquitos bajo control para enfermedades como estas no se pueden propagar y evitar la contaminación ambiental.

La reutilización de los NFU, ya sean enteros o modificados para usos que no sean el ideado originalmente por el fabricante. Es una práctica muy común y aquél que la lleve adelante no encuentra límites más allá de los que le ponga su propia imaginación para darles una nueva vida. Por ejemplo: Implementación de parques infantiles. Defensa de muelles o embarcaciones. Rompeolas. En la construcción de barreras antruidos. Taludes de carretera, Pistas De Carreras. Entre muchas otras aplicaciones

Con relación al reciclaje, es un proceso un poco más complejo. Entre algunos ejemplos de estos se encuentra la fabricación de rellenos de caucho granulado para campos deportivos de césped sintético. La creación de asfaltos mejorados a partir de mezclas de las materias primas asfálticas con granos y / o polvo. Entre otras. Las cuales hablaremos más extensamente en los siguientes artículos.

Método de Coprocesamiento – Caso Geocycle - Pirelli

➤ GEOCYCLE

<https://www.carbono.news/economia/pirelli-y-geocycle-se-aliaron-para-recuperar-los-neumaticos-fuera-de-uso-y-convertirlos-en-cemento/>

Pirelli y Geocycle se aliaron para recuperar los neumáticos fuera de uso y convertirlos en cemento

Pirelli, uno de los principales fabricantes de neumáticos del mundo, y Geocycle, una empresa dedicada a la gestión de residuos, establecieron una alianza en Argentina para recuperar los neumáticos fuera de uso (NFU's) y utilizarlos para producir cemento de modo sustentable.

Para conseguir el cemento a partir de estos materiales, se utiliza el método de coprocesamiento. Se trata de "un método sustentable para gestionar los residuos, reconocido por el Convenio de Basilea de Naciones Unidas, que consiste en el aprovechamiento de su valor energético para lograr la total integración al proceso de producción del cemento, sin dejar ningún tipo de remanente, cenizas o subproductos adicionales. Esta tecnología permite recuperar energía y reciclar el componente mineral, con la consecuente reducción del uso de combustibles convencionales y materias primas", comunicaron las empresas.

Según informaron desde Geocycle, en el 2020 en Argentina la compañía coprocesó a través de sus centros de Mendoza, Jujuy y Córdoba unas 4.400 toneladas de NFU, equivalentes a aproximadamente 700 mil cubiertas de automóvil, contribuyendo así a ahorrar más de 2 mil toneladas de CO2.

Qué es el coprocesamiento de NFU

Se trata de un método sustentable que permite valorizar los neumáticos fuera de uso, los cuales se emplean como combustible alternativo para los hornos, sustituyendo la utilización de recursos no renovables para la producción de clinker, el principal componente del cemento Portland.

El coprocesamiento de residuos en hornos de cemento tiene una serie de ventajas sobre soluciones tradicionales debido a que las altas temperaturas y el largo tiempo de residencia dentro de los hornos, permite que el residuo quede completamente desintegrado, generando valor energético mientras que los minerales son recuperados incorporándose como insumo en la elaboración del cemento.

La totalidad de los compuestos que forman parte de un NFU se integran a la producción de cemento, no dejando vestigios ni subproductos luego del coprocesamiento.

Durante el pasado año (2020) y a nivel nacional, se gestionaron y revalorizaron más de 4.800 toneladas de neumáticos fuera de uso (NFU), aproximadamente a más de un millón de cubiertas, un producto muy contaminante que tarda más de 600 años en descomponerse.

En la Argentina Geocycle cuenta con más de 160 convenios, entre municipios y ciudades del país, para el coprocesamiento de sus RSU y los NFU, y tiene relación con más de 260 empresas a las que gestiona sus residuos

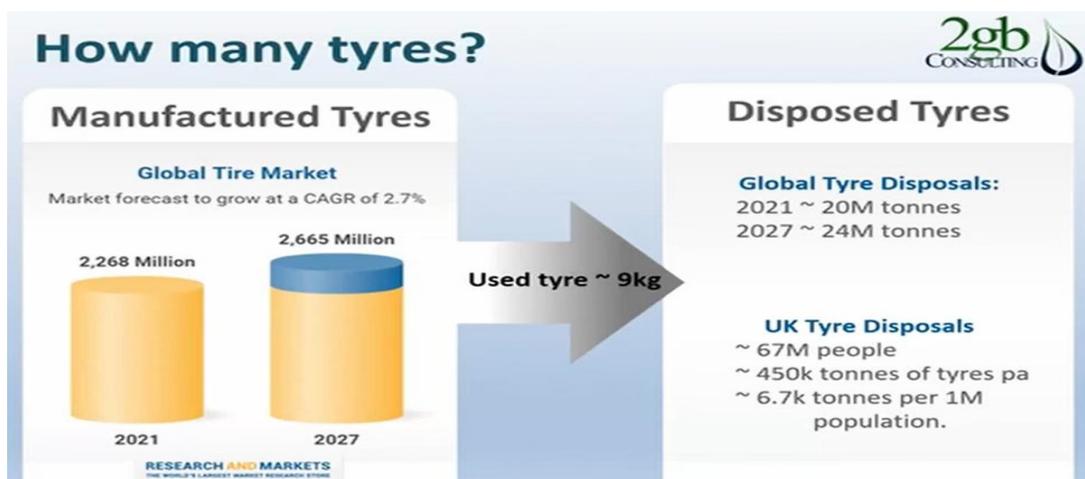
RECICLAJE DE NEUMÁTICOS Y TECNOLOGÍA DE PIROLISIS: CREACIÓN DE VALOR Y GESTIÓN DE RIESGOS EN ECONOMÍA CIRCULAR

En los temas de economía circular, la gestión de neumáticos al final de su vida útil es una de las grandes preocupaciones en términos de contaminación, la posibilidad de captación de su verdadero valor económico.

La tecnología de pirolisis se vincula a la economía circular, al utilizarse para convertir los residuos de neumáticos en productos valiosos. El proceso integralmente incluye comercialización, ingeniería, evaluaciones técnico-económicas, y el desarrollo de modelos financieros y operativos basados en riesgos para el desarrollo e implementación de estos proyectos.

Por un lado, mencionar que muchos de los aspectos se pueden extrapolar también a otros sectores o actividades de la economía.

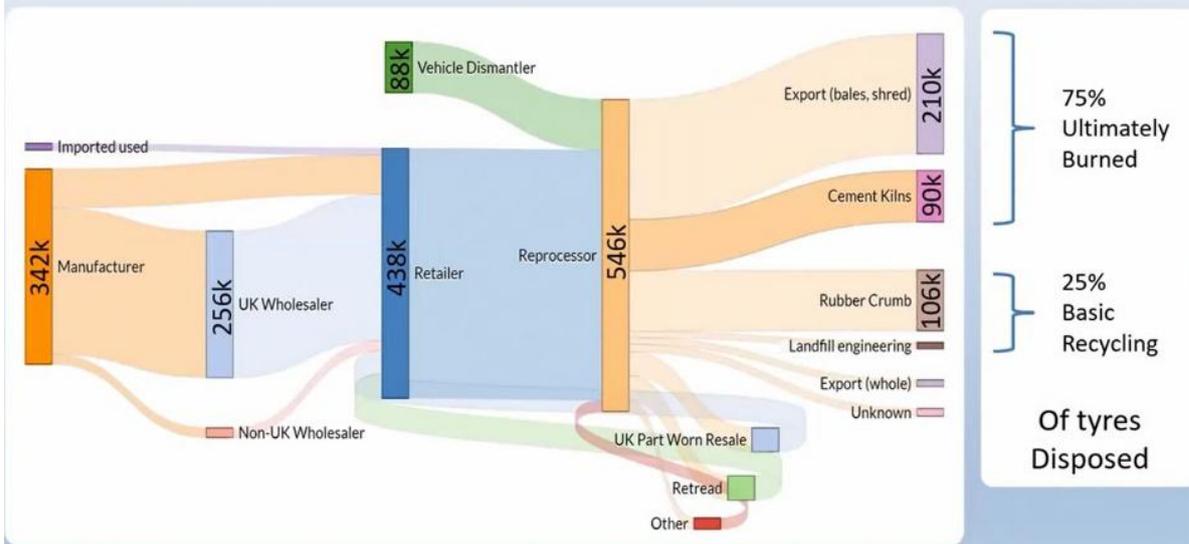
A nivel mundial, en el año 2021 se produjeron 2.268 millones de neumáticos, y esto llevaría a una producción proyectada de 2.665 millones en 2027. Muchos de estos neumáticos se están desechando. Si traducimos este desecho en la cantidad de neumáticos que se desechan, estas cifras corresponden a unos 24 millones de toneladas en neumáticos por año. En el Reino Unido, con una población de 67 millones de personas, y hay 450.000 toneladas de neumáticos al año, esto corresponde a 6.700 toneladas de neumáticos por millón de habitantes. El gráfico siguiente ilustra la mencionada situación



En este contexto, es preciso analizar las distintas situaciones y necesidades económicas en cada región o país. Por ejemplo, en el Reino Unido uno de los usos que se les da es emplearlos para relleno de terrenos.

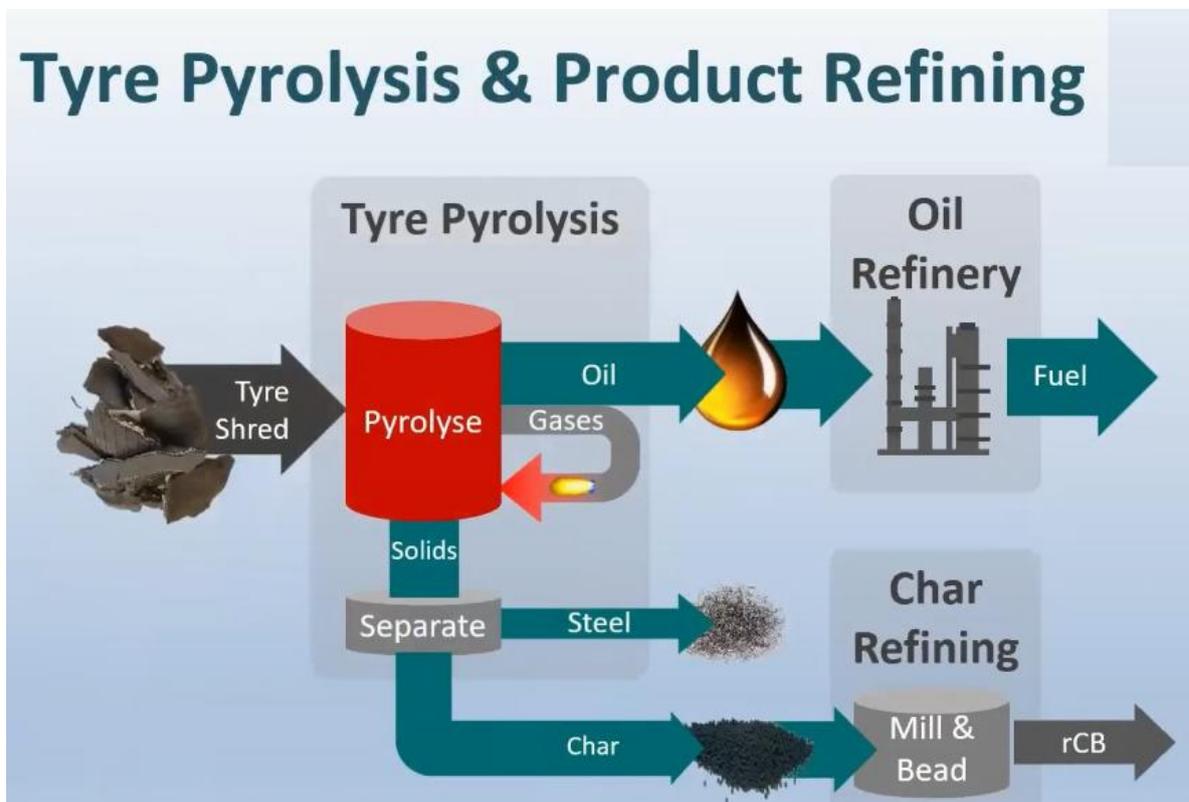
En la placa siguiente se esquematiza el ciclo de vida típico del neumático en el Reino Unido. Como puede apreciarse, un 25% llega a reciclaje o reutilización de alguna manera, en algunas oportunidades se utilizan para piezas de caucho o para relleno de ingeniería, entre otros usos. Una gran parte termina siendo incinerada.

UK Tyre Lifecycle

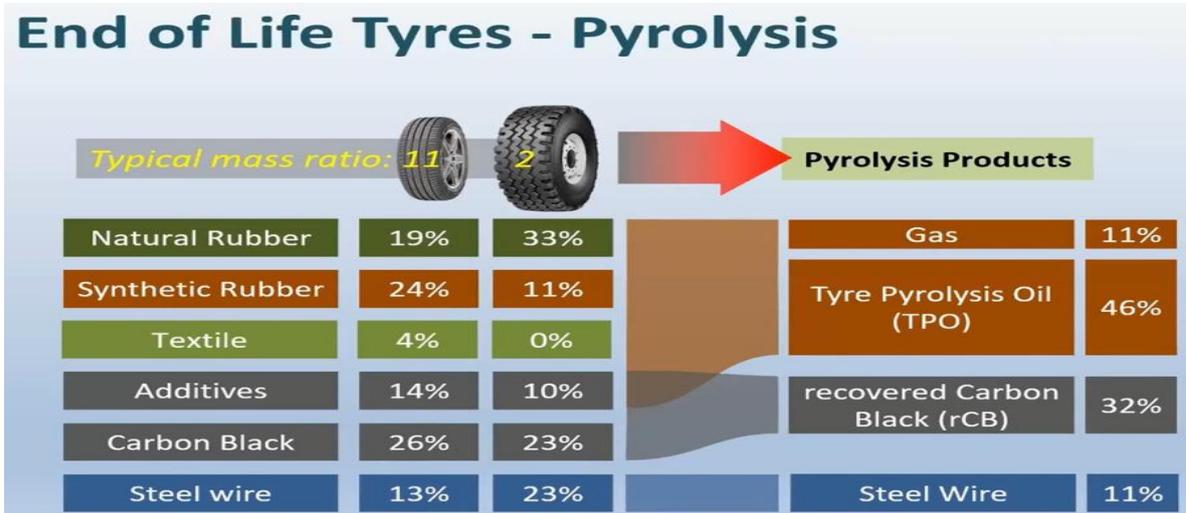


Hay muchas formas de reciclar neumáticos que se ha desarrollado, una de ellas es la pirolisis de neumáticos, que es un proceso relativamente sencillo, tal como se sintetiza en la siguiente placa. En este proceso, se toma los neumáticos que están despedazados, se llevan a alta temperatura aprox. 100 grados centígrados durante un tiempo determinado, se genera una mezcla de gases que se combinan con distintos gases y sólidos y se obtiene un material de carbono.

Tyre Pyrolysis & Product Refining



Para convertir este proceso en porcentajes, el siguiente cuadro lo sintetiza. El 2% corresponde a neumáticos de camiones, y el 11% a autos. La diferencia se debe a la composición, la mayor diferencia aparece en la composición de la mezcla de caucho natural y sintético. El neumático de un auto está destinado a un buen o normal desempeño, pero el de un camión precisa soportar mayor peso. Puede apreciarse en el siguiente cuadro, cuales subproductos que se obtienen, surgen de cada uno de los componentes.



En un mundo ideal, el caucho de neumático sería reemplazado por más caucho y la idea es reciclar en calidad y cantidad originales, pero en la realidad esto no siempre ocurre, y se utilizan materiales con calidad inferior. Para levantar la calidad se precisaría más inversiones, gastos y más energía, lo que a su vez genera mayores emisiones debido al aporte adicional de energía.

Todo esto, traducido en el proceso de pirolisis de neumáticos lleva a la siguiente situación. En la pirolisis se produce Carbón negro recuperado, aceite de neumáticos recuperado, y acero, que a su vez pueden ser nuevamente utilizados en los neumáticos, por lo que se termina con diferentes materiales que tienen una calidad inferior a los materiales típicos.



Existen distintas oportunidades significativas, económicas y comerciales, por lo que la idea es desarrollar proyectos con estas oportunidades, como las que se lista a continuación:

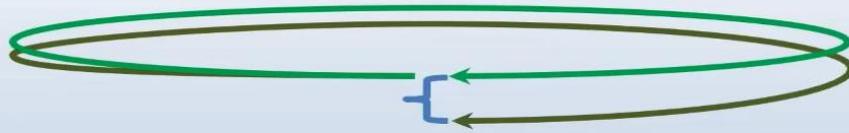
Commercial Opportunity		
End of Life Tyres		<ul style="list-style-type: none"> • Gate fees • Less cost of shredding and Logistics
recovered Carbon Black		<ul style="list-style-type: none"> • \$23bn CB market by 2020 • \$490M rCB market by 2023 • Revenues not linked to incentives
Tyre Pyrolysis Oil ↳ BioFuel / Marine Fuel		<ul style="list-style-type: none"> • Biofuel market \$201bn by 2030 • High levels of incentive • Marine fuels need to reduce sulphur
Steel		<ul style="list-style-type: none"> • High quality, consistent • Rubber free, high carbon

Todos estos productos tienen a su vez beneficios ambientales, según el siguiente resumen:

Environmental Benefits		
End of Life Tyres		<ul style="list-style-type: none"> • Environmental and health issues • Domestic combustion, disease • Crumb leaching, sports surfaces
recovered Carbon Black		 80% GHG savings Compared to Virgin Carbon Black <small>LCA analysis commissioned by Scandinavian Enviro Systems</small>
Tyre Pyrolysis Oil ↳ BioFuel / Marine Fuel		 93% GHG savings Biogenic fraction cf. Fossil Fuel <small>2G BioPOWER DfT submission for Development Fuel</small>
Steel		 75% GHG Savings Compared to virgin steel <small>British Metals Recycling Association</small>

Como se mencionó previamente, los productos obtenidos difieren de los productos vírgenes:

Product Characteristics



recovered Carbon Black		<ul style="list-style-type: none">• 75% carbon, 25% inert fillers• VOCs can be an issue• Performs differently to virgin CB
Tyre Pyrolysis Oil ↳ BioFuel / Marine Fuel		<ul style="list-style-type: none">• 1% sulphur• High aromatic content• Nitrogen and oxygen (acidic)
Steel		<ul style="list-style-type: none">• If pyrolyzed – clean but with carbon• If not – rubber attached

* VOC son componentes orgánicos volátiles

* CV Carbon virgen

A continuación, una lista de proyectos relacionados el tema, desarrollados recientemente en el Reino Unido

UK Project

- UK grant funded feasibility study
- Scale: 60-120k tpa tyres
- Technology: Scandinavian Enviro Systems
 - Primarily designed to produce rCB
 - Produces high quality TPO & clean steel
- North-East UK

*tpa es toneladas por año

*rcb es negro de carbón recuperado

A partir del estudio de factibilidad, se puede resumir en forma sencilla lo que es preciso para llevar adelante un proyecto, como ocurre con cualquier proyecto. Primero se evalúa desde un punto de vista comercial y si es conveniente, pasa a una etapa de analizar el financiamiento:

Key Issue: Financing a Project



Secure source of End-of-Life tyres



Process proven at commercial scale



Buyers for products



Profitable

Como indica la imagen, lo primero es asegurar la fuente de materiales (neumáticos). Los mismos deben estar disponibles en cantidad suficiente para financiar las necesidades de la totalidad del proyecto, por lo que debe contarse con una fuente segura que lo garantice. Se refiere a un mercado comerciado, y la idea es que sea de la forma más económica.

El reciclador del neumático no es el dueño de los neumáticos originales, por lo que la fuente real son los minoristas de neumáticos, y se realiza un acuerdo entre las partes.

Algunos países tienen un mercado regulado de neumáticos (como Francia). En el mapa se muestra la densidad de población, y en ese sentido tiene razonabilidad ubicar los proyectos en las zonas más pobladas.

Sources of End of Life Tyres

- Traded Market (as in the UK):
 - *term agreements with one or more major tyre recycling companies +*
 - *'see through' contracts to their suppliers tyre retailers*
- Regulated:
 - *agree supply with regulator / regulated company (e.g. France = Aliapur)*

Feedstock quality is crucial as it drives product quality



People = Cars = Tyres

Los proyectos deben someterse a un período de prueba, y luego expandirse. En particular en proyecto de pirolisis de neumáticos, lo que marca la diferencia es el reactor, que minimiza el riesgo de expansión del proyecto.

Proven Process

- Operating at commercial scale for 4 years
- Low scale-up risks
 - Scale-up risk applies mainly to new technology – typically reactors
 - Increase in component scale = greater the risk
 - Duplicating components = lower risk
- Known product quality

Una vez que tenemos el proceso que funciona, debe conseguirse el canal de colocación (contratos) del producto. Los productos que se obtienen a través del proceso de pirolisis no es de la misma calidad que el producto virgen.

Estudiar a su vez los requisitos de calidad, regulaciones y acceso a los incentivos.

Para desarrollar el proyecto, es preciso trabajar con los usuarios prospectivos, para que el producto que se elabore sea consistente con las necesidades.

Un escenario es utilizar el proceso entero (aceite y negro recuperado) y el otro es concentrarse solo en uno de ellos como el aceite de neumáticos, para tener CAPEX más bajos.

Contracts for Products

- Pyrolysis products \neq virgin products
- rCB and TPOs differ from process to process
- Regulations are a significant hurdle:
 - Waste status ; Quality; UK/EU Chemicals regulations
 - Requirements to qualify for incentives (e.g. emissions savings)
- Major incentives for biofuel in the UK – led to focussing on this area for a UK project

Markets will emerge – but these will take time

- Work closely with prospective users:
 - Useability: quality will impact price
 - Consistency: agreed range of parameters
 - Security of supply: share plans, ideally product users invest

Easier to gain volume sales of TPO than rCB

Considerando 10 o 20 reactores y un estudio de factibilidad, se plantea el siguiente esquema:

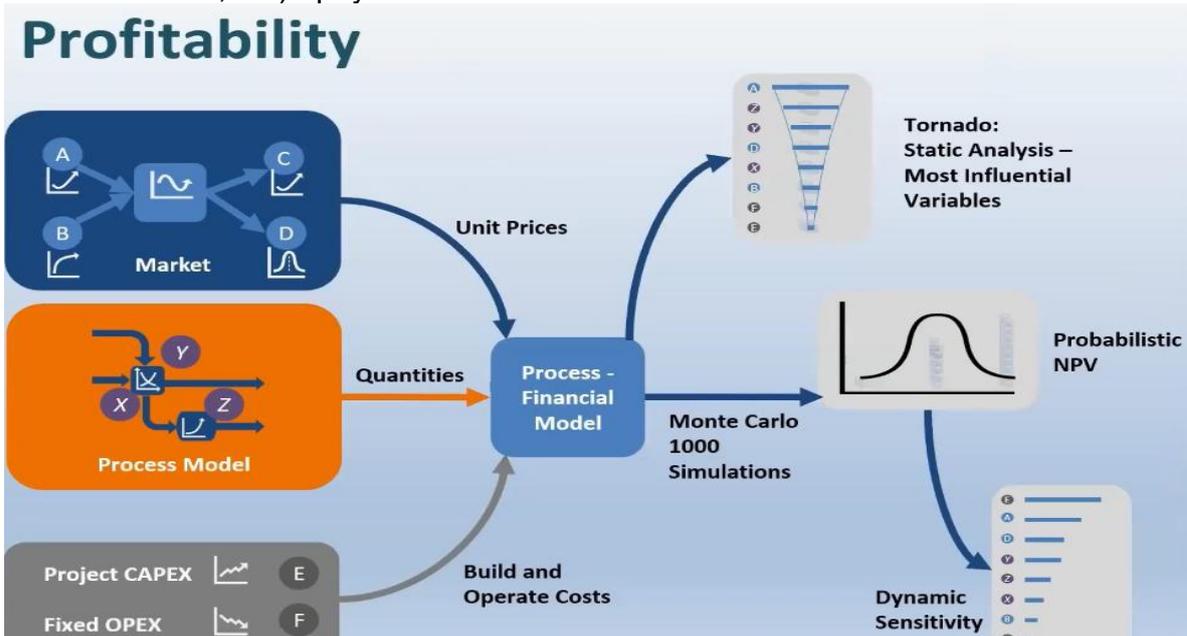
UK Project - Scenarios

- Scenario 1: using process as originally intended
- Scenario 2: initially focus on TPO in order to finance project:
 - Higher throughput as char is not converted to rCB
 - Slightly lower CAPEX

		Scenario 1	Scenario 2
Reactors		10 / 20	10 / 20
End of Life Tyres		60 / 120k tpa	80 / 160k tpa
recovered Carbon Black		✓	✗
Tyre Pyrolysis Oil		✓	✓
Steel		✓	✓

Visto desde un punto de vista de gestión de riesgos. Se aprecian por un lado los inputs (costos), el proceso (su variabilidad y capacidad) y las cifras básicas para el proyecto, que también pueden variar con un margen de error.

Las herramientas analíticas (análisis tornado, simulación Monte Carlo, análisis de sensibilidad, etc) apoyan el análisis con una base razonable.



Con todo el trabajo realizado, puede esbozarse las conclusiones, tanto para el escenario en que se produce un solo producto, como el que se produce más de uno. El escenario 2 es solo rentable a gran escala, por lo que este escenario no sería de largo plazo.

Es como el problema del huevo / gallina, es decir no siempre sabemos de antemano cual es la cantidad a producir.

UK Project - Conclusions

	Scenario 1: TPO, rCB, Steel		Scenario 2: TPO, Char, Steel	
	Reactors	10	20	10
Tyres - tpa	60k	120k	80k	160k
TPO – tpa	24k	48k	29k	58k
rCB – tpa	18k	36k	0	0
Steel – tpa	9k	18k	12k	24k
CAPEX	£80M	£130M	£70M	£115M
NPV 25 th percentile	£34M	£135M	£-22M	£13M
NPV Mean	£50M	£160M	£-13M	£30M
NPV 75 th percentile	£66M	£182M	£-46M	£46M

Scenario 1 projects are profitable.
 Scenario 2 only large scale operation is profitable
 but this would work until rCB sales can begin

El proveedor de tecnología puede o no ser el desarrollador del proyecto.

Key Players & Activities



Retos en la gestión de los neumáticos fuera de uso: nuevas soluciones para una economía circular EUROPA

La prohibición del uso del granulado de caucho para el relleno de campos de fútbol de césped artificial y el nuevo marco normativo abre un nuevo horizonte para los residuos de los neumáticos fuera de uso. Gabriel Leal - 2023

<https://www.retema.es/blog/retos-en-la-gestion-de-los-neumaticos-fuera-de-uso-nuevas-soluciones-para-una-economia>

La actividad de SIGNUS en el año 2022 ha estado en línea con la realizada en años anteriores. SIGNUS gestionó durante el año pasado 200.614 toneladas de neumáticos fuera de uso, de los casi 290.000 que se generaron en todo el territorio nacional. De ellos 23.795 toneladas se destinaron a su preparación para la reutilización. El resto, 176.820 toneladas de neumáticos al final de su vida útil (NFVU), se valorizaron: 96.801 toneladas mediante procesos mecánicos de separación de los componentes del neumático (caucho, acero y fibras textiles); 77.285 t se destinaron como combustible alternativo, en sustitución de combustibles fósiles en la fabricación de cemento y 2.734 toneladas se utilizaron para la generación de energía eléctrica.

Las aplicaciones del material reciclado son múltiples y diversas, puesto que por el momento los materiales reciclados procedentes de los neumáticos, fundamentalmente el caucho vulcanizado y reciclado, no se pueden destinar a fabricar nuevos neumáticos. Uno de los mayores destinos del granulado de caucho es el relleno de campos de fútbol de césped artificial, una aplicación mayoritaria en toda Europa que será limitada, al haber dado la Comisión Europea el primer paso para restringir la comercialización de cualquier producto polimérico sintético, menor de 5 mm de tamaño, para uso como relleno granulado en superficies deportivas sintéticas a partir de los 8 años de la entrada en vigor de la modificación del Reglamento REACH, previsiblemente en septiembre del 2031.

Se abre ante nosotros un importante reto al tener que explorar un nuevo destino para las cerca de 80.000 toneladas de caucho que se quedarán huérfanas y que nos obligará a trabajar en la búsqueda de nuevos usos con capacidad de absorber todo este material. Destinos alternativos pueden ser su utilización en las propias bases elásticas de estos campos de césped artificial que se fabrican con resinas para aglomerar el caucho y quede integrado en el producto o su utilización en mezclas asfálticos o quizás en un futuro, en su reciclaje químico a través de procesos de gasificación y pirólisis. Sin embargo, cuando vemos los objetivos que establece el borrador del Plan Estatal Marco de Residuos 2025-2035 para los neumáticos al final de su vida útil, no se contempla la situación generada por éste nuevo escenario al que nos enfrentamos. Queremos confiar en que el artículo 16 de la nueva Ley de Residuos aprobada el año pasado, que establece la Compra Pública Verde como herramienta de impulso de la Economía Circular, será la vía a través de la cual podremos cumplir con estos objetivos, pero para ello es necesario no sólo promover el uso del caucho reciclado a algunas aplicaciones como son la construcción de nuevos firmes, sino hacer seguimiento de que esto se está cumpliendo.

Se abre ante nosotros un importante reto al tener que explorar nuevos destinos para las cerca de 80.000 toneladas de caucho que se quedarán huérfanas y que nos obligará a trabajar en la búsqueda de nuevos usos con capacidad de absorber todo este material.

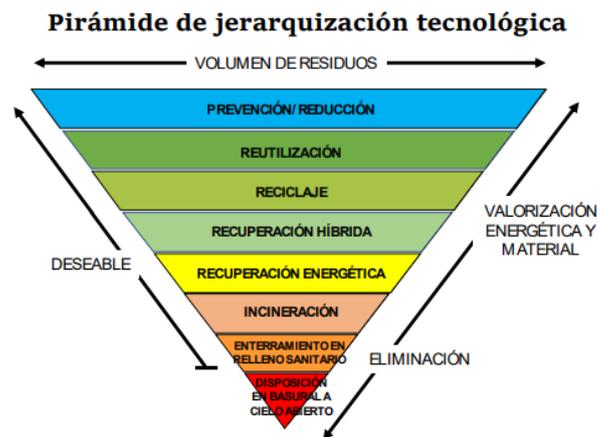
El reciclaje químico parece que es también parte del futuro. Una vía para obtener aceites de síntesis, combustibles y negro de carbono recuperado entre otros materiales. Ello hará más factible alcanzar esa economía circular del neumático, al permitir algo hoy muy difícil, usar los componentes del neumático al final de

su vida útil para fabricar nuevos neumáticos. En esta línea estamos desarrollando un proyecto enfocado a la fibra: “Fiber2Fiber” donde el reciclado químico de la fibra textil se presenta como una solución tecnológica de desarrollo con alto potencial. El estudio se enfoca en la fracción correspondiente a las fibras de poliéster, PET, de los neumáticos con el fin de obtener los monómeros químicos de alto valor, que pueden ser polimerizados otra vez para la obtención de fibras textiles recicladas aptas para su uso en la fabricación de nuevos neumáticos.

Entre ellos se destaca la incorporación como productores de aquellas entidades que ponen neumáticos en el mercado de reposición por primera vez procedentes de otros flujos, y la incorporación de la ausencia de conflicto de intereses entre los órganos de gestión de los SCRAP y los gestores de residuos, dentro de un marco de relación con ellos en que prevalezcan los principios de concurrencia libre, igualdad de trato, y transparencia. La prevención de los neumáticos fuera de uso, también en línea con la Ley 7/2022 de Residuos y Suelos Contaminados para una Economía Circular, adquiere relevancia en el proyecto de este nuevo Real Decreto y dedica un artículo a los Planes Empresariales de Prevención con el objetivo de que se recojan las medidas adoptadas para el cumplimiento de los objetivos de prevención, para impulsar el diseño y la fabricación de neumáticos que den lugar a un menor impacto ambiental a lo largo de todo su ciclo de vida, y facilitar el reciclado y la valorización de los neumáticos fuera de uso.

VIII. Las opciones de aprovechamiento de los NFU desde la lógica del cuidado ambiental: la pirámide de jerarquización tecnológica

No todas las alternativas de aprovechamiento de los NFU tienen el mismo valor desde el punto de vista del cuidado ambiental. Más abajo se muestra una adaptación de la pirámide invertida de jerarquización tecnológica (IRAM; 2017). La misma ordena la gestión de los residuos de NFU, desde la prevención de su generación, la reutilización de los neumáticos (reconstrucción - recauchutado/redibujado-), el reciclaje, la valorización híbrida (recuperación de material y energía), valorización/recuperación energética, incineración, enterramiento en relleno sanitario y disposición en basural a cielo abierto. Las opciones se vuelven menos deseables a medida que se desciende hacia el vértice de la pirámide.



FUENTE: basado en la Pirámide de Jerarquización Energética IRAM 29600/2017. (IRAM, 2017)

Por lo tanto, para el caso que nos ocupa los tramos relevantes comienzan después de la generación de los NFU, es decir en las etapas de reciclado, recuperación híbrida y recuperación energética.

- **Reciclaje:** El reciclaje implica la valorización material de los NFU. enteros o triturados, en usos diferentes a aquéllos para los que fueron concebidos. Permite valorizar el componente material del residuo a través de su incorporación como materia prima en la elaboración de nuevos productos. Se destacan, entre otras, las siguientes aplicaciones: relleno de césped artificial; pistas de atletismo, productos de caucho moldeado; suelos de seguridad en parques infantiles; material para techos; asfalto modificado con caucho. Vale la pena resaltar en esta área la producción de pisos de caucho reciclado que puedan ser incorporados en obras de la provincia como plazas, parques, escuelas, hospitales y cárceles. Se pueden hacer con sectores de la economía social, para esto el LEMAC diseñó un sistema de moldeo de muy baja tecnificación.
- **Recuperación híbrida** La recuperación híbrida incluye tanto una valorización material como energética. Pueden identificarse tres procesos:
 - La utilización de NFU enteros o trozados como insumos en un proceso denominado pirólisis, que permite obtener un gas de proceso, similar al propano, hidrocarburos líquidos para uso industrial o destilado de diésel, negro de humo para fabricar nuevos neumáticos, plásticos, tintas y pinturas y distintos metales.
 - La utilización de NFU enteros o trozados en el coprocesamiento de hornos cementeros, como alternativa a los combustibles tradicionales utilizando el caucho, pero además elementos como el acero, incorporándolo a la estructura de los minerales del clinker, dentro del proceso de fabricación de cemento (AFCP; 2021); /Polzinetti, M.; 2021).

- La utilización de los cordones de acero y los NFU enteros o triturados en los hornos de acero, nuevamente como combustibles o como materiales.
- **Recuperación de energía:** Incluye la valorización exclusivamente térmica de los NFU, con la recuperación de energía a través de la combustión controlada de residuos. De esta forma se valoriza la energía contenida en los residuos, quedando sólo como subproducto de este proceso las cenizas que pueden enviarse a disposición final o utilizarse como insumos en algunos procesos. Se utilizan (tanto el caucho como los textiles que suelen ser sintéticos) como combustible adicional o alternativo en la generación de energía en:
 - Producción de ladrillos
 - Calderas industriales
 - Plantas de energía
 - Fábricas de pulpa y papel
 - Plantas de generación de energía a partir de residuos

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reconstrucción	Menor cantidad de material utilizado Reducción del costo de fabricación Menos emisiones de GEI	Número y provisión limitados de NFU
Trituración mecánica	Proceso puramente mecánico los productos resultantes son de alta calidad, limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita su utilización en nuevos procesos y aplicaciones. Proceso menos costoso	Elevado costo mantenimiento del equipo Sensible a condiciones atmosféricas
Trituración Criogénica	Permite recuperar los materiales que conforman los neumáticos en desuso de forma no contaminante. Partículas de menor tamaño, superficies más suaves y menor oxidación superficial	Alta complejidad del sistema de tratamiento. Alto costo de implantación y mantenimiento
Coprocesamiento	Se confiere una solución definitiva y ambientalmente segura para los residuos, sin dejar ningún tipo de ceniza, Reduce el consumo de combustibles fósiles y algunas de las materias primas naturales Evita la disposición en vertederos de residuos. Preserva recursos naturales no renovables Se generan menores emisiones de GEI Se incorporan en la matriz del <i>clinker</i> eventuales componentes nocivos	Número y provisión limitados de NFU Requiere granulado previo para la mayoría de los procesos Su utilización depende del costo de energías alternativas
Pirólisis	Descomposición de los componentes del NFU Gases pirolíticos con alto poder calorífico Se obtiene negro de carbono para fabricar otros productos Se obtiene negro pirolítico para coloración y absorbente luz UV	Proceso complejo que exige un control preciso de sus condiciones Carbono pirolítico con propiedades menores
Asfalto Modificado	Mejora el comportamiento mecánico del pavimento y aumenta su vida útil. Permite sustituir materiales por reciclados	Número y provisión limitados de NFU Rentabilidad depende de la provisión de NFU Beneficios a largo plazo

LAS OPCIONES DE RECICLADO DE NFU PARA ORGANIZACIONES COMO LAS COOPERATIVAS: MATRIZ DE OPORTUNIDADES

Finalmente, corresponde evaluar algunas opciones de actividades de reciclado para organizaciones cooperativas. Para ello debe considerarse no sólo el menú de actividades de transformación y aprovechamiento disponibles de NFU, sino además aspectos tales como la complejidad tecnológica de los procesos correspondientes y los requerimientos de know how e inversiones correspondientes. En la matriz de la página siguiente se muestran en las columnas distintos grados de complejidad de aprovechamiento de los NFU, desde su uso sin modificar, pasando por el corte del neumático, la trituración mecánica y criogénica hasta la pirólisis. A la vez, en las filas se presentan las opciones de reciclado, coprocesamiento (recuperación híbrida de material y energía) y recuperación de energía. Cada una de las celdas contiene productos en los que confluyen una tecnología y un orden jerárquico. Por último y considerando las restricciones mencionadas de complejidad tecnológica y costo de entrada y funcionamiento, se somborean en verde las actividades más accesibles para desarrollar desde una cooperativa, en amarillo las que revisten una complejidad y costo medio – medio alto y en rojo las que revisten barreras elevadas para este tipo de actor.

Matriz de Opciones de Productos, según Complejidad del Proceso y Jerarquización Tecnológica

Procesos Jerarquización tecnológica	Uso de NFU sin modificar	NFU cortados	Trituración mecánica de NFU	Trituración criogénica	Pirólisis
RECICLAJE	PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Rompeolas ○ Barreras de erosión ○ Protección de costas ○ Mejora de suelos ○ Construcción de vertederos ○ Terraplenes de carreteras ○ Refugios ○ Estabilización de taludes ○ Barreras acústicas, aplicaciones de aislamiento ○ Soportes de silopuentes ○ Llantas empacadas (grupo de neumáticos sujetos a un proceso de compactación) 	PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Geoceldas 	PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Asfalto modificado ○ Baldosas aislantes utilizadas en el transporte público para reducir el nivel de ruido ○ Baldosas para la colocación de zonas peatonales de hormigón. ○ Juntas de pavimentos de hormigón. ○ Otras aplicaciones de menor volumen y valor (suelas de zapatos, sandalias, etc.). ○ Pisos de caucho reciclado 	PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Modificante de betunes y revestimientos aislantes que requieran buenas homologaciones de aislamiento acústico 	PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Gas de proceso, similar al propano (7%). Este gas puede ser reutilizado en la misma instalación de manera de ser autosuficiente en términos energéticos. ○ Hidrocarburos líquidos (40%), puede utilizarse en usos industriales o para el destilado de Diésel. ○ Negro de humo (51%). Se puede utilizar para fabricar nuevos neumáticos, plásticos, tintas y pinturas. El negro de humo se utiliza para reforzar los cauchos utilizados en la fabricación de nuevos neumáticos. ○ Metales
COPROCESAMIENTO	PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Cemento en hornos de clínker 		PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Cemento en hornos de clínker 		
RECUPERACION ENERGÉTICA (uso de caucho y textiles)			PRODUCTOS: <ul style="list-style-type: none"> ○ Ladrillos ○ Calderas industriales ○ Plantas de energía ○ Fábricas de P y papel ○ Energía a partir de residuos. 		

Existe, en el país en general y en la PBA en particular, una generación y acumulación constante de neumáticos fuera de uso, lo cual implica un potencial problema ambiental, si estos no son debidamente reciclados.

Los municipios tienen la oportunidad de apoyar emprendimientos de distintas organizaciones de la economía social con este propósito. Sin embargo, hay que

tener en cuenta que existe un costo logístico (almacenamiento y traslado) asociado al potencial aprovechamiento de los NFU, que ha sido un obstáculo hasta ahora para su aprovechamiento y transformación en el país.

De tal modo que cualquier estrategia factible de gestión de los NFU requiere que, o bien estos sean aprovechados cerca de donde han sido generados o, alternativamente, que puedan al menos ser cortados/trozados en la localización en la que son generados para minimizar el posterior costo de traslado. Un aspecto a considerar cuando se plantea aprovechar este residuo por medio de alguna organización cooperativa, son las barreras a la entrada, respecto a la inversión requerida y el alto costo y complejidad de algunas de las opciones tecnológicas para el reciclado de los NFU.

En lo inmediato y en tanto no se establezca una Ley de REP que grave a los generadores y con ello asegure fondos para la gestión de NFU en distintas iniciativas de mayor costo y complejidad, se señaló la oportunidad de aprovechamiento de los neumáticos como soporte de los silos puentes en distintas regiones ganaderas del país. Una opción adicional y que exige un equipamiento accesible, reside en la incorporación de un equipo de corte que permita separar los laterales de la banda de rodamiento y la utilización de esta última, rellena con distintos materiales, como 21 base en ciertos accesos, terraplenes, etc. En este caso se requerirá una programación conjunta entre la cooperativa y los municipios para aprovecharlos en las obras locales Otra opción posible es la utilización de maquinaria de corte y granulado para la generación de gránulos que puedan ser aprovechados en los hornos de clínker de las empresas cementeras de la zona de Olavarría (los hornos de estas empresas no admiten neumáticos enteros y deben trozarse previamente). Sin embargo, esto implica la utilización de equipamiento más costoso. La consolidación de estas actividades puede ayudar a las cooperativas a familiarizarse con la gestión y transformación de los NFU y, al mismo tiempo, acumular know how en el tema, posicionándose como un actor a tener en cuenta cuando se genere una política y legislación para el sector en la provincia y aparezcan opciones más sofisticadas (y con financiamiento para su desarrollo) para su aprovechamiento. ((UNQ), 2021)

IX. Aplicaciones del caucho reciclado

Resumen del artículo de Peláez Arroyave – Velásquez Restrepo – Giraldo Vásquez <https://www.redalyc.org/journal/911/91150559002/html/>
(2017) Universidad de Nueva Granada. Colombia

Resumen: La generación de residuos de caucho se ha convertido en una preocupación global por su impacto negativo en el medio ambiente y en la salud humana. La legislación ambiental sobre la disposición de este tipo de residuos ha venido aumentando las exigencias a los fabricantes, comercializadores y usuarios, con lo cual se ha acelerado la búsqueda de alternativas para el reaprovechamiento de los residuos de caucho. Este artículo presenta una revisión bibliográfica acerca de las principales tendencias en la utilización del

caucho reciclado, incluyendo aplicaciones actualmente comercializadas y otras derivadas tanto de estudios terminados como de líneas de investigación en desarrollo. Las aplicaciones con mayor potencial de volumen consumido son del sector infraestructura y construcciones civiles, especialmente asfaltos, concretos y materiales aislantes para construcción liviana. Algunas aplicaciones con potencial en el futuro cercano son los filtros para la limpieza de aguas contaminadas y como componente en materiales compuestos con matriz termoplástica o en poliuretano. Se evidencia la pertinencia de continuar investigando sobre esta temática, que posee unos retos científicos de alta relevancia, los cuales ameritan la mayor atención por el problema ambiental significativo asociado al manejo de los residuos de caucho.

Palabras clave: caucho reciclado, residuos de caucho, llantas fuera de uso, impacto ambiental, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

Los materiales elastoméricos, conocidos como cauchos en la mayoría de países hispanoamericanos o como hules en otros, presentan una elasticidad y resistencia química que los hace insustituibles para llantas, calzado, tuberías, correas de transmisión, piezas para sellamiento de fluidos, por citar los productos en los que más se emplea el caucho como materia prima [1]. En 2014, el último año del cual se cuenta con estadísticas consolidadas sobre el mercado del caucho, el consumo mundial de esta materia prima fue de 28,9 millones de toneladas [2]; se estima que en 2015 la demanda mundial de caucho aumentó un 0.7% respecto a 2014 y que entre 2016 y 2024 el consumo aumentará un 3.1% anualmente en promedio [3] confirmando la tendencia creciente del mercado observada en las últimas décadas [4]. Desafortunadamente, las cifras sobre tendencias del mercado del caucho son reportadas esporádicamente por diferentes fuentes de información, de tal manera que al momento no es posible contrastar información y efectuar una evaluación cuantitativa consolidada sobre las tendencias del mercado de este tipo de materiales.

Para comprender los retos asociados al reciclaje de caucho, es pertinente tener en cuenta que los artículos en este material se fabrican mezclando elastómeros con aditivos orgánicos de bajo peso molecular, agentes vulcanizantes y cargas minerales en forma de partículas finas. La mezcla en estado crudo es sometida a un proceso de vulcanización en el cual se desarrolla una reacción química que forma una estructura entrecruzada altamente elástica; a este tipo de material se le denomina caucho virgen para diferenciarlo del caucho reciclado. La reacción de vulcanización es térmicamente irreversible, por lo cual el reciclaje de los cauchos debe realizarse por trituración mecánica, métodos químicos o recuperación energética [1], lo que implica grandes retos tecnológicos y logísticos para alcanzar tasas de recuperación de residuos compatibles con las necesidades actuales de mitigación de impacto ambiental.

Considerando que entre el 65 y el 70 % del caucho producido en el mundo es utilizado para la fabricación de llantas [5, 6], debe tenerse en cuenta que cada año se generan aproximadamente 17 millones de toneladas de llantas fuera de uso (LLFU). Dado que el total de caucho en una llanta corresponde a entre el 41 y el 55 % de su peso, se tiene que entre 7 y 9 millones de toneladas de caucho

provenientes de LLF se disponen cada año a nivel mundial [7]. Para tener una idea del rápido crecimiento de esta problemática en un país en vía de desarrollo como Colombia, es pertinente indicar que en 2010 se dispusieron 42 mil toneladas de caucho proveniente de LLFU [8], mientras que en 2015 se generaron alrededor de 100 mil toneladas [9].

Se trata, entonces, de uno de los principales problemas asociados a la gestión de desechos sólidos en la actualidad debido al efecto negativo directo que pueden traer sobre la salud humana y el medio ambiente, ya que contaminan el suelo, el agua y el aire. Las LLFU no son biodegradables y pueden constituir un ambiente favorable para reproducir plagas, ratas, mosquitos, etc. [10], además de ser una potencial amenaza de incendio con generación de humareda tóxica que puede arder durante meses [11]. La Figura 1 muestra la tendencia de aumento de la demanda mundial de caucho para la fabricación de llantas y la de generación de desperdicios de caucho proveniente de LLFU en la Unión Europea (UE).

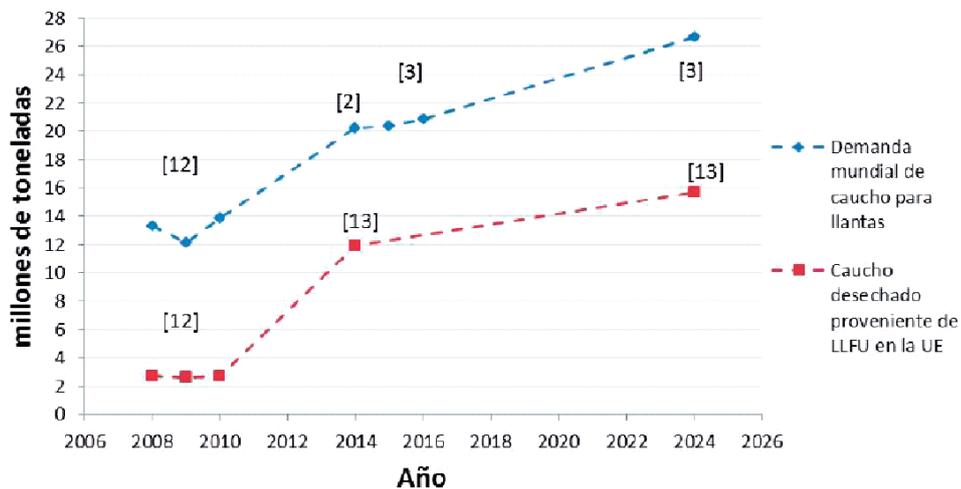


Fig. 1. Tendencia de la demanda mundial de caucho para la fabricación de llantas y de generación de desperdicios de caucho proveniente de LLFU en la UE

*La unión de los puntos es meramente ilustrativa.

Fuente: elaboración propia a partir de información de [2], [3], [12] y [13].

La problemática asociada a la disposición del caucho post consumo y post proceso hizo que los gobiernos comenzaran a implementar de manera cada vez más decidida la formulación e implementación de regulaciones orientadas a disminuir la contaminación generada por este tipo de residuos. Es de destacar que algunas de esas regulaciones incentivan a la industria para que utilice caucho reciclado en sus procesos, tendencia en la cual Taiwán fue pionero en la implementación de ese tipo de normatividad; posteriormente Estados Unidos, Japón y los países de la UE incursionaron en este campo, de tal manera que a hoy son las regiones con el mayor grado de desarrollo en cuanto a legislación sobre esta temática.

Para tener una idea de la manera cómo ha evolucionado la normatividad en países como los de la UE, vale la pena reportar que en 1999 se impuso la directiva 1000/31/EC que prohíbe la disposición de LLFU enteras o trituradas en los rellenos sanitarios, en el año 2000 apareció la directriz 2000/53/EC que estableció que las llantas de los autos deben ser retiradas antes de que estos sean chatarrizados y en 2009 la regulación 1222/2009 estipuló el etiquetado y seguimiento de las llantas [14, 15]. Se evidencia entonces la pertinencia de actualizar las políticas sobre la reutilización del caucho según las dinámicas del mercado, teniendo siempre como objetivo disminuir el negativo impacto sobre el medio ambiente si no se hace una disposición adecuada de este tipo de materiales cuando terminan su vida útil primaria.

Se ha demostrado que el grado de desarrollo de la industria de reciclaje del caucho en cada país está directamente ligado a la legislación vigente [16], por lo cual se espera que como la normatividad sobre residuos es cada vez más exigente entonces cada vez sea más necesario encontrar alternativas para el uso de caucho reciclado. No basta con fomentar la aplicación de las normas establecidas para la industria del caucho y sus usuarios, sino que es necesario buscar aplicaciones en las cuales se puedan emplear los residuos generados.

Las regulaciones para tratar de atenuar el efecto negativo ambiental generado por los residuos de LLFU pueden ser clasificadas en los tres modelos que se describen en la Tabla 1, en la cual también se indican países que las han adoptado y el año en el que se implementaron dichas regulaciones [14, 15, 17, 18, 19, 20, 21].

Dado que en los países desarrollados las regulaciones sobre la disposición de estos desechos han venido tornándose más estrictas con el paso de los años [8, 16], la globalización ha conllevado a que países en vías de desarrollo también adopten políticas ambientales cada vez más exigentes, bien sea por conciencia ambiental o por exigencias de los tratados de comercio que establecen con países desarrollados, o una combinación de ambos factores. Continuando con el caso de un país en vía de desarrollo como Colombia, hay que anotar que en el país se implementó en 2010 la Resolución 1457 siguiendo el modelo de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) para la gestión de LLFU [22], delegando a los productores e importadores que manejan más de 200 llantas al año la responsabilidad de implementar los sistemas de recolección y gestión ambiental específicos para esta clase de desechos.

En esa normatividad se establece que a partir de 2012 debían recolectarse y gestionarse el 20 % de las llantas comercializadas en el país, con incrementos anuales del 5 % hasta alcanzar un mínimo del 65 % [8], meta que puede considerarse baja si se compara con la meta del 95% del conglomerado de países de la UE y del 89 % de Japón y los Estados Unidos [17, 23]. En aras de mejorar los índices de gestión sostenible de residuos de LLFU, algunas administraciones locales han tomado medidas como la combinación del modelo de REP con el modelo de impuestos, tal como el caso presentado por la administración distrital de Bogotá con la expedición del Decreto 442 de 2015, en el cual establece sanciones económicas a productores y usuarios de llantas que incumplan con lo establecido en la Resolución 1457 [24].

Tabla 1. Modelos de regulación para la gestión de residuos de LLFU [14, 15, 17-21].

Modelo	Característica	Países donde se practica y año de adopción de la legislación
Responsabilidad Extendida del Productor (REP).	Las tareas de recolección y recuperación/reciclaje de los residuos de LLFU son asignadas a los productores o importadores.	Finlandia, Hungría, Italia, Lituania, Letonia, Holanda, Noruega, Polonia, Rumania, España, Suecia, Bélgica, Francia, Portugal (1999, 2000), Estados Unidos (2000), Japón (2001), Taiwán (1989), Corea del Sur (2003), Colombia (2010), Brasil (2009), Ecuador (2013), Uruguay (2015).
Cobro de multas o impuestos a los productores/ importadores.	Con los fondos recolectados se financian organizaciones encargadas de la recolección y recuperación/reciclaje de los residuos.	Bulgaria, Croacia, Irlanda, Alemania, Suiza, Reino Unido (1999, 2000).
Sistema de mercado libre.	Fomenta que existan entidades que obtengan beneficios económicos a partir de la utilización de los desechos.	Dinamarca, Eslovaquia (1999, 2000), Japón (2009), Estados Unidos (2007).

Cabe resaltar que no ha transcurrido tiempo suficiente como para evaluar el impacto de las políticas implementadas en Colombia, pero puede inferirse que las administraciones locales deben esforzarse por buscar mecanismos que sean pertinentes para sus necesidades, seleccionando alternativas, pero también considerando la combinación de modelos exitosos en otras regiones. En otros países latinoamericanos, la gestión de residuos provenientes de las LLFU no cuenta con una legislación específica, sino que las LLFU se integran a la gestión de residuos sólidos especiales o peligrosos [25]. Desafortunadamente, en la literatura no se han reportado estudios orientados a identificar si este abordaje genera mejores resultados que tratar las LLFU con normatividades específicas, lo cual permitiría contar con información confiable para seleccionar la regulación más conveniente.

El panorama descrito evidencia la necesidad de continuar buscando alternativas para el manejo de los desechos de caucho con el fin de disminuir su impacto ambiental, y simultáneamente buscar alternativas para que las empresas se acojan a la normatividad vigente en cada país. Además, la reutilización de residuos de caucho puede derivar en nuevas líneas de negocio para las empresas, o incluso en nuevos emprendimientos, para lo cual la información presentada en este documento puede proporcionar algunos criterios para los estudios de viabilidad.

La literatura publicada en los últimos años refleja un creciente interés por ahondar en el estudio de posibles aplicaciones para residuos de caucho, tanto para fabricar productos de bajo valor agregado como a la obtención de artículos con altas especificaciones técnicas. Se percibe un esfuerzo por incursionar en nuevas aplicaciones y ampliar el abanico de posibilidades, por lo cual en este trabajo se presenta una revisión sobre el uso de caucho reciclado en diversas áreas de la industria.

Con el fin de comprender las presentaciones disponibles del caucho reciclado y así posteriormente profundizar en las aplicaciones de dicho material, lo cual constituye la temática central de este artículo, se relacionan brevemente los principales métodos de reciclaje de caucho identificados durante la revisión bibliográfica realizada.

1. PRINCIPALES MÉTODOS DE RECICLAJE DEL CAUCHO

Los métodos de aprovechamiento de los residuos de caucho se clasifican en procesos mecánicos, criomecánicos, termo-mecánicos (molienda, mezclado de alta velocidad), químico-mecánicos (desvulcanización, proceso criogénico de Trelleborg - TCR por sus siglas en inglés -, hinchamiento en benceno), químicos (con reactivos orgánicos, e inorgánicos), térmicos (en digestores, en autoclaves, en medios alcalinos, en medios neutros, con acción de vapor de alta presión), biotecnológicos, procesos con microondas y con ultrasonido [26, 27]. En la mayoría de estos procesos, es necesario primero triturar el caucho hasta reducirlo a gránulos de tamaño y forma regular, y de esa manera facilitar que los aditivos químicos y agentes de expansión reaccionen adecuadamente con la estructura vulcanizada, a la vez que se separan más eficientemente las fibras de acero, textiles y aditamentos metálicos que puedan estar presentes en el caucho que se procesa.

En el caso de los procesos de trituración, los gránulos de caucho se comercializan en diferentes tamaños para que el cliente final seleccione el que sea más adecuado a sus necesidades. Si bien en la mayoría de las aplicaciones las propiedades del caucho reciclado triturado no logran igualar las propiedades del caucho virgen, el uso del primero presenta las siguientes ventajas respecto al caucho virgen, adicionalmente a la ya mencionada disminución del impacto ambiental cuando el caucho es reciclado [17, 28]:

- Su costo puede llegar a ser menos de la mitad de lo que cuesta el caucho virgen, tanto si se compara con caucho natural como si se compara con caucho sintético.
- El módulo elástico o la resistencia al hinchamiento por solventes pueden ser superiores a las del caucho virgen [26].
- Las actividades de reciclaje generan empleo, principalmente mano de obra no calificada, especialmente en los países en vía de desarrollo [28].

Una alternativa para el uso de caucho reciclado por trituración mecánica consiste en incorporarlo a mezclas con caucho virgen, en el cual este último actúa como matriz. El uso de caucho triturado en mezclas caucho virgen-caucho reciclado, presenta algunas ventajas respecto al procesamiento de caucho virgen, entre las cuales se destacan:

- Menor tiempo de proceso y menor consumo de energía durante el mezclado: durante las operaciones de trituración el caucho reciclado sufre una plastificación debido al trabajo mecánico al que es sometido, por lo tanto, el proceso de mezclado se facilita cuando se usa caucho reciclado respecto al mezclado de caucho virgen, y con menor calentamiento de los molinos.

- Mayor procesabilidad por calandrado y extrusión: cuando se fabrican artículos por estos métodos empleando mezclas de caucho recuperado y caucho virgen, se requieren temperaturas menores que cuando se procesa caucho virgen, lo cual facilita el proceso y aumenta la producción. Además, como efecto de la fase gel entrecruzada en el caucho reciclado, la mezcla presenta un comportamiento menos viscoelástico que el caucho virgen, facilitando el control dimensional durante del procesamiento.
- Mejoramiento de la vulcanización y la resistencia al envejecimiento: el caucho reciclado impide la exudación del azufre que se puede presentar en materiales recientemente vulcanizados o crudos. Además, las mezclas que emplean caucho reciclado vulcanizan más rápidamente que las de caucho virgen, economizando tiempo y energía durante el proceso de vulcanización [27, 29].

Cuando el reciclaje se realiza por métodos químicos, biotecnológicos o por microondas, el resultado de los procesos es compuestos que pueden ser usados en las aplicaciones que se describen posteriormente en este documento.

Algunos estudios muestran que, bajo las condiciones adecuadas, la utilización de caucho obtenido a partir de LLFU recicladas o artículos genéricos fabricados con caucho (general rubber goods) [15, 30] no es perjudicial ni para la salud humana ni para el medio ambiente [31], características funcionales que son atractivas para fomentar su uso.

APLICACIONES DEL CAUCHO RECICLADO

Usos del caucho y otros derivados del reciclaje de NFU

El neumático, una vez reciclado presenta numerosas aplicaciones: pavimentos de seguridad, superficies deportivas (pistas de atletismo, pistas multideportiva, suelos de gimnasio, campos de fútbol), asfaltado de calles, pavimentos urbanos (carril-bici, carril jogging, zona de recreo en escuelas, plazas transitables, etc.), alcorques, bolardos, atenuación de vibraciones en metro o tranvía, separadores carril-bici, topes de aparcamiento, mobiliario urbano (bancos, jardineras, etc.), ornamentación urbana (rotondas, esculturas y juegos, jardines verticales) (Signus, 2024).

USO ENTERO

Los NFU enteros pueden ser utilizados en escolleras, defensa de muelles y embarcaciones, rompeolas artificiales para el control de erosión y protección de costas, barrera acústica, barreras de contención contra colisiones (autódromos, vías de tráfico, puertos, entre otros), en muros de contención (taludes), terraplenes de carreteras, para su uso en la protección de capas impermeabilizantes en vertederos de residuos y en otras aplicaciones de ingeniería civil. Los arrecifes artificiales realizados con neumáticos no han sido exitosos debido a que los neumáticos son fácilmente removidos por las mareas y no permiten que en ellos se establezcan las comunidades de flora y fauna marina características de los arrecifes de coral.

También se ha observado su uso en agricultura como sostén de silos puentes, geoceldas para accesos de instalaciones y otros usos, etc. Asimismo, se utilizan en la propia construcción de los vertederos de residuos.

Taludes (muros de contención)

En respuesta a numerosas deficiencias constructivas y estructurales identificadas en la construcción de taludes para la contención del fuego, se desarrolló una tecnología de muros de contención económica, utilizando NFU estabilizados mecánicamente, como una opción válida para contener un plano horizontal con estándares constructivos satisfactorios y que ha sido sometida a cálculo estructural según criterios de ingeniería vigentes (Barros et al., 2019)

USO TRITURADO

El NFU triturado puede ser utilizado, entre otras cosas para: superficies deportivas, patios de juegos, pisos de seguridad, recubrimiento de contenedores para flete marítimo, asfaltos modificados y en pavimentos de hormigón de cemento. Otros productos elaborados con caucho reciclado son: eco tablas, rodillos y mantas de caucho, burletes, baberos de camión, conos de vialidad, bijouterie, sillas, mesas, sillones, macetas, calzado, bolsas y cinturones. Del proceso de triturado se obtiene: trozos y granulados de goma, polvillo de carbón, negro de humo, tela (plástica), tela (plástica) pulverizada y acero.

POLVO < 0,8 mm
Mezclas Bituminosas
Mantas para aislamiento térmico y acústico (edificación)
Piezas de caucho
Suelas para calzado
Piezas de la industria auxiliar del automóvil: alfombrillas, latiguillos, superficies de aislamientos, etc.
Neumáticos macizos para carretillas, contenedores, etc.
Mezclas con SBR o con monómeros de plástico, para piezas de seguridad vial, recubrimientos, etc.
Fabricación de caucho regenerado

Principales aplicaciones del polvo de NFVU. Fuente: Pérez Aparicio y Saiz Rodríguez, 2018

TABLA 5. Caracterización de los productos según tecnologías empleadas.

Producto	Tamaño	Fuente	Tecnología
Neumático entero (W)		Neumáticos enteros coche- camión	Mecánica (M)
Trozos (X)	> 300 mm	Todas	Mecánica (M)
Tiras (shred) (S)	50-300 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Astillas (chips) (C)	10-50 mm	Todas	Mecánica (M)/reducción a temperatura ambiente (A)
Granulado (G)	1-10 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo (P)	< 1 mm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)
Polvo fino (F)	< 500 μm	Todas	Reducción a temperatura ambiente (A)/criogénico (C)/ recuperación (R)/ desvulcanización (D)
Buffins (B)	0-40 mm	Neumáticos pisados camión-coche	Buffing (B)
Recuperado (reclaiming) (R)	Normalmente se suministra en bloques	Todas y granulado	Recuperación (R)
Desvulcanizado (D)	Depende del tamaño del polvo	Polvo de todas las fuentes	Reducción criogénica (C)/ temperatura ambiente (A)/ desvulcanización (D)
Pirólítico (Y)	< 10 mm	Todas	Pirólisis (P)/buffing (B)/ Reducción criogénica (C)
Productos de Carbón (Z)	< 500 μm	Pirólítico	Otras tecnologías (O)

Fuente: Serrano et al., (2007)

Uso en obras de geotecnia

El granulado de neumático al observarse un ángulo de cohesión entre 18,27 a 21,97 grados y una cohesión en un amplio rango entre 11,74 y 15,77 kPa, presenta un gran potencial para su empleo en obras de geotecnia como rellenos localizados en el trasdós de muros de contención, rellenos en terraplenes sobre terrenos de baja capacidad portante y colocación bajo explanadas para la creación de firmes y pavimentos (García, 2023).

Tabla 3. Principales aplicaciones del granulado de NFVU.

GRANULADO 0,8 -20 mm
Rellenos de césped artificial
Superficies deportivas (atletismo, tenis, multideporte...)
Pistas ecuestres
Pavimentos de seguridad (capa superficial)
Base elástica superficies deportivas y pavimentos seguridad
Alcorques
Corteza decorativa (jardinería)
Sistemas de absorción de vibraciones (vías férreas)
Barreras de seguridad en carretera (barreras New Jersey)
Piezas de caucho para sistemas de protección de motoristas
Losetas para pavimentos de seguridad
Mantas para aislamiento térmico y acústico (edificación)
Fabricación de polvo de caucho micronizado

Principales aplicaciones del granulado de NFVU. Fuente: Pérez Aparicio y Saiz Rodríguez, 2018

Reductores de velocidad, separadores de carriles y conos de vialidad

Otro uso para el caucho reciclado es la elaboración de desaceleradores, sardineles, tachas reflectadas y separadores de carriles vehiculares a partir de caucho reciclado. El material cuenta con alta resistencia a la intemperie, buena elasticidad, alta resistencia a la rotura por desgarro, alta resistencia al rozamiento y excelente durabilidad. Se utilizan en general para separar carriles exclusivos para buses o para bicicletas, y para instalar lomos de burro que limiten la velocidad de los vehículos, especialmente ante cruces peatonales o en proximidad de escuelas. Asimismo, se utiliza en la elaboración de conos para vialidad (Rodríguez Mondragón, 2019).

Se ha estudiado el comportamiento de recubrimientos protectores para las barreras metálicas de contención en carreteras y los postes que las sujetan, elaborados con caucho reciclado. La función de estos recubrimientos es la de proteger a los motociclistas si impactan contra ellos en accidentes de carretera. Los resultados obtenidos comparan la severidad del impacto cuando el poste está recubierto con el protector y sin él, y se concluye que la utilización futura de estos protectores es viable en cuanto a su efectividad técnica y a la alternativa económica que representan (Guraya et al., 2004).

Se realizó un estudio de medición de la resistencia a la compresión y la caracterización mediante un microscopio estereoscópico del tipo de unión de la mezcla de los topes de estacionamiento elaborados con granulado de caucho de 3 y 1 mm y distintos porcentajes de resina como aglutinante (10, 15, 20, 25 y 30 %) y los resultados demuestran que, a mayor contenido de resina y menor

tamaño de partícula, se presentan la resistencia a la compresión más elevadas (Saucedo et al., 2024).

Al analizar las propiedades mecánicas mediante sinterizado de residuos de caucho de neumáticos granulado adicionado con adhesivo policloropreno en suspensión acuosa, mediante un análisis de las imágenes mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) con la finalidad de observar la interacción de las mezclas GTR-Adhesivo, se concluye que las mayores prestaciones mecánicas para las mezclas se obtuvieron para porcentajes de adhesivos del 10% a 160 °C (Crespo et al., 2015, pág. 7)

Los bolardos (postes para evitar el paso de vehículos a una zona peatonal) elaborados a partir de caucho reciclado son más flexible, por lo que produce una menor fricción en los vehículos y minimiza su rayado. Además, son más flexibles y seguros que los actuales, ya que existe un riesgo menor de lesión de cabeza para ciclistas, motoristas y viandantes (s índice HIC) (Valero Martínez 2012).

Láminas de caucho

Las láminas de caucho reciclado han probado ser un material alternativo para generar diversas expresiones en el diseño interior. Mediante el uso creativo de este material es posible realizar una propuesta de diseño interior o exterior de un sector de una vivienda u oficina. Los revestimientos para paredes y pisos se presentan con texturas rugosas o lisas o con formas volumétricas o cromática. Es más recomendable su uso en escala de grises debido a que el costo de elaboración es menor dado la pigmentación del material de origen (Ordóñez Cordero, 2017).

Adoquines, losetas, baldosas, grama sintética, pisos decorativos, mantas de goma, alfombras y vinil de caucho

Se ha analizado el comportamiento mecánico que tiene el adoquín elaborado con distintos porcentajes de caucho triturado para su uso en pavimentación, mediante ensayos de colorimetría, desgaste por abrasión y compresión, y como resultado se estableció que el adoquín óptimo se logra al utilizar un 5% de caucho triturado, cumpliendo de este modo con los requerimientos normativos y logrando un ahorro en el costo de un 1% con respecto al adoquín tradicional (Cárdenas Peralta y Guncay Bustos, 2023).

La resistencia de los adoquines se reduce a medida que se aumenta la dosificación de los agregados de poliestireno expandido y polvo de caucho, corroborando que el adoquín D1 con las cantidades 50 de 2 g de poliestireno y 70 g de polvo de caucho presenta los resultados óptimos con una resistencia de 124,7 kg/cm², en comparación con el adoquín D2 con la dosificación de 4 g de poliestireno y 120 g de polvo de caucho con la resistencia de 71,20 kg / cm² (Medrano, 2019). Sin embargo, Rodríguez Almeida y Izurieta Pilay (2018) consideran que es más apropiado el uso de PET contrarrestando el agregado grueso en los materiales tradicionales. El PET demostró que no se deteriora a la intemperie mientras que el caucho rechaza la compactación en conjunto con los materiales tradicionales.

Los adoquines elaborados 100 % con caucho triturado pueden fabricarse mediante un proceso de termoformado que les otorga un formato hexagonal y

son completamente funcionales. Con unos de 10 kg de caucho triturado se pueden elaborar 3 adoquines hexagonales de 132 x 18 mm (Figuroa Ordóñez y Chica Agurto, 2022).

Este desperdicio puede ser convertido en materia prima la cual puede ser transformada y convertida a su vez en innovadores adoquines y/o vinil de caucho (Armas Cárdenas y Baño Calle, 2013).

Otro uso es la elaboración de baldosas blandas mediante el uso de calor y presión, Estas baldosas, gracias a su flexibilidad y suavidad, absorben el impacto de las caídas disminuyendo así la gravedad de cualquier posible lesión (Bruque Melgar y Zurita Lavayen, 2011). Son utilizadas en lugares de recreación infantil, industrias, alrededor de piscinas, campos deportivos y pistas de atletismo, así como en establos de criaderos de caballos de raza.

Este revestimiento para superficies presenta una excelente recuperación ante presiones constantes por la aplicación de cargas estáticas. La combinación de caucho scrap y caucho triturado entre el 60 y 75% son muy resistentes y pueden ser empleados en diferentes áreas como: parques, camineras, parqueaderos, espacios con alto tráfico peatonal; en tanto que, los que contienen entre 15 al 45% de caucho triturado, son aptos para patios domiciliarios, además posee una baja susceptibilidad a la infiltración de humedad (muy impermeables), resistentes a los cambios de temperatura en el ambiente, son durables, y de bajo mantenimiento (Tuba Ayala, 2024).

La fabricación de pisos decorativos a partir de los gránulos de caucho es una solución que disminuye el impacto que las llantas en desuso tienen sobre el medio ambiente, y se caracterizan por ser antideslizantes, aptos para exteriores, resistentes al impacto, resistentes al tránsito, durables, higiénicos, elásticos, atenúan el ruido y son fáciles de limpiar (Gómez y Montoya, 2011).

Se han elaborado mantas de goma de 1 metro de ancho, espesor: 6-8 mm y una longitud de 3 metros. El sistema de dosificación debe asegurar la distribución homogénea del material en toda la superficie del molde. La cantidad de material: 0.973 gr por cc. de volumen de pieza. Las alfombras de neumáticos reciclados se utilizan como felpudos para entradas a inmuebles, pasillos, etc. Poseen una alta acción anti-suciedad, lluvia, nieve y barro son retenidos, siendo capaz de extraer la suciedad de los zapatos fácilmente (Díaz, 2008, pág. 89).

Actualmente el 50% de la granulación que se fabrica en España y en Europa tiene como destino su uso en campos de hierba artificial y esta acaba de ser prohibida por la EU, considerando este uso, una liberación voluntaria de plásticos en la naturaleza, lo que pone muy complicado el objetivo de valorización material que recoge el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuo (PEMAR) de España (Peña, 2023, pág. 5). Sin embargo, el estudio realizado por Mañez (2007) en el Instituto de Biomecánica de Valencia analiza la posible toxicidad del caucho reciclado utilizado como material de relleno, y concluye que el caucho reciclado y granulado no se considera peligrosa para la salud humana y el medio ambiente en su empleo como relleno de las superficies de césped artificial.

El caucho procedente de residuos de neumáticos fuera de uso (NFU) tiene un efecto muy significativo en los revestimientos de yeso cuando se exponen a fuego. En la cara no expuesta al fuego se registran temperaturas considerablemente superiores a las observadas en revestimientos de yeso control. Además, los revestimientos desarrollados con caucho presentan otros inconvenientes, tales como emisión de humo, gases y una combustión exotérmica acusada que puede favorecer la propagación del fuego en caso de incendio (Castellón Guillén, 2021).

Alternativa a las tejas de pizarra

Se genera una lámina de unos 7mm de espesor que puede ser moldeada para simular una teja de pizarra y puede adaptar su color a las necesidades finales, y realizada con un porcentaje de entre el 75 y 85 % de caucho reciclado, añadiendo a la mezcla otros dos componentes, eficientes y a su vez ecológicos. La particularidad del material formado deriva en que, a su comportamiento acústico, eólico, eléctrico y térmico, se le añade el comportamiento impermeabilizante propio del caucho y que absorbe las vibraciones. La teja de caucho reciclado aporta al mundo de la construcción un elemento versátil y de propiedades muy interesantes, a un bajo precio y con la parte positiva de generar una baja huella ecológica al proceder el producto de manera íntegra de un proceso de reciclaje y un ahorro en el peso de la cubierta inclinada (Martín 2015). El proceso de producción de tejas comprende una etapa de calentamiento del caucho de neumáticos y esto provoca efluentes gaseosos de humos y compuestos orgánicos volátiles (VOCs por sus siglas en inglés). Por ende, un punto esencial del proceso de manufactura de las tejas es conocer el impacto de estos gases para saber el tipo de tratamiento a realizar, ya sea en escala laboratorio como también en la etapa industrial para ajustarse a la legislación ambiental vigente y preservar la salud humana y el ambiente (Amono et al.,2023).

Estas tejas cuentan con numerosas ventajas con respecto a soluciones de cubierta tradicionales (tejas cerámicas y de hormigón, chapa de zinc, etc.): son livianas, presentan mayor resistencia al impacto duro (granizo) y a la flexión, poseen baja absorción de agua, entre otras. Por otra parte, al estar fabricadas a partir de materiales de desecho reciclados, evitan la utilización de materias primas no renovables al tiempo que disminuyen la cantidad de residuos que finalizan en un relleno sanitario. Sin embargo, es importante destacar la aplicabilidad de las TMR en los climas templados, los templados fríos e, incluso, en los muy fríos, dado que al ser de color oscuro (negro) tienen un efecto albedo muy bajo, es decir, poca capacidad de reflexión de la energía solar incidente y, por ello, mucho potencial para absorber el calor. De esta manera, esta absorción térmica se traduce en la emisión de calor al interior de la vivienda. La distinta cantidad de radiación solar que es reflejada o absorbida se debe al color de la superficie. Una mayor absorción de calor ocurre cuando las superficies son oscuras, lo que produce el efecto de calentamiento, y viceversa (Sánchez Amono et al., 2024). En los climas más cálidos se puede experimentar recubriendo la teja con resinas de color blanco y evaluar su durabilidad y efectos.

Bloque de mampostería para viviendas, aplicación al mortero para recubrimiento de mampostería y tabletas de concreto reciclado

El bloque simple para mampostería de viviendas que presenta el agregado de residuos carbonosos y caucho reciclado es una solución viable y sostenible (Reyes Sánchez y Villa Guaita, 2021). Otra aplicación del caucho reciclado en la construcción es su aplicación al mortero tradicional para el recubrimiento de mampostería, en el que ha presentado muy buenos resultados (Martínez Gómez y Martillo García, 2020). Se realizaron las pruebas de resistencia del material sobre el ladrillo ecológico, hecho en su mayor parte con caucho reciclado, y las mismas concluyen que este reúne los estándares de resistencia, comparando el mismo con los estándares de resistencia de un ladrillo cerámico. Tiene una gran capacidad de impermeabilidad y aislamiento acústico, pero como desventaja, es un material que ante un incendio es consumido por las llamas (Ramírez-Pico et al., 2020).

Las tabletas para acabados arquitectónicos hechas con residuos de concreto y triturado de llantas con pigmentos de colores, generadas a partir de unos porcentajes de diferentes materiales, presenta en la cara A con un total del 67% encontramos (45% de concreto reciclado, arena 30%, cemento 15%, agua 9% y malla zaranda 1%), en la cara B con un total del 33% encontramos (2% duralatex, 4% de pigmento y 94% de triturado de llanta) (Anzola Gomez et al., 2021).

Los morteros con adición de caucho de granulometría fina presentan mayor capacidad de retención usando contenidos del 15% y 20% de caucho, menor absorción tanto por capilaridad como por inmersión, mayor capacidad de secado, mayor permeabilidad al vapor de agua y menor permeabilidad al agua bajo presión (Pagoto et al., 2022)

Membrana aislante, laminas impermeabilizantes y aplicación en juntas

Otro uso muy interesante es el de las membranas aislantes, que tiene aplicaciones como aislamientos acústicos de paredes, bajo pavimentos, parquet o cerámica, y como impermeabilizaciones de techos y cubiertas, y aislante del frío y humedad proveniente del suelo.

El polvo de los neumáticos reciclados se aditiva a la masa asfáltica preparada para la fabricación de láminas asfálticas impermeabilizantes bituminosas, sustituyendo parte del elastómero. El tamaño de la granza que mejor comportamiento tiene, tanto en máquina como en producto final, es el de 400 micrones. El producto obtenido tiene mejor comportamiento a la luz UV y mejor envejecimiento que las láminas impermeabilizantes bituminosas de betún-SBS. Cuanto mayor es el contenido de SBR mejor es la susceptibilidad térmica de la masa obtenida (Aguado Alonso, 2010).

Su utilización en juntas ha presentado muy buenos resultados ya que este material permite mantener la separación entre juntas de edificaciones y disminuir el traspaso de energía durante movimientos telúricos (Ramírez-Pico et al., 2020).

Aditivo de la mezcla asfáltica y en hormigón asfáltico

El asfalto aditivado con polvo de caucho reciclado es una mezcla asfáltica en caliente que posee características favorables desde el punto de vista ambiental y vial, ya que presenta mejores respuestas en condiciones climáticas extremas y permite dar un destino al caucho proveniente de los NFU. La incorporación del

polvo de caucho se realiza directamente en el proceso de amasado, sobre los áridos calientes, antes de la incorporación del betún y una vez fabricada la mezcla, tras un tiempo de maceración, se procede al extendido y compactación. El polvo de caucho es muy apropiado para modificar el betún de las mezclas asfálticas, ya que sus polímeros se encuentran formando una estructura elástica, en la que los puentes de azufre formados durante la vulcanización entre cadenas de polímeros juegan un papel importante a la hora de definir el comportamiento del material. La presencia de estos enlaces marca la diferencia entre los polímeros que habitualmente se utilizan en la modificación de los betunes y el polvo de caucho de neumáticos (Díaz, 2008).

El grano de caucho reciclado es un material elástico y de propiedades hidrofóbicas que posibilitan una mejora en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica. Se ha evaluado y comparado las propiedades mecánicas y la susceptibilidad a la humedad que conlleva la adición del caucho triturado en el tamiz #08 por medio de vía seca, en proporciones de 1% y 1.5%, en relación con el peso total de los agregados y respecto del aditivo Ricot Z, y se concluye que el uso de caucho granulado o del aditivo elevan levemente el costo de fabricación de las mezclas asfálticas, pero permiten reducir gastos de mantenimiento en los pavimentos y mejoran sus propiedades mecánicas. Entre ambos aditivos, el Ricot Z le otorga a la mezcla asfáltica un mejor comportamiento mecánico y una mayor durabilidad que el caucho granulado, aunque este último no deja de ser una buena opción (Guerrero y Prado, 2022).

Algunos autores recomiendan un porcentaje de caucho en la mezcla asfáltica que oscila entre un 10 y 25%, no existiendo consenso respecto de cuál es el valor óptimo, pero se observa que el uso de porcentajes altos de caucho conduce productos con viscosidad alta que limitan su trabajabilidad. El grado de aporte de la incorporación del caucho molido en la mejora de propiedades depende de numerosos factores dentro de los cuales se puede mencionar: la tecnología de la incorporación (vía seca o vía húmeda), naturaleza del caucho, granulometría del mismo, dotación y, para el caso de incorporación por vía seca, el tiempo de digestión (Díaz, 2008).

Por vía seca, se incorpora el caucho directamente en la mezcla bituminosa, durante el amasado. Por su parte, por vía húmeda, se fabrica un betún caucho que después se utiliza en la fabricación de una mezcla bituminosa. Las características que adquiere el pavimento varían según el proceso por el cual se va a adicionar el polvo de caucho (Alonso, 2022).

El adicionar gránulos de caucho reciclado para lograr la modificación las mezclas asfálticas, conlleva grandes beneficios. Estas modificaciones han demostrado ser más duraderas que las modificaciones convencionales, brindando ahorros a largo plazo debido a su menor mantenimiento y mayor durabilidad, además de priorizar la reducción de impactos ambientales negativos, como la quema indiscriminada de NFU.

Los diferentes estudios encontrados en la revisión de la literatura demuestran que la adición del GCR a las mezclas asfálticas, independientemente del proceso

(seco o húmedo), mejora considerablemente los comportamientos mecánicos de los pavimentos (Alonso, 2022).

En Argentina, ya en 2007 se realizaron tramos experimentales incorporando caucho molido en mezclas bituminosas en un sector de la avenida Rivadavia en la ciudad de Buenos Aires, por iniciativa del gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, Autopistas Urbanas S.A. y del CEAMSE (Cinturón Ecológico Área Metropolitana-Sociedad del Estado), y con el aporte brindado conjuntamente por el Laboratorio de Pavimentos e Ingeniería Vial de la Universidad Nacional de La Plata (La PIV) y Repsol YPF. Esta experiencia buscó verificar la factibilidad de adoptar esta tecnología en el medio urbano, cuantificando además las posibles mejoras derivadas de la incorporación del caucho molido a las mezclas asfálticas (Díaz, 2008).

Desde los años 60, los hormigones asfálticos cauchutados (RAC) han demostrado ser tecnologías consistentes para la construcción de pavimentos asfálticos duraderos, rentables y silenciosos en todo el mundo. A pesar de ello, el uso de RAC sigue siendo poco común en Europa, más que nada debido a limitaciones culturales que a restricciones técnicas. En los últimos años, una regulación nacional en España y la creciente preocupación por el ruido ambiental en Italia han fomentado un uso regular de RAC en ambos países y se han desarrollado nuevas tecnologías de caucho, con procesos híbridos húmedos y secos, que brindan nuevas sinergias entre PmB y CRM y que cumplen con los requisitos de sostenibilidad en la base de la filosofía de Contratación Pública Verde (Fornai et al., 2016).

Hoyos Díaz et al. (2021) analizan 50 artículos indexados en la base de datos Scopus entre los años 2006 y 2020 sobre el uso de CR en mezclas asfálticas, daño por humedad, resistencia a la formación de surcos, resistencia a la fatiga y resistencia a baja temperatura, y hallan que los porcentajes óptimos de CR en las mezclas asfálticas varían en un rango de 1%-20% en peso de la mezcla total. Asimismo, utilizar el CR aporta diferentes beneficios a la mezcla tales como: resistencia a la tracción indirecta, a la susceptibilidad, a la humedad, a la formación de surcos, a la permeabilidad y al envejecimiento; aumenta la vida útil de las mezclas a la fatiga y disminuye el ruido.

Incorporación al hormigón para un pavimento rígido

Es viable incorporar caucho reciclado al hormigón entre el 5% y 9 % para la mejorar la resistencia del concreto expuesto al fuego a la compresión. De los ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión, se obtuvo que el concreto de mayor resistencia se obtiene del diseño de un concreto patrón de $f'c$ 210 kg/cm² con incorporación al 9%. A los 28 días tiene una resistencia de 286.29 kg/cm² con referente al patrón que es 234.34 kg/cm² (Lopez Lopez, 2022). La inclusión de caucho en las mezclas mejora la trabajabilidad sólo con 10 y 20 % de sustitución; el peso unitario disminuye y el contenido de aire sufre variaciones. Cuando la resistencia a la compresión requerida es mayor, se necesita mayor cantidad de cemento y menor cantidad de agregado fino y grueso (Castro Montoya, 2019).

Se demostró un caso de uso particular para el nuevo material de grafeno que se puede elaborar como subproducto de la pirólisis y a través del calentamiento flash joule: la producción de hormigón. Añadiendo un 0,1 % en peso de grafeno

producido a partir de los neumáticos comprobaron que los cilindros de hormigón fabricados con este cemento mostraban una resistencia a la compresión aproximadamente un 30 % mayor que el hormigón fabricado sin el aditivo de grafeno (Alonso, 2022).

Sin embargo, un estudio determinó que el SRD reduce la resistencia a la compresión en un rango del 13% al 17% y también reduce el módulo de elasticidad en un rango del 3.30% al 10%, ambos respecto a la probeta convencional. Sin embargo, el SRD incrementó la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico debido a un incremento en las deformaciones plásticas y un desarrollo progresivo del daño en las probetas modificadas (Rodríguez y Taipe-Carbajál, 2022).

En el hormigón ligero, el concreto en estado endurecido se evaluó mediante pruebas mecánicas de resistencia a la compresión axial, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción mediante compresión diametral, pruebas físicas de absorción de agua y masa específica, además del análisis de imágenes por microscopía electrónica de barrido. El uso de arcilla expandida con la incorporación de un 1% de residuo de goma del neumático aseguró mejores resultados en resistencia mecánica, menor absorción de agua y mayor masa específica que las mezclas con 2.5 y 5%, alcanzando valores cercanos al concreto de referencia, y el residuo puede ser una alternativa para su reutilización evitando su eliminación (Soares Santos et al., 2023).

El caucho de neumático tiene potencial para ser incorporado en la fabricación de tubos de hormigón simple ya que los ensayos de resistencia a la compresión diametral presentaron valores superiores a los especificados en la norma NBR 8890 para los tubos de hormigón simple clase PS2: tipo PB con DN de 600 mm, cuyo valor es de 36 kN/m, y en los ensayos de absorción de agua, todos los tubos presentaron valores de absorción inferiores al máximo establecido en la norma NBR 8890, cuyo valor es de 8% (Akasaki et al., 2016, pag. 27).

Aislante acústico

Los gránulos de caucho reciclado son un excelente material absorbente acústico de amplio espectro, especialmente en granulometrías menores a los 3 mm, que por sus propiedades de inalterabilidad y estabilidad en el tiempo y frente agentes climáticos resulta excelente para la elaboración de pantallas acústicas de interior y exterior (Rodríguez Montejano, 2003).

Sub-balasto ferroviario

Se verifica en el campo del equipamiento ferroviario el uso del caucho granulado para elaboración de losetas flexibles en pasos a nivel y fabricación de traviesas compuestas. Una de las posibles formas de resolver el problema de las vibraciones inducidas por el ferrocarril es llevando a cabo una ligera modificación de los materiales que forman la vía. El uso de gránulos de caucho como sub-balasto (capa localizada bajo el balasto) revela que la mezcla de partículas de caucho con zahorras aumenta el coeficiente de amortiguamiento, lo que muestra el potencial que poseen las mezclas propuestas para la atenuación de vibraciones (Garzón-Roca et al., 2017).

Un estudio realizó un análisis de mezclas granulares sin ligante con un porcentaje variables de partículas de caucho, y su uso como capa de sub-balasto ferroviario y concluye que el contenido óptimo de caucho es 2,5% en términos de peso. Este porcentaje incrementa la resistencia a la degradación al tiempo que asegura una capacidad de soporte suficiente (Hidalgo-Signes et al., 2016).

El hormigón reforzado con fibras y residuos procedentes de neumáticos fuera de uso presentó resultados sumamente satisfactorios en una prueba realizada en una vía de doble sentido próxima a la ciudad de Valencia. La solución modular definitiva consistió en cajones de hormigón huecos, de 1'2 m x 0'5 m de sección. En esta localización se instalaron 12 acelerómetros piezoeléctricos de alta resolución (IEPE). En el dominio del tiempo se ha conseguido una reducción de las aceleraciones verticales entre los puntos de control inmediatos anterior y posterior a la barrera de casi un 1000%, respecto no haber colocado ninguna medida. En cuanto al dominio de la frecuencia, dentro del rango de interés de 0 a 100 Hz se ha conseguido una reducción de vibraciones verticales de un 1500 %, de nuevo respecto una situación donde no se hayan puesto barreras vibratorias (Martínez, 2018).

Asimismo, Gómez Hoyos (2019), plantea el desarrollo de un material elastomérico a partir de neumáticos fuera de uso que permita conseguir una alta atenuación de vibraciones en los sistemas de vía en placa con carril embebido, mediante su aplicación como revestimiento del carril, de forma que actúe como aislador pasivo entre el carril y la plataforma de hormigón.

Cortinas flotantes y barreras de contención de hidrocarburos

El caucho aditivado con compuestos que lo hacen resistente a los elementos y al aceite, es utilizado para recubrir las cortinas flotantes y las barreras de contención de hidrocarburos utilizadas por las empresas petroleras.

El hule proveniente de las llantas usadas se puede utilizar para absorber petróleo crudo. El hule sumergido en petróleo crudo absorbe la mayor parte (70%) durante los dos primeros días; después el proceso de absorción es lento, y su comportamiento es asintótico. En el límite práctico de 12 días, la cantidad absorbida de petróleo crudo fue de 78%, calculado con base en peso del hule. Es importante destacar que el límite de absorción no sufre modificación alguna debido a la presencia de arena y/o agua en el petróleo usado en estos experimentos. Luego, es técnicamente viable llevar a cabo en reactor por lote, la biodegradación de hidrocarburos contenidos en "pellets" fabricados con hule de llantas usadas, mediante el consorcio microbiano aclimatado en el laboratorio (Gonzalez et al., 2013).

Elaboración de carbón activado

La goma de neumáticos fuera de uso puede ser utilizada en la elaboración de carbón activado, la cual se lleva a cabo por los métodos de activación física en vapor de agua y de activación química con KOH calentando generalmente a 850 °C durante 1 o 2 h. La caracterización de los productos resultantes se ha efectuado mediante adsorción física de N₂ a -196 °C, poro simetría de mercurio y medida de la densidad de mercurio y del pH del punto de carga cero. El carbón

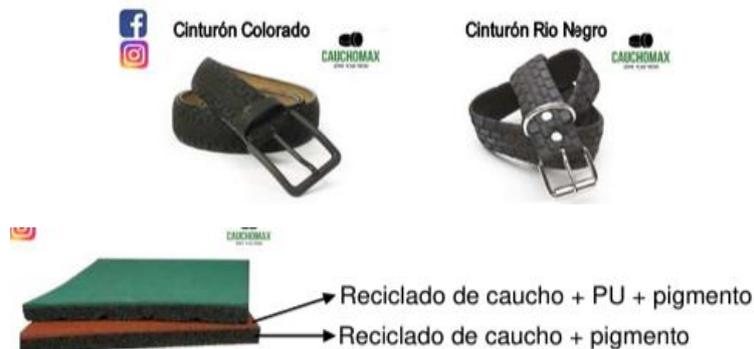
obtenido posee además una distribución de porosidad muy ancha en las regiones de micro-, meso- y macro poros (Adams et al., 2022).

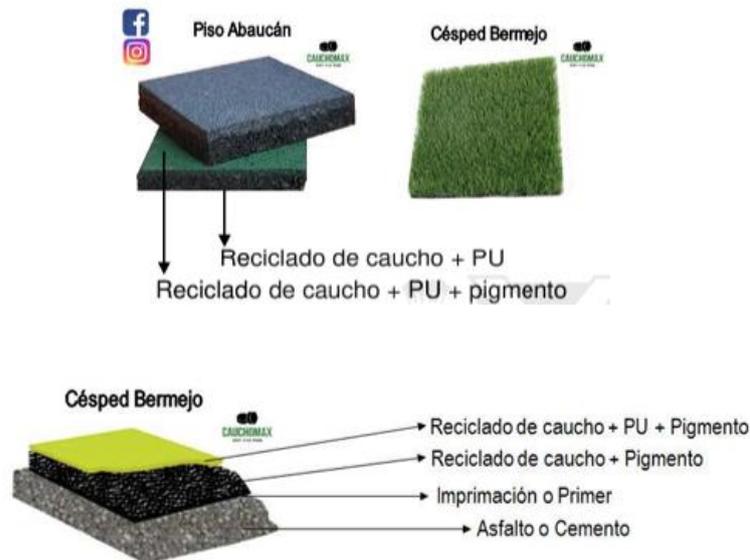
Fabricación de muebles, colchonetas para mascotas y artículos para el hogar y mobiliario urbano.

Los productos comprendidos en este proceso fueron las sillas, mesas, sillones, macetas, bolsas y cinturones. La empresa CRISOR de Colombia se dedica al diseño, fabricación y comercialización de accesorios tales como bolsos, morrales, riñonera, correas y mochilas, hechos con materiales reciclables, en la ciudad de Medellín. A continuación, se presentan imágenes de los productos elaborados por la firma colombiana Cauchomax S.A.S.



Catálogo de productos Home & Deco. Fuente: Instagram @Cauchomax





Asimismo, se ha identificado la posibilidad de elaborar mobiliario urbano mediante el uso de caucho reciclado y recubierto con resinas especiales. Se pudo comprobar cemento adicionado con caucho, con un espesor de 5 cm soportó el peso de las nueve personas, sin ningún inconveniente sobre el mobiliario y sus diferentes componentes, dando así vía libre al diseño y a la utilización del caucho y el concreto armado (Quant Callejas y Rosas Niño, 2020).

Suelas de calzados y pantuflas

Resulta viable el diseño y elaboración de suelas de calzados y pantuflas con plantas de caucho reciclado de neumáticos como una propuesta de valor para entregar el producto a un precio menor y alcanzar clientes sensibles al precio, crear nuevos mercados y satisfacer necesidades que los clientes no tenían identificadas explícitamente (Torres, 2018)

Reemplazo de la madera (residuo, 2018)

El desarrollo consiste en una innovadora tecnología para procesar neumáticos al final de su vida útil y convertirlos en un producto de reemplazo de la madera, completamente renovable, conseguido con cero residuos y cero emisiones en todo su proceso. Esto es posible mediante la tecnología patentada por Dena Nano, compañía especializada en nanotecnología con sede en el Reino Unido. Las nano partículas presentes en el caucho de los neumáticos reciclados se utilizan para producir tableros y materiales de construcción con propiedades similares y características mejoradas a la madera, para su uso en interiores y exteriores. Los tableros y elementos creados con esta nueva tecnología son extraordinariamente duraderos, se pueden olorizar, cortar y serrar como la madera natural y adaptar su forma a los requisitos de diseño de cualquier proyecto. El producto final a prueba de agua y sustancias químicas. Estos elementos también pueden volverse a reciclar al 100 % (Alonso, 2022, pág. 47).

Impresión 3D con polvo de neumático (Neomatique, 2021)

Se refiere la posibilidad de transformar los NFU en otros objetos, utilizando la tecnología de impresión 3D. Numerosas investigaciones han demostrado que, en la producción de filamentos para la impresión 3D, los neumáticos fuera de uso ofrecen cualidades similares al producto original en cuanto resistencia y flexibilidad. Frente a otros muchos materiales que se pueden emplear como materia prima para imprimir en 3D, el caucho posee cualidades que lo hacen perfecto para la impresión 3D sostenible: es elástico y duradero. Una vez convertido en filamento, el caucho se vuelve menos permeable al desgaste que provoca el uso continuado, alcanzando nuevos niveles de memoria elástica sostenible por el acabado mate del filamento, su color oscuro y sus propiedades antiadherentes (Alonso, 2022, pág. 50).

Elaboración de neumáticos para bicicletas

Se está utilizando el SBR reciclado para elaborar neumáticos para bicicleta y se ha obtenido muy buenos resultados. A finales de 2018 Pirelli presentó en Alemania, durante la celebración de la feria Eurobike, una nueva gama de neumáticos ecosostenibles (con una base de NFU), cuya principal característica es utilizar caucho reciclado en su fabricación. Se trata de un prototipo exclusivo para bicicletas, pero supone, de igual manera, un paso importante en el empeño de dar valor a los NFU (Lopez Cortazar, 2019; citado por Alonso, 2022).

En compuestos de polímeros

Es viable la reutilización del caucho obtenido de estos neumáticos, mediante su mezcla con diversos compuestos poliméricos de uso común en la industria, con el fin de mejorar alguna de sus propiedades mecánicas, y al mismo tiempo, dar salida a estos excedentes que causan los neumáticos ya utilizados. Un estudio analizó las propiedades mecánicas de siete polímeros termoplásticos comunes, los cuales, mezclados con los gránulos de caucho reciclados en varios porcentajes y tamaños de partícula de caucho, podrían ser de utilidad en los procesos industriales. De los resultados obtenidos, se deduce que esta propuesta es válida, al menos con algunos de tamaños de partículas y porcentajes de caucho analizados. La concentración límite de caucho a fin de mantener valores aceptables de las propiedades mecánicas es del orden del 5-10% en general, valores que permitiría su uso en diversos campos de la industria con solicitaciones mecánicas no demasiado elevadas, dando salida a grandes cantidades de caucho en desuso que hoy en día representan un problema (Mujal Rojas, 2019).

Uso como aislante eléctrico en conjunto con polietileno lineal de baja densidad

Mujal-Rosas et al. (2021) propone en uso de un 5 a 10 % de caucho vulcanizado reciclado para realizar un material compuesto en conjunto con polietileno lineal de baja densidad usado como matriz, el cual presenta buenas propiedades eléctricas y mecánicas, para su uso como aislante eléctrico en aplicaciones con bajos requerimientos como espaciadores o soportes para cables eléctricos y motores de corriente alterna especiales.

Tratamiento de aguas residuales

El proceso de termólisis genera una fracción sólida carbonosa con una excelente combustibilidad y con un elevado poder calorífico, ligeramente inferior al del neumático original pero comparable al carbón de buena calidad, es decir, esta fracción sólida presenta unas excelentes propiedades como combustible, lo que se refleja en su elevado poder calorífico y la ausencia de cloro en su composición. El proceso de termólisis de neumáticos usados es una técnica muy interesante desde el punto de vista de la generación de nuevos productos (sólidos y gaseosos), con excelentes propiedades como combustibles, lo que facilita en gran medida su valorización energética (Martínez Morán et al., 2004).

El SBR puede ser utilizado para dar tratamiento a diferentes aguas residuales y en función de diferentes necesidades, una de las ventajas más importantes de los SBR es su flexibilidad. Las características del agua a tratar, las necesidades del tratamiento y la calidad final deseada determinan en gran medida el tratamiento a realizar y las diferentes estrategias de alimentación. La tecnología SBR no es nueva. De hecho, apareció antes que el sistema de tratamiento continuo de fangos activados. El precursor de los SBR fue un sistema de llenado-vaciado que operaba en discontinuo. Pero existían ciertas dificultades a nivel de operación para estos reactores. A principios de los '60, con el desarrollo de los nuevos equipamientos y las nuevas tecnologías, volvió a resurgir el interés en los SBRs. Importantes mejoras en el campo de los suministros de aire y en el de control han permitido que hoy en día los SBRs compitan con los sistemas convencionales de fangos activados (Vives Fábregas, 2004).

La goma del neumático fuera de uso posee un alto contenido de carbono, bajo en azufre y no muy elevado de cenizas, y su composición química es potencialmente un material apropiado para su utilización como materia prima para la preparación de materiales absorbentes inorgánicos (Pérez Pereira, 2019)

Partiendo de goma de neumáticos fuera de uso y empleando distintos métodos es posible preparar carbones activados un substancial desarrollo de la microporosidad, volúmenes elevados de meso- y macroporos así como con distintas distribuciones de meso- y macroporosidad, y con un reducido contenido de materia inorgánica (Franco et al., 2011).

USO ARTESANAL

Se emplean los NFU para crear productos auténticos y ecológicamente responsables y de forma artesanal, sin someterlo a un proceso industrial de recuperación. De este modo se elaboran sillas, tapetes, macetas, artículos decorativos, juegos infantiles, entre otros.

Usos de las fibras textiles recuperadas

Las fibras textiles representan alrededor del 10% en peso del NFU y cada año, en Europa, hay que eliminar como residuos especiales unas 320.000 toneladas de material fibroso sucio. Los estudios muestran que el material fibroso se puede utilizar en aplicaciones de segunda vida. Resulta viable reutilizar la fibra textil

como materia prima secundaria en compuestos asfálticos y plásticos, y se comprueba que reduce el impacto ambiental global, pero requiere de fibra con un grado de limpieza superior a la destinada a la incineración o al vertedero (Landi et al., 2016).

Refuerzo de suelos arcillosos o arenosos

Las fibras textiles, subproducto del tratamiento de los NFU, usualmente se queman o entierran, lo que genera varios problemas ambientales. Se ha evaluado un uso alternativo para estas fibras como medio para reforzar suelos arcillosos y arenosos y se ha observado en laboratorio que son capaces de mejorar todos los parámetros de resistencia y ductilidad del suelo arenoso. En suelos arcillosos, a pesar de la reducción de la resistencia a la compresión ilimitada y de la relación de rodamiento, la ductilidad y la resistencia a la tracción aumentan. Como resultado, en lugar de enterrar o quemar estos desechos, pueden utilizarse para mejorar las propiedades mecánicas de diversos tipos de suelos (Abbaspour y Nejad, 2019).

Aislante acústico

Se verifica un buen comportamiento como absorbentes acústicos de diferentes clases de fibras textiles, provenientes de métodos de extracción y separación en el reciclado de neumáticos fuera de uso, para su uso en aplicaciones de acústica arquitectónica (Zamorano Cantó, 2016).

Por los desafíos técnicos y económicos inherentes a los procesos de reciclaje de los cauchos, hay que advertir que infortunadamente la generación de desechos de residuos de caucho excede sus usos potenciales [16], pero a pesar de la complejidad de algunos de los procesos de reciclaje de caucho, es tan necesario encontrar soluciones que se siguen buscando aplicaciones para este tipo de desechos.

La búsqueda por nuevas aplicaciones para el caucho reciclado debe orientarse a obtener productos con mayor valor agregado, para que esta alternativa planteada sea económicamente atractiva, tenga mayores posibilidades de comercialización y consecuentemente al aumentar los volúmenes de utilización de caucho reciclado, se disminuya el impacto ambiental de la disposición de los residuos de caucho, como se ha resaltado insistentemente en este documento.

En el estado del arte presentado en este trabajo no se considera la incineración de residuos de caucho para producir vapor, electricidad o usarlos como combustible para hornos de cemento, puesto que se trata de alternativas técnicamente viables pero que exigen un alto capital de inversión y por lo tanto sólo está al alcance de grandes corporaciones u organismos multilaterales. Otra alternativa no considerada en este trabajo es la recuperación del negro de humo presente en residuos de caucho, lo cual disminuye los costos de los procesos de corte y trituración pero es un proceso que genera negro de humo más costoso y de menor calidad que aquél que proviene de la refinación del petróleo; además, se tiene el agravante de que la incineración de las LLFU exige equipos altamente especializados y costosos para evitar que se genere un efecto nocivo en el medio

ambiente e implica buscar alternativas para el uso de los otros componentes de las formulaciones de caucho.

A continuación, se describen las aplicaciones del caucho reciclado que constituyen una alternativa tanto para pequeñas y medianas empresas como para grandes empresas.

Construcción e infraestructura

El caucho reciclado puede ser utilizado como componente de pavimentos y concretos para la construcción de vías y edificaciones. Emplear residuos de caucho en este tipo de aplicaciones representa, además de las importantes ventajas ambientales y económicas expuestas previamente, mejoras técnicas en este tipo de productos, tales como el incremento de la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga, acarreando sin embargo algunas pérdidas en propiedades como el módulo elástico y la resistencia a la compresión. Debido a lo anterior, el uso de caucho reciclado en concretos y pavimentos presenta retos económicos, ecológicos y técnicos que actualmente son tema de interés. En el sector de la construcción también se utiliza el caucho reciclado para la fabricación de pisos antideslizantes, bases de tapetes, compuestos impermeables para techos y paredes. El asfalto modificado con caucho ha servido como base para pistas de hípica, drenajes de subsuelo y acondicionadores de suelo.

En una investigación orientada a la modificación de asfalto para pavimentos se evaluó un sistema de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) con caucho reciclado triturado (CRT), en el cual se realizó un proceso de desvulcanización dinámica del CRT durante el mezclado de ambos componentes en extrusora de doble husillo. Posteriormente, se llevó a cabo un nuevo proceso de vulcanización dinámica sobre la mezcla, para luego ser incorporada en asfalto. Según los autores, el proceso de desvulcanización durante el mezclado en extrusora permite mantener casi completamente la elasticidad original del caucho y mejora su dispersión en la matriz termoplástica, y a su vez, el proceso posterior de vulcanización mejora las interacciones entre las partículas de caucho y la matriz de LLDPE, lo que aumenta el desempeño de propiedades del asfalto modificado tales como la sensibilidad térmica y la resistencia a la penetración.

En otro estudio se investigó experimentalmente la posibilidad de incorporar caucho reciclado proveniente de LLFU a mezclas de concreto compactado con rodillos para pavimentos; los resultados mostraron que mediante este proceso es posible obtener un compuesto con mejores propiedades de consistencia, ductilidad y resistencia al agrietamiento y menor densidad específica y absorción de agua, pero algunas propiedades mecánicas disminuyeron. Los autores proponen que este nuevo material podría ser utilizado en vías de bajo tráfico, caminos rurales y amplias áreas para pedestres. Otros estudios han mostrado que la incorporación de caucho reciclado triturado también es factible en matrices de cemento Portland, así como mezclas ligantes usadas para construcciones con ladrillos y concreto. Sin embargo, en la mayoría de las investigaciones se ha mostrado que, a pesar de la reducción de densidad y la mejoría en propiedades de resistencia al impacto, tenacidad, ductilidad y aislamiento acústico, también se pueden generar una disminución en propiedades como resistencia a la compresión y a la tracción, evidenciando la necesidad de continuar buscando

soluciones para superar este tipo de inconvenientes. Yilmaz y Degirmenci desarrollaron un compuesto de cemento Portland al que se incorporó caucho reciclado molido y cenizas provenientes de la quema de carbón, y lo evaluaron experimentalmente mediante ensayos de flexión, compresión y absorción de agua. Los resultados mostraron que se logra atenuar la reducción en las propiedades de compresión generadas por la incorporación de partículas de caucho reciclado molido si simultáneamente se incorporan cenizas a la formulación, confiriéndole a la mezcla un mayor rango de aplicaciones potenciales en el sector de la construcción.

Otro compuesto desarrollado para este tipo de aplicaciones es el concreto con incorporación de agregados de caucho reciclado reforzado con fibras de acero. Este compuesto mostró que cuando se utiliza una proporción óptima de caucho reciclado y simultáneamente fibras de acero, se puede obtener un concreto viable para el uso en aplicaciones de ingeniería civil ya que continúa presentando las buenas propiedades de ductilidad y tenacidad de la mezcla original, con consecuencias menos drásticas sobre la resistencia a la compresión y a la flexión.

En las grandes ciudades, son cada vez más importantes los sistemas de aislamiento sísmico, que generalmente están constituidos de materiales de gran tamaño, peso y alto costo dado que se trata de estructuras constituidas por placas de acero exteriores unidas por placas reforzantes interiores elastoméricas. En el caso de grandes construcciones es más fácil financiar los altos costos de este tipo de sistemas aislantes, sin embargo, los costos son inviables en el caso de construcciones livianas, por lo que conviene buscar materiales que desempeñen esa función con un menor impacto económico. Un estudio demostró que soportes de amortiguación de vibraciones reforzados con fibras y con placas interiores de caucho reciclado como elastómero, podrían desempeñarse como sistemas de aislamiento sísmico eficientes en construcciones livianas (residenciales o comerciales de baja altura). Mediante cálculos teóricos y pruebas experimentales los autores demostraron que dichos materiales pueden mantener la estabilidad de la estructura aceptando un mayor desplazamiento lateral y aumentar la razón de disipación de energía, haciendo potencialmente viable su utilización en este tipo de edificaciones.

De la revisión de la literatura se infiere que en el área de construcción e infraestructura existen alternativas viables y económicamente atractivas para los residuos de caucho, lo cual constituye una posibilidad en países como Colombia que viven un crecimiento significativo de la industria de la construcción o en la recuperación de vías terciarias, las cuales comprenden alrededor del 70 % de la red vial del país. Para impulsar decididamente el uso de caucho reciclado en ese tipo de aplicaciones es de vital importancia la adecuada capacitación del recurso humano directamente involucrado, el acatamiento de la legislación ambiental y de buenas prácticas de manufactura, así como la evaluación de requisitos técnicos pertinentes que otorguen seguridad para la aplicación de estos residuos, desafíos que deben ser abordados a corto plazo.

En la actualidad el ruido potencialmente contaminante representa un serio y complejo problema, debido a la necesidad de contar con ambientes sanos y con la menor contaminación acústica posible, de tal manera que actualmente se buscan materiales delgados, livianos y de bajo costo que absorban ondas

acústicas en amplias frecuencias. En algunos estudios se ha evaluado la capacidad de absorción acústica de partículas de caucho reciclado, mostrando la potencial aplicación de este material en esta área [45]. Algunos autores han concluido que se pueden usar materiales compuestos que contienen partículas de caucho reciclado para aplicaciones donde se busque absorción acústica, debido a la capacidad comprobada del caucho para absorber sonido de baja frecuencia, de tal manera que si se complementa con un material que absorba ondas acústicas de alta frecuencia se tendría una importante barrera contra el ruido utilizando materia prima de alta disponibilidad y bajo costo [46], además de desempeñarse igual o incluso mejor que muchos de los materiales que se comercializan actualmente para este tipo de productos [47].

Cuidado y recuperación del medio ambiente

En lo concerniente al cuidado y recuperación del medio ambiente, se ha demostrado la utilidad del caucho reciclado como componente para la fabricación de techos verdes, como adsorbente de sustancias tóxicas presentes en soluciones acuosas, en sistemas de filtración y limpieza de aguas residuales y derrames y como componente de celdas de combustible. A continuación, se describen estas aplicaciones con mayor detalle.

Los techos ecológicos, también conocidos como techos verdes, son llamados de esta manera por el hecho de que cuando se cubren con vegetación se facilita un medio de crecimiento para las plantas y se tornan de color verde [48]. Al evaluar la configuración de esas estructuras desde la capa exterior hacia la interior, se encuentra que están compuestas de vegetación, sustrato, filtro, drenaje, protección, barrera de raíces y una capa impermeable; sin embargo, los materiales usados normalmente no son amigables con el medio ambiente pues se trata de termoplásticos como polipropileno, polietileno, poliésteres y PVC. En la mayoría de las configuraciones, la capa de drenaje está compuesta de agregados de materiales de arenisca, principalmente puzolana, cuya extracción, procesamiento y disposición final genera un gran impacto medioambiental haciendo pertinente sustituirlas con materiales con menor impacto ambiental, tales como caucho reciclado triturado conllevando además a una considerable disminución del peso del techo. Un análisis del ciclo de vida completo de los techos verdes con caucho reciclado encontró que el uso de este tipo de materiales tiene un impacto ambiental hasta 7 % menor en relación a aquellos techos que utilizan materiales convencionales, como la puzolana.

El caucho de las LLFU ha probado ser un medio interesante y económicamente atractivo para la absorción de contaminantes tóxicos provenientes de soluciones acuosas. Además, la conversión de LLFU en carbón activado para uso potencial en tratamientos de aguas desechadas con presencia de contaminantes tóxicos posee un componente social bastante atrayente. Esto no sólo provee un método para el manejo de los residuos sólidos generados, sino que también reduce en gran medida el costo de producción de este tipo de adsorbentes. Entre el 25 y el 30 % del peso de una llanta está constituido por negro de humo, que a su vez posee un contenido de entre 70 a 75 % de carbono [53]. Este adsorbente carbonáceo obtenido de la pirolisis de LLFU es bastante similar al carbón activado y mediante tratamiento con calor y sometimiento a atmósferas de dióxido de carbono o vapor se puede lograr la activación de su superficie,

umentando su área superficial y porosidad y, consecuentemente, mejorando su comportamiento como adsorbente.

Algunos estudios han demostrado la aplicación exitosa de los desechos de caucho proveniente de LLFU como adsorbentes para varios tipos de contaminantes, entre los cuales se encuentran derivados del petróleo como xileno y tolueno, colorantes], pesticidas, fenoles, iones metálicos como el cobre de valencia II, el cromo de valencia IV, mercurio], cadmio, plomo y níquel.

Un nuevo sistema de filtración para tratar aguas residuales de lastre desarrollado con caucho triturado filtra efectivamente los contaminantes presentes en este tipo de aguas, con menor obstrucción en relación con los filtros de arena, y, además, con mejor capacidad de adsorción orgánica y mayor área superficial, tornándose como un material promisorio para este proceso de filtración.

Las celdas de combustible microbianas son una aplicación que gana cada vez más terreno dentro de las tecnologías de generación de energía, sin embargo, actualmente poseen retos como la reducción del costo de sus materiales para poder viabilizar su producción a gran escala y ampliar su aplicabilidad. Los materiales convencionales incluyen gránulos de grafito, papel, mallas y telas de carbón y carbón activado, los cuales poseen costos entre 50 US\$/m² y 1000 US\$/m², haciendo inviable su uso a gran escala [65]. En un estudio realizado por Wang se evaluó la factibilidad del uso de caucho reciclado granulado con un recubrimiento conductor como ánodo de celdas de combustible microbianas. Los autores encontraron que las partículas de caucho reciclado provenientes de LLFU presentan buena conductividad cuando son recubiertas con 2 a 4 capas de grafito, su área superficial es mayor a la de los gránulos de grafito lo que favorece la fijación de microbios en su superficie y los costos de este tipo de ánodo son mucho menores a los de los materiales convencionales, ya que cuestan entre 0,71 US\$/m² y 1,42 US\$/m² con el proceso de recubrimiento incluido, evidenciando la potencial aplicación del caucho en este tipo de tecnologías.

Se han patentado compuestos de matriz polimérica de poliuretano y caucho reciclado, en el cual la matriz está constituida por poliuretano [66, 67, 68], encontrando que una interesante aplicación de este tipo de compuestos, pero que hasta el momento sólo ha sido probada a escala de laboratorio, es la fabricación de bandejas flotantes con plantas para que las raíces efectúen tratamiento de aguas de lagos, estanques y cuencas contaminados por desechos de la industria minera.

Existen algunas resinas absorbentes que se usan para limpiar el agua cuando hay derrames oleosos durante el transporte de diversos componentes de la industria petrolera, sin embargo, su uso es bastante limitado principalmente debido a sus altos costos. Wu y Zhou utilizaron partículas de caucho triturado reciclado (CTR) para realizar un proceso de mezclado con un monómero de 4-tert-butilestireno a través de una reacción de copolimerización por injerto, fabricando absorbentes de compuestos oleosos. Los materiales desarrollados absorben eficazmente el crudo de acuerdo con la norma ASTM F726, y aunque mostraron un desempeño un poco inferior a los productos comerciales utilizados

para este fin, sus costos son significativamente más bajos lo cual compensaría la falencia mencionada anteriormente.

Materiales compuestos de matriz polimérica para usos diversos

Una forma de reciclaje de caucho proveniente de LLFU que parece bastante promisorio es su incorporación en forma de material particulado en matrices poliméricas para obtener materiales compuestos, los cuales son bastante apetecidos en la industria actual debido a que combinan propiedades de ambos componentes para obtener materiales con propiedades intermedias o sinergia de las mismas en el producto final. Cada tipo de industria tienen una motivación diferente para emplearlos, de tal manera que en los termoestables se busca mejorar la tenacidad, en los termoplásticos el objetivo es obtener elastómeros termoplásticos, mientras que la industria del caucho trata de encontrar cargas de relleno de menor costo.

En la actualidad se fabrican de manera exitosa pedales y volantes de automóviles empleando compuestos de polipropileno/caucho reciclado proveniente de desechos de LLFU. Algunos investigadores han realizado estudios donde han tratado los residuos de caucho con bitumen para mejorar las propiedades de alargamiento a la rotura, estabilidad térmica y procesabilidad de los compuestos de matriz del PP con incorporación de dicho residuo.

Al-Malki y colaboradores realizaron mezclas de polietileno de alta densidad (HDPE) con caucho de LLFU reciclado triturado (CLRT) y de HDPE con caucho polibutadieno (PB) virgen, y compararon las propiedades mecánicas y reológicas de las mezclas. El comportamiento mecánico del CLTR fue muy similar al del PB virgen en la matriz de HDPE, lo cual representa una oportunidad para el uso de caucho reciclado en ese tipo de matrices.

A pesar de ser un campo promisorio para la utilización de residuos de caucho, la incorporación de CRT en matrices poliméricas vírgenes plantea un reto que aún es objeto de estudio: la compatibilidad entre los componentes. Una solución estudiada es el uso de adhesivos, principalmente resinas termoestables y matrices termoplásticas para mejorar la compatibilidad de las partículas de CRT con la matriz, pero el desempeño que se ha obtenido no es aún el más apropiado. Ante esta dificultad, una alternativa es la modificación de la superficie de las partículas de CRT para crear puntos específicos de interacción entre las fases y así mejorar la transferencia de cargas desde la matriz hacia la fase de caucho, lo cual a su vez ayuda a la mejora de algunas propiedades mecánicas. Estas modificaciones pueden obtenerse a través de medios físico-mecánicos o químicos, siendo la activación superficial, la desvulcanización, la vulcanización dinámica y la compatibilización algunos de los procesos más utilizados para este fin [39, 74, 75].

Mészáros, Bárány, & Czvikovszky utilizaron tratamiento de irradiación de alta energía para activar la superficie de partículas de CRT con la intención de mejorar su compatibilidad con una matriz de polietileno lineal de baja densidad (LDPE) y etilen-vinil-acetato (EVA). La evaluación de las propiedades mecánicas mostró que para una composición fija de LDPE/EVA/CTR, el aumento en la cantidad de energía irradiada sobre los compuestos incrementa la resistencia a

la tracción, la deformación de ruptura, la dureza Shore D y la tenacidad del compuesto. Los mejores desempeños observados en estas propiedades son atribuidos a la acción de la energía irradiada sobre las partículas de CTR, que activa algunas zonas localizadas de la superficie de las partículas de caucho en las cuales se forman enlaces químicos entre el caucho, el EVA y el LDPE.

Lima y colaboradores demostraron que la incorporación de CTR en matrices termoplásticas es una alternativa viable para darle una aplicación de valor agregado a los residuos de este tipo. Los autores evaluaron experimental y teóricamente las propiedades reológicas de mezclas ternarias de caucho etileno propileno (EPR)/CTR en matriz de polipropileno (PP) y encontraron que la inclusión de una fase elastomérica como el EPR, de baja viscosidad y alta afinidad con los demás componentes, mantiene un comportamiento pseudoplástico en el compuesto y permite contrarrestar el aumento en la viscosidad de la mezcla causado por la presencia de las partículas de CTR, confiriéndole procesabilidad adecuada para el moldeo por inyección que permite obtener piezas con mayor valor agregado.

Otra potencial aplicación para los compuestos de poliuretano y caucho reciclado mencionados en secciones anteriores es la fabricación de boyas flotantes capaces de soportar grandes compresiones entre embarcaciones y muelles mientras los barcos están atracados. Los autores sintetizaron el compuesto a nivel de laboratorio y las pruebas realizadas con los prototipos del producto final determinaron que el desempeño fue satisfactorio.

En el sector calzado también se ha visto una probable aplicación del compuesto poliuretano/caucho reciclado. En la patente de Panaroni y McLellan, se propone la mezcla de partículas secas de caucho reciclado provenientes principalmente de LLFU posconsumo con poliisocianato para formar un precursor de poliuretano con alta resistencia al desgaste, adecuado para la fabricación de suelas y capelladas de botas.

Duan y Stammler patentaron la invención de una dispersión acuosa compuesta de un pre-polímero de poliuretano aniónico empleando partículas de caucho reciclado como agente entrecruzante. Dicho compuesto presenta propiedades adhesivas, buena resistencia al agua, estabilidad a bajos pH y buena resistencia térmica, lo que, según los inventores, hace viable la utilización de dichos adhesivos en el sector calzado.

Se ha efectuado una revisión sobre las principales aplicaciones de caucho reciclado, siendo las LLFU la principal fuente de este residuo. Si bien el reciclaje y la utilización de estos materiales implican retos tecnológicos significativos, y en algunas condiciones los costos de implementación son altos, la necesidad de disminuir su impacto ambiental ha impulsado la realización de estudios sobre nuevas aplicaciones para ese tipo de desperdicios que viabilicen su uso desde el punto de vista económico y técnico.

Los países de la Unión Europea, Japón y Estados Unidos tienen el mayor desarrollo tecnológico y en legislación sobre la temática, pero independientemente del grado de desarrollo que tenga una región en esos dos ámbitos, hay que buscar alternativas para el caucho reciclado que permitan a los

productores y comercializadores cumplir con las regulaciones sin afectar su rentabilidad, o generar nuevas líneas de negocio e incluso nuevos emprendimientos.

El reciclaje energético o la recuperación del negro de humo presente en las LLFU requieren de grandes inversiones en infraestructura y sistemas de control de emisiones, por lo cual este estudio se centró en aplicaciones viables para medianas y pequeñas empresas, bien sea de países desarrollados o de países en vía de desarrollo.

Uno de los principales campos potenciales de aplicación para los residuos de caucho es utilizarlos como modificadores de pavimentos y concretos, mejorando algunas propiedades como liviandad y ductilidad, pero debe tener en consideración que algunas características funcionales tales como la resistencia a la compresión y a la flexión disminuyen cuando se agrega ese tipo de desechos. Se identificaron líneas de investigación con posibilidades de generar alto valor agregado, como el uso de caucho reciclado en sistemas de adsorción de contaminantes en medios acuosos, techos ecológicos y fabricación de celdas de combustible para generación de energía, si bien aún están en fase de investigación. El uso de caucho reciclado en mezclas con caucho virgen presenta algunas ventajas tecnológicas, ambientales y sociales con respecto al uso de caucho virgen, tales como menor costo, mayor facilidad en algunos procesos como calandrado y extrusión, mayor eficiencia en el proceso de vulcanización, y reducción de consumo de energía.

El desarrollo de elastómeros termoplásticos que utilicen caucho reciclado parece ser un campo bastante promisorio por la pertinencia de obtener materiales con las principales propiedades de los elastómeros, pero con la facilidad de procesamiento de los termoplásticos, aunque aún se encuentra en fase de investigación y actualmente existen pocos productos comerciales de esta clase. La utilización de caucho posconsumo como componente para la fabricación de materiales compuestos con diversos tipos de poliuretano posee un gran potencial para la producción de componentes de la industria del calzado, tales como suelas, capelladas y adhesivos, lo que podría favorecer a una industria como el sector del calzado que debe buscar alternativas para disminuir costos de producción. Adicional a esto, se considera que el caucho reciclado puede ser utilizado para una gran diversidad de aplicaciones ornamentales.

Los productos fabricados con caucho reciclado presentan en términos generales un desempeño inferior al de los que utilizan cauchos vírgenes, y para reducir esta diferencia es necesario mejorar la compatibilidad del caucho reciclado con las matrices a las cuales se adiciona. Para mejorar la compatibilidad se ha avanzado en la modificación de las partículas de caucho a través de métodos químicos y físico-mecánicos. Se detectó que la mayoría de los estudios reportados se enfocan en la evaluación de propiedades mecánicas y muy pocos abarcan los temas de la procesabilidad, un factor fundamental para el desarrollo de productos con alto valor agregado. Se detectaron además falencias en investigaciones referentes a las propiedades térmicas, propiedades de largo plazo, de hinchamiento y dinámico-mecánicas de los cauchos reciclados y compuestos fabricados con ellos.

Es de resaltar que el estudio realizado permitió evidenciar cómo se viene investigando en una temática con unos retos científicos de alta relevancia, pero que ameritan la mayor atención por el problema ambiental significativo asociado al manejo de los residuos de caucho.

Fuentes bibliográficas

- Abbaspour, M., Aflaki, E., & Nejad, F. M. (2019). Reuse of waste tire textile fibers as soil reinforcement. *Journal of cleaner production*, 207, 1059-1071.
- Abraham, E., Cherian, B., Elbi, P., Pothen, L., & Thomas, S. (2011). Recent Advances in the Recycling of Rubber Waste. En A. Fainleib, & O. Grigoryeva, *Recent Developments in Polymer Recycling*. Kerala, India. Transworld Research Network. pp. 47-100.
- Adams, J. M., Ariza, C. A. F., González, C. F., & Serrano, V. G. (2021). Preparación de carbón activado a partir de materiales poliméricos de desecho de gomas y plásticos. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, (59), 20-24.
- ADEFA (2020): ANUARIO 2020, Asociación de Fabricantes de Automóviles, Internet: <http://www.adefa.org.ar/es/estadisticas-anuarios-interno?id=54>
- Adhikari, B., De, D., & Maiti, S. (2000). Reclamation and Recycling of Waste Rubber. *Progress in Polymer Science*, 25 (7), pp. 909-948. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s0079-6700\(00\)00020-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0079-6700(00)00020-4)
- Agence France Presse [AFP]. (2015). ¿Iglús en Colombia? Sí, pero de llantas de desecho. En: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/iglus-colombia-si-de-llantas-de-desecho-articulo-551771> (mayo de 2016)
- Agence France Presse [AFP]. (2015). ¿Iglús en Colombia? Sí, pero de llantas de desecho. En: <http://www.elespectador.com/noticias/nacional/iglus-colombia-si-de-llantas-de-desecho-articulo-551771> (mayo de 2016)
- AFCP (2021): NEUMÁTICOS FUERA DE USO COPROCESAMIENTO EN LA INDUSTRIA CEMENTERA, julio 2021, Asociación de Fabricantes de Cemento Portland.
- Aguado Alonso, L. (2010). *Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción* (Doctoral dissertation, Arquitectura_Tecnica).
- Akasaki, J., Fioriti, C., Queiroz, R., Fugii, A., & Pinheiro, J. (2016). Performance of simple concrete pipes produced with the incorporation of rubber tires. *Revista Ingenieria de Construccion*, 27-36.
- Álvarez Rivera, L. N., Parada Coronado, A. L., Gonzales Herrera, M. A., & Camacho Guarín, P. A. (2023) Fabricación de productos Ecológicos a base del reciclaje de llantas de caucho.
- Alamo-Nole, L., Perales-Perez, O., & Roman-Velasquez, F. (2011). Sorption Study of Toluene and Xylene in Aqueous Solutions by Recycled Tires Crumb Rubber. *Journal of Hazardous Materials*, 185 (1), pp. 107-111. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.003>
- Alcaldía de Bogotá. (2015). Decreto 442 de 2015: Por medio del cual se crea el Programa de aprovechamiento y/o valorización de llantas usadas en el Distrito Capital y se adoptan otras disposiciones. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

- Alexandre-Franco, M., Fernández-González, C., Alfaro-Domínguez, M., & Gómez-Serrano, V. (2011). Adsorption of Cadmium on Carbonaceous Adsorbents Developed from Used Tire Rubber. *Journal of Environment Management*, 92 (9), pp. 2193-220. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.04.001>
- Alexandre-Franco, M., Fernández-González, C., Macías-García, A., & Gómez-Serrano, V. (2008). Uptake of Lead by Carbonaceous Adsorbents Developed from Tire Rubber. *Adsorption*, 14 (4-5), pp. 591-600. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10450-008-9115-z>
- Al-Malki, Z., Al-Nasir, E., Khalaf, M., & Zidan, R. (2013). Study the Effect of Recycled Tire Rubber on the Mechanical and Rheological Properties of TPV (HDPE/Recycled Tire Rubber). *Open Journal of Polymer Chemistry*, 3, pp. 99-103. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ojpcem.2013.34017>
- Alonso Pastor, L. E. (2022). Aprovechamiento del caucho proveniente de neumáticos fuera de uso en elastómeros autorreparables.
- Alonso, O. (2022) Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires. Hacia una economía circular. Universidad Nacional de General Sarmiento. 1ra. Edición. La Plata. Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires.
- Altamirano Quio, J. H., & Pro Mamani, A. G. (2023). Evaluación del rendimiento del reactor de pirolisis de lecho fijo, para la obtención de combustibles a partir de neumáticos fuera de uso.
- Alves, L. C., Rubinger, M. M., Tavares, E., Janczak, J., Pacheco, E. B., Visconte, L. L., Oliveira, M. R. (2013). Synthesis, Spectroscopic Characterization, Crystal Structure and Natural Rubber Vulcanization Activity of New Disulfides Derived from Sulfonyldithiocarbimates. *Journal of Molecular Structure*, 1048, pp. 244-251. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.molstruc.2013.05.062>
- American Standard Test Methods [ASTM]. (1993). ASTM F726 - Standard Method of Testing Sorbent Performance of Adsorbents E1.
- Amono, M. P. S., Peisino, L., Gaggino, R., Kreiker, J., & Sulaiman, H. C. (2023). Monitoreo de emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOCS) en tejas a base de residuos reciclados. In *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero. Castelló de la Plana, 20, 21 y 22 de junio de 2023* (p. 156). Servei de Comunicació i Publicacions.
- Anderson, M., Kirkland, K., Guidotti, T., & Rose, C. (2006). A Case Study of Tire Crumb Use on Playgrounds: Risk Analysis and Communication when Major Clinical Knowledge Gaps Exist. *Environmental Health Perspectives*, 11, pp. 1-3.
- Anzola Gomez, E, Bello Morales, Y y Betancourt Pacheco, M. (2021). Tabletas de concreto reciclado y triturados de llantas con pigmentos de colores para acabados arquitectónicos. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca
- Armas Cárdenas, J. J., & Baño Calle, N. M. (2013). Estudio de factibilidad para la fabricación y comercialización de productos en caucho reciclado de llantas usadas (adoquines de caucho, vinil de caucho, etc.) En la *ciudad de Quito*.

- Asaro, Lucía; (2022): Revalorización y reciclaje de caucho mediante técnicas de devulcanización. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. (dataset). <http://hdl.handle.net/11336/160996>
- Baquero, L. A. (2016). *Medio ambiente sobre ruedas*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10726/1544>.
- Aylón, E., Murillo, R., Navarro, M., Callén, M., Aranda, A., & Mastral, A. (2006). Enhanced Heavy Metals Removal and Recovery by Mesoporous Adsorbent Prepared from Waste Rubber Tire. *Fuel Processing Technology*, 87, pp. 143-147. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.04.104>
- Barros, P., Sarabia, G., Valdés, F., Serrano, P., & Gaytan, I. (2019). Muro de contención construido con neumáticos estabilizados mecánicamente. *Revista ingeniería de construcción*, 34(3), 252-267.
- Bruque Melgar, I. y Zurita Lavayen, D. (2011) Reciclaje de Llantas para la Producción y Comercialización de Baldosas de Caucho.
- Cachaço, A., Afonso, M., & Pinto, M. (2013). New Applications for Foam Composites of Polyurethane and Recycled Rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 129 (5), pp. 2873-2881. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/app.38962>
- Calisir, F., Roman, F., Alamo, L., Perales, O., Arocha, M., & Akman, S. (2009). Removal of Cu (II) from Aqueous Solutions by Recycled Tire Rubber. *Desalination*, 249 (2), pp. 515-518. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.07.029>
- Cano Serrano, E., Cerezo García, L., & Urbina Fraile, M. (2007). *Valoración material y energética de neumáticos fuera de uso*. Fundación CEIM; Comunidad de Madrid. Dirección General de Universidades e Investigación.
- Cárdenas Peralta, J. C., & Guncay Bustos, A. S. (2023). Análisis de parámetros mecánicos y diseño de adoquines fabricados a partir de residuos triturados de caucho obtenido de neumáticos reciclados.
- Carrillo Flor, K. G., & Córdova Tafur, S. S. (2012). Propuesta de gestión de llantas usadas en el Cantón Rumiñahui (Bachelor's thesis, Quito, 2012.).
- Castellón Guillén, F. J. (2021). Exposición a fuego y caracterización de revestimientos de yeso convencionales y revestimientos de yeso desarrollados con residuos.
- Castro Montoya, D. V. (2019). Comportamiento del concreto a altas temperaturas con material reciclado: polvo de caucho y vidrio sódico cálcico.
- CEMA (2014) Informe sobre recuperación energética de neumáticos fuera de uso en hornos de clínker. Fundación CEMA. 25/03/2014
- CEPAL, N. (2021). Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora.
- Chong, J., Mason, L., Pillora, S., & Giurco, D. (2009). Product Stewardship Schemes in Asia: China, South Korea, Japan and Taiwan. Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney, Sydney.
- Clavijo, S., Vera, A., & Vera, N. (2013). La inversión en infraestructura en Colombia 2012-2020. *Actualidad Económica*, pp. 7-14.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente [CONAMA]. (2009). *Resolução N°416 de 2009*. Brasilia.
- Crespo, J. E., Parres, F., Nadal, A. V., & Sanchez-Caballero, S. Propiedades mecánicas de residuo de neumático adheridas mediante policloropreno. *CUADERNOS DE INVESTIGACIÓN EN LA INGENIERÍA*, 7

- Czemieli Berndtsson, J. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36, 351-360. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
- Díaz, P. A. D. (2008). Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción. *Valdivia-Chile: Universidad Austral de Chile*.
- Duan, Y., & Stammler, S. (1996). Patent No. CA2197186 A1. Canadá.
- El-Nerm, K., & Khalil, A. (2011). Gamma Irradiation of Treated Waste Rubber Powder and its Composites with Waste Polyethylene. *Journal of Vinyl & Additive Technology*, pp. 59-63. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/vnl.20245>
- European Tyre & Rubber Manufacturers' Association [ETRMA]. (2014). Statics Booklet. Bruselas.
- European Tyre & Rubber Manufacturers' Association [ETRMA]. (2010). End of Life Tyres: A Valuable Resource with Growing Potential. Bruselas.
- FADEEAC (2020): Mesa de Economía Circular del Caucho, "Generación de NFU en el sector de transporte de cargas", Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas, presentado en la Jornada Técnica N° 19 de Conexión Reciclado. Documento preparado por Julio Velázquez, Melina
- Fagundes, L. D., Amorim, E. S., & da Silva Lima, R. (2017). Action research in reverse logistics for end-of-life tire recycling. *Systemic Practice and Action Research*, 30, 553-568.
- Fang, Y., Zhan, M., & Wang, Y. (2001). The Status of Recycling of Waste Rubber. *Materials & Design*, 22 (2), pp. 123-127. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069\(00\)00052-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0261-3069(00)00052-2)
- Federación Interamericana del Cemento [FICEM]. (2009). *Marco Normativo sobre Coprocesamiento y Gestión de Residuos en Iberoamérica*. En: <http://www.ficem.org/ficem/temas-clave/recuperacion-de-residuos/marco-normativo-sobre-coprocesamiento.html> (abril de 2016).
- Forrest, Martin. (2014). Recycling and Re-use of Waste Rubber. Shrewsbury, Reino Unido. Smithers Rapra Technology, pp. 17-30.
- Figueroa Ordóñez, A. C., & Chica Agurto, W. R. (2022). Diseño y construcción de una máquina para la fabricación de adoquines de caucho a base de neumáticos reciclados (Bachelor's thesis).
- Fornai, D., Sangiorgi, C., Mazzotta, F., Bermejo, J. M., & Saiz, L. (2016, October). A new era for rubber asphalt concretes for the green public procurement in road construction. In *Proceedings of the 1st European Road Infrastructure Congress, Leeds, UK* (pp. 18-20).
- Franco, M. F. A., González, C. F., Domínguez, M. A., & Serrano, V. G. (2011). Preparación de adsorbentes carbonosos a partir de goma de neumáticos. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, (22), 13-17.
- García, M. A. (2023). *Utilización de NFU en obras de geotecnia & rehabilitación: neumático fuera de uso* (Doctoral dissertation, Universidad de Sevilla).
- Garzón-Roca, J., Grima-Palop, J. M., & Insa-Franco, R. (2017). Use of rubber shreds to enhance attenuation of railway sub-ballast layers made of unbound aggregates. *Mater. Construcc*, 67(326), e115.
- Gómez Hoyos, J. (2019). Desarrollo de material elastomérico a partir de neumático fuera de uso para alta atenuación de vibraciones en sistemas de vía en placa con carril embebido.

- Gómez, L. C., & Montoya, L. M. (2011). Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. *Especialización en PML*, 58-63.
- González, L. R. G., Zagal, J. F. B., & Sierra, L. A. D. (2013). Material particulado de reciclado de llantas como una alternativa para la bio-remoción de contaminantes. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria: Revista de Investigación de la Universidad Simón Bolívar*, (12), 150-154.
- Guerrero, L. y Prado, F. (2022). Comparación en laboratorio de las propiedades mecánicas y la resistencia a la humedad de una mezcla asfáltica con caucho y una mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Guo, Y. C., Zhang, J. H., Chen, G., Chen, G. M., & Xie, Z. H. (2014). Fracture Behaviors of a New Steel Fiber Reinforced Recycled Aggregate Concrete with Crumb Rubber. *Construction and Building Materials*, 53, pp. 32-39. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.075>
- Gupta, V., Ganjali, M., Nayak, A., Bhushan, B., & Agarwal, S. (2012). Enhanced Heavy Metals Removal and Recovery by Mesoporous Adsorbent Prepared from Waste Rubber Tire. *Chemical Engineering Journal*, 197, pp. 330-342. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2012.04.104>
- Guraya, T., Fernandes, M. H., & Albizuri, J. (2004). Comportamiento al Impacto de un Recubrimiento de Caucho Reciclado para Barreras Metálicas de Contención en Carreteras. *Información tecnológica*, 15(1), 35-42.
- Guzmán, S. P. (2010). La sustitución de combustibles fósiles en el sector cementero. Oportunidad para reducir el vertido de residuos. *Revista Técnica CEMENTO HORMIGÓN• N°936• ENERO-FEBRERO*, 44.
- Hamadi, N., Swaminathan, S., & Chen, X. (2004). Adsorption of Paraquat Dichloride from Aqueous Solution by Activated Carbon Derived from Used Tires. *Journal of Hazardous Materials*, 112 (1-2), págs. 133-141. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.04.011>
- Hamadi, N., Chen, X., Farid, M., & Lu, M. (2001). Adsorption Kinetics for the Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution by Adsorbents Derived from Used Tyres and Sawdust. *Chemical Engineering Journal*, 84 (2), pp. 95-105. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/s1385-8947\(01\)00194-2](http://dx.doi.org/10.1016/s1385-8947(01)00194-2)
- Hidalgo-Signes, C., Martínez-Fernández, P., Garzón-Roca, J., & Insa-Franco, R. (2016). Analysis of the bearing capacity of unbound granular mixtures with rubber particles from scrap tyres when used as sub-ballast. *Materiales de construcción*, 66(324), e105-e105.
- Hong, Z., Bo, L., Guangsu, H., & Jia, H. (2007). A Novel Composite Sound Absorber with Recycled Rubber Particles. *Journal of Sound and Vibration*, 304 (1-2), pp. 400-406. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsv.2007.02.024>
- Hoyos Díaz, L. M., Puicon Herrera, K. D. C., & Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 23(41), 11-19.
- INDEC (2023) Índice de producción industrial manufacturero. Septiembre de 2023. Industria manufacturera. Vol. 7, n° 27
- International Rubber Study Group [IRSG]. (2014). Latest World Rubber Industry Outlook now available from IRSG. En: <http://www.rubberstudy.com/news-article.aspx?id=5081&b=earlier-news.aspx> (julio de 2015).

- Instituto de Biomécanica de Valencia [IBV]. (s.f.). *Study of the Incidence of Recycled Rubber from Tyres in Environment and Human Health*. En: ISSS - International Association for Sports Surface Sciences: http://www.issssportsurfacescience.org/downloads/documents/muw7lmt0wh_ibv.pdf (febrero de 2015).
- IRAM. (2017). Norma 29600. Coprocesamiento en la industria cementera.
- Irevna. (s.f.). *Tire Recycling Industry: A Global View*. En: <http://www.irevna.com/pdf/Industry%20Report.pdf> (marzo de 2016).
- Jian-he, X., Yong-Chang, G., Li-sha, L., & Zhi-hong, X. (2015). Compressive and Flexural Behaviours of a New Steel-fibre-reinforced Recycled Aggregate Concrete with Crumb Rubber. *Construction and Building Materials*, 79, pp. 263-272. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.036>
- Karger-Kocsis, J., Mészáros, L., & Bárány, T. (2013). Ground tyre rubber in thermoplastics, thermosets and rubbers. *Journal of Materials Science*, 48, pp. 1-38. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-012-6564-2>
- Khaloo, A., Dehestani, M., & Rahmatadabi, P. (2008). Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire-rubber particles. *Waste Management*, 28, pp. 2472-2482. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.01.015>
- Kvesic, P. (2003). Patent No. US2003215637-A1. Estados Unidos.
- Lagarinhos, C., & Tenório, J. (2013). Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil. *Polímeros*, 23(1), pp. 49-58.
- Landfillsolutions (2024a) Meriolisis: Descomposición térmica de residuos. Disponible en: <https://landfillsolutions.es/es/meriolisis/>
- Landfillsolutions (2024b) ¿Quieres saber qué pasa con los neumáticos fuera de uso (NFU)? Disponible en: <https://landfillsolutions.es/es/quieres-saber-que-pasa-con-los-neumaticos-fuera-de-uso-nfu/>
- Landi, D., Vitali, S., & Germani, M. (2016). Environmental analysis of different end of life scenarios of tires textile fibers. *Procedia Cirp*, 48, 508-513.
- Lima, P., Magalhães, S., Oliveira, J., & Costa, V. (2015). Rheological Properties of Ground Tyre Rubber Based Thermoplastic Elastomeric Blends. *Polymer Testing*, 45, pp. 58-67. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.05.006>
- Lopez Lopez, E. R. (2022). Análisis de la resistencia a la compresión y tracción del concreto con polvo de caucho expuesto al fuego, Lambayeque, 2022.
- Maderuelo-Sanz, R., Martín-Castizo, M., & Vílchez-Gómez, R. (2011). The Performance of Resilient Layers Made from Recycled Rubber Fluff for Impact Noise Reduction. *Applied Acoustics*, 72 (11), pp. 823-828. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.05.004>
- Malaysian Rubber Board [MRB]. (2015). Archive: Natural Rubber Statistics 2015. En: <http://www.lgm.gov.my/nrstat/nrstats.pdf> (febrero de 2016).
- Manchón-Vizueté, E., Macías-García, A., Nadal, A., Fernández-González, C., & Gómez-Serrano, V. (2005). Adsorption of Mercury by Carbonaceous Adsorbents Prepared from Rubber of Tyre Wastes. *Journal of Hazardous Materials*, 119 (1-3), pp. 231-238. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.12.028>
- Manuel, H., & Dierkes, W. (1997). *Recycling Rubber*. Shawbury, Shropshire, Inglaterra. R. Dolbey: Rapra Technology Limited. pp 3-27.

- Máñez, D. R. (2007). Estudio de la incidencia del caucho reciclado de neumáticos sobre el medio ambiente y la salud humana. *Revista de biomecánica*, (47), 37-38.
- Martín, A. (2015). Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica. *Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55735/MART%20C3%208DN>*.
- Martelo Pagoto, L., Akasaki, J. L., Pinheiro Melges, J. L., & Fioriti, C. F. (2022). Análisis del comportamiento al agua de morteros de revestimiento incorporados con caucho de neumáticos. *Revista ingeniería de construcción*, 37(1), 58-68.
- Martínez Morán, O., OTERO, M., CALVO, L. F., DÍEZ, C., SÁNCHEZ, M. E. y GÓMEZ, X. (2004). Valoración energética de neumáticos fuera de uso. *Mapfre Seguridad*. Nº 93, Primer trimestre 2004
- Martínez, A. J. P., Martínez, D. J. H. A., & Herráiz, J. I. R. (2018). *Aportaciones a la investigación del diseño de elementos prefabricados para la atenuación de vibraciones en infraestructuras ferroviarias* (Doctoral dissertation, Universidad Católica San Antonio de Murcia).
- Martínez Gallego, M. C. (2019) Análisis de Contexto de los Factores Críticos y de Éxito, que influyen en la Creación de una Planta de Reciclaje de Neumáticos Fuera de Uso para el Municipio de Yopal Casanare.
- Martínez Gómez, J. A., & Martillo García, J. A. (2020). *Mortero tradicional con caucho reciclado para recubrimiento de mampostería* (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2020).
- Martínez, M. V., Álvarez, T. Z., Sancho, J. F., Casanoves, M. R. C., Molina, C. G., Melis, J. O., ... & Bertomeu, J. M. B. (2012). Mobiliario urbano reciclado para la ciudad del futuro. *Revista de biomecánica*, (58), 21-23.
- Mayorga Cárdenas, M. Y., Espinoza Aguilar, Y. P., Espinoza Enriquez, L., & Fariño Jiménez, J. (2020). Responsabilidad social y ambiental: Tratamiento y disposición final de llantas usadas en la Ciudad de Machala. *Gestión en el tercer milenio*, 23(45), 39-48.
- Meddah, A., Beddar, M., & Bali, A. (2014). Use of Shredded Rubber Tire Aggregates for Roller Compacted Concrete Pavement. *Journal of Cleaner Production*, 72, pp. 187-192. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.052>
- Medrano, A. J. (2019). Mezcla de poliestireno expandido y polvo de caucho de neumáticos en la resistencia a la compresibilidad del adoquín para uso peatonal, Lima–2019.
- Mészáros, L., Bárány, T., & Czvikovszky, T. (2012). EB-promoted recycling of waste tire rubber with polyolefins. *Radiation Physics and Chemistry*, 81, pp. 1357-1360. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2011.11.058>
- Micor Recycling Ltd. (s.f.). *Knowledge: Micor Recycling Ltd.* En: <http://www.micorrecycling.com/knowledge.php> (febrero de 2016).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010, Julio 29). Resolución 1457: Por la cual se Establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas y se Adoptan Otras Disposiciones. Bogotá, Colombia.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Acuerdo No 020*. Quito.
- Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente [MVOTMA]. (2015). *Decreto 358 de 2015*. Montevideo.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020): “Economía circular OPDS-UNGS (2021): “Informe de investigación: neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires, girando hacia una economía circular”. En Edición
- Ministerio de Transporte, Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2014). *Plan de vías compatibles con el clima*. Bogotá.
- Mobilio, J. (2020). Cauchomax: deja tu huella.
- Ordóñez Cordero, G. A. (2017). *Diseño de espacios interiores a partir de la experimentación con láminas de caucho reciclado* (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).
- Morera, J. A. A. (2022). *The circular economy principles of repair, recycle, and reduce applied to the development of styrene-butadiene rubber composites* (Doctoral dissertation, Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP)).
- Mujal-Rosas, R. M., Marín Genescà, M., & Colom Fajula, X. (2017). Análisis de los diferentes tipos de desvulcanizado en la caracterización de nuevos materiales elastoméricos formados por la mezcla de estireno butadieno-caucho natural y mezclados con neumáticos fuera de uso (GTR). *Afinidad: revista de química teórica y aplicada*, 74(580), 247-256.
- Mujal-Rosas, R. M., Marín Genesca, M., García Amorós, J., Salueña Berna, J., & Colom Fajula, X. (2019). Influencia en las propiedades mecánicas de varios compuestos poliméricos reforzados con partículas de GTR. *Afinidad: revista de química teórica y aplicada*, 76(588), 241-253.
- Mujal-Rosas, R., Marín-Genescà, M., García-Amorós, J., Colom, X., Mudarra, M., & Massagués, L. (2021). Caracterización y análisis dieléctrico de compuestos de polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) mezclados con partículas de neumáticos fuera de uso (GTR). *Afinidad*, 78(592).
- Nehdi, M., & Khan, A. (2001). Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications. *Cement, Concrete and Aggregates*, 23 (1), pp. 3-10. doi: <http://dx.doi.org/10.1520/CCA10519J>
- OIT (2017) Gestión de neumáticos fuera de uso. Nro. 1, agosto de 2017. Seria notas técnicas: empleos verdes en Uruguay. Organización Internacional del Trabajo.
- Panaroni, V., & McClellan, T. (1993). Patente nº US5254405 A. Estados Unidos.
- Peláez, G., Velásquez, S., & Giraldo, D. (2014). Aditivos para el Procesamiento del Caucho Natural y su Aplicación en Pequeñas Plantaciones de Caucho. *Informador Técnico*, 78 (2), pp. 166-174.
- Peña, A. (2023) La variabilidad de costes energéticos afecta a la gestión del NFU: entrevista a Javier de Jesús, director de TNU. *Revista autoPneu*
- Pfretzschner, J., & Rodríguez, R. (1998). Acoustic Properties of Rubber Crumbs. *Polymer Testing*, 18 (2), pp. 81-92. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9418\(98\)00009-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0142-9418(98)00009-9)
- Pérez, A. Vila, L. Rincón, C. Solé yL. Cabeza, “Use of Rubber Crumbs as Drainage Layer in Green Roofs as Potential Energy Improvement Material,” *Applied Energy*, vol. 97, pp. 347-354, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.11.051>

- Pérez Pereira, A. (2020). Preparación de adsorbentes inorgánicos a partir de materiales de desecho. Su utilización en la eliminación de agentes contaminantes en aguas.
- Pérez Vallejos, R. (2021) MICHELIN CONSTRUIRÁ EN CHILE SU PRIMERA PLANTA DE RECICLAJE DE NEUMÁTICOS. Diario La Nación. Chile. 18/02/2021. Disponible en: <https://www.lanacion.cl/michelin-construira-en-chile-su-primera-planta-de-reciclaje-de-neumaticos/>
- Pérez, M. L. (2010). *Reciclado químico de neumáticos mediante pirólisis* (Doctoral dissertation, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea).
- Pérez Aparicio, R. y Saiz Rodríguez, L. (2018). Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso. *Revista de Plásticos Modernos*, Vol. 115, Número 730, enero 2018.
- Pérez, M. V., Espinosa-Valdemar, R. M., & Hernández, L. R. A. (2023). Cuantificación de microplásticos y evaluación de su toxicidad en un suelo agrícola del Estado de México. In *Actas del X Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos: Hacia la circularidad y el residuo cero. Castelló de la Plana, 20, 21 y 22 de junio de 2023* (p. 16). Servei de Comunicació i Publicacions.
- Pereira, M. A. (2022). Preparación de materiales carbonosos adsorbentes a partir de materiales poliméricos de desecho. Su utilización en tratamientos de descontaminación del agua (Doctoral dissertation, Universidad de Extremadura).
- Polzinetti, M. (2021): Coprocesamiento de neumáticos fuera de uso en la industria cementera. Presentado a la I Jornada de Reciclado de Neumáticos. INTI y Federación Argentina de la Industria del Caucho. Ministerio de la Producción de la Nación, C.A.B.A, 15 de junio de 2018.
- Puertas, F., & Blanco-Varela, M. T. (2004). Empleo de combustibles alternativos en la fabricación de cemento. Efecto en las características y propiedades de los clínkeres y cementos.
- Quant Callejas, M. I., & Rosas Niño, A. M. (2020) "Mobiliario urbano con la utilización del gránulo de caucho" *Creati*.
- Rajan, V., Dierkes, W., Joseph, R., & Noordermeer, J. (2006). Science and Technology of Rubber Reclamation with Special Attention to NR-based Waste Latex Products. *Progress in Polymer Science*, 31(9), pp. 811-834. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.08.003>
- Ramarad, S., Khalid, M., Ratnam, C., Chuah, A., & Rashmi, W. (2015). Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future. *Progress in Material Science*, 72, pp. 100-140. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2015.02.004>
- Ramírez, V., & Antero, J. (2013). Evolución de la Normativa Ambiental Coombiana en Función de las Tendencias Mundiales de Desarrollo Sostenible. *Revista NOOS*, 3, pp. 34-55.
- Ramírez-Pico, L. A., Orjuela-Rodríguez, A. E., & Angulo-Blanquissett, G. E. (2020). Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. *Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 11(1), 44-53.
- RETEMA (2024) TNU presenta 10 ventajas del reciclado de neumáticos fuera de uso. 31/05/2024. Disponible en: <https://www.retema.es/actualidad/tnu-presenta-10-ventajas-del-reciclado-de-neumaticos-fuera-de-uso>

- Revista plásticos Universales (2024) Caucho reciclado, cáscaras de arroz y botellas de plástico: nuevos materiales en la producción de neumáticos Continental.2024/1, nro. 271. www.interempresas.net España.
- Reyes Sánchez, D. Á., & Villa Guaita, O. E. (2021). *Prototipo de bloque simple más residuos carbonosos y caucho reciclado para mampostería de viviendas* (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2021.).
- Rincón, L., Coma, J., Pérez, G., Castell, A., Boer, D., & Cabeza, L. (2014). Environmental Performance of Recycled Rubber as Drainage Layer in Extensive Green Roofs. A Comparative Life Cycle Assessment. *Building and Environment*, 74, pp. 22-30. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.01.001>
- Ríos Padilla, C. F. (2023). Estudio de factibilidad técnica-económica para producir grafeno a partir de neumáticos fuera de uso (NFU).
- Rodríguez Montejano, R. M. (2003). *Propiedades acústicas del caucho granular* (Doctoral dissertation, Industriales).
- Rodríguez, J. F. T., & Carbajál, F. J. T. (2023). Comportamiento del concreto ante cargas de compresión agregando el SRD como dispositivo disipador de energía, usando caucho reciclado. *TECNIA*, 33(2).
- Rodríguez Almeida, A. P., & Izurieta Pilay, J. S. (2018). *Elaboración de un adoquín para revestimiento de camineras, a partir del plástico PET 1 y el caucho reciclado* (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2018.).
- Rodríguez Mondragón, A. A. (2019). *Plan de negocio de ecoriental de llantas, dedicada a la fabricación de productos a partir del reciclaje de llantas en la región de la orinoquia* (Doctoral dissertation).
- Rojas Caballero, I. A. (2022) Estudio de prefactibilidad para la elaboración de granos de caucho reciclado como componente de mezclas asfálticas [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial, Universidad de Lima]. Repositorio institucional de la Universidad de Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12724/16301>
- Ruiz Granados, D. M. (2016). Estrategias de logística inversa que permitan la reutilización de llantas usadas.
- Saidón, M. y Sorroche, S. (2024), *¿Qué hacer con los residuos?* Teseo. Buenos Aires.
- San Miguel, G., Fowler, G., & Sollars, C. (2002). Adsorption of Organic Compounds from Solution by Activated Carbons Produced from Waste Tyre Rubber. *Separation Science and Technology*, 37, pp. 663-676. doi: <http://dx.doi.org/10.1081/ss-120001453>
- San Song, K., Hajirasouliha, I., & Pilakoutas, K. (2011). Strength and Deformability of Waste Tyre Rubber-filled Reinforced Concrete Columns. *Construction and Building Materials*, 25 (1), pp. 218-226. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.035>
- Sánchez-Amono, M. P., Sulaiman, H., & Gaggino, R. (2024). Tejas de caucho y plástico reciclado: análisis de sus propiedades optotérmicas. *Revista de Arquitectura*, 26(1), 49-64.
- Sanchís, A., Veses Roda, A., Martínez Ángel, J. D., García Martínez, T., & Murillo Villuendas, R. (2022). Hacia la economía circular del negro de carbono por medio de la pirólisis de neumáticos fuera de uso.
- Schmid, H. (1999). Patent No. DE4444532-A1. Alemania.

- Saucedo, N. Y. C., Juárez, I. M., Gallegos, M. M. R., Reyes, A. M., & García, R. D. L. (2024). Análisis de Propiedades Mecánicas de Piezas Fabricadas con Caucho Reciclado. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 2165-2178.
- Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H., & Balas, A. (2012). Progress in used tyres management in the European Union: A review. *Waste Management*, 32, pp. 1742–1751. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.05.010>
- SIGNUS (2014) Análisis de la huella de carbono de la gestión de SIGNUS. Ecovalor. El boletín informativo de SIGNUS. Septiembre de 2014.
- Signus (2024) Guía de aplicaciones del caucho reciclado procedente del neumático en las ciudades. Disponible en: <https://www.signus.es/signus-publica-la-guia-de-aplicaciones-del-caucho-reciclado-procedente-del-neumatico-en-las-ciudades/>
- Shu, X., & Huang, B. (2014). Recycling of Waste Tire Rubber in Asphalt and Portland Cement Concrete: An Overview. *Construction and Building Materials*, 67, pp. 217-224. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.027>
- Soares Santos, J. N., Oliveira Almeida, V. G., Cavalcante Melo, F. M., & de Oliveira, H. A. (2023). Reutilización de residuos de neumáticos en hormigón ligero. *Revista ingeniería de construcción*, 38(2), 205-214.
- Solano, L., Ristvey, A., Lea-Cox, J., & Cohan, S. (2012). Sequestering Zinc from Recycled Crumb Rubber in Extensive Green Roof Media. *Ecological Engineering*, 47, pp. 284-290 doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.07.002>
- Spizzuoco, M., Calabrese, A., & Serino, G. (2014). Innovative Low-cost Recycled Rubber–fiber Reinforced Isolator: Experimental Tests and Finite Element Analyses. *Engineering Structures*, 76, pp. 99-111. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.07.001>
- Tang, Z., Butkus, M., & Xie, Y. (2009). Enhanced Performance of Crumb Rubber Filtration for Ballast Water Treatment. *Chemosphere*, 74 (10), pp. 1396-1399. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.11.048>
- Tanthapanichakoon, W., Ariyadejwanich, P., Japthong, P., Nakagawa, K., Mukai, S., & Tamon, H. (2005). Adsorption-desorption Characteristics of Phenol and Reactive Dyes from Aqueous Solution on Mesoporous Activated Carbon Prepared from Waste Tires. *Water Research*, 39 (7), pp. 1347-1353. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.12.044>
- The Schumacher Centre for Technology & Development. (s.f.). *Practical Action: Recycling Rubber*. En: <http://practicalaction.org/media/preview/10541> (diciembre de 2015).
- TNU (2023) TNU pone en valor la pirólisis como ‘soluciónverde’ para recuperar el negro de carbón y “elfuturo sostenible del neumático fuera de uso”. 17/11/2023.
- Torres, M. (2018). Diseño de una colección de pantuflas con plantas de caucho reciclado de neumáticos en el cantón Pelileo.
- Tuba Ayala, L. P. (2024). Aprovechamiento del caucho de neumáticos fuera de uso en la elaboración de revestimiento para superficies desarrollado en la Ciudad de Cuenca, Provincia del Azuay.

- Universe Projects. (s.f.). *Applications for Recycled Rubber*. En: Technologies Tire Recycling: <http://www.universe-projects.com/technologies/tire-recycling/applications-for-recycled-rubber/> (febrero de 2016).
- UNQ, D. s. (2021). NEUMÁTICOS FUERA DE USO Y OPCIONES DE. Bernal: UNQ.
- Valoramas (2024) ¿Porque los neumáticos son productos prioritarios? Disponible en: <https://valoramas.cl/porque-los-neumaticos-son-productos-prioritarios/>
- Valorpneu. (s.f.). *Informação Técnica: Soluções para Pneus Usados: Reutilização para Outros Fins*. En: http://valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=224&name=Reutilizacao-para-Outros-Fins (marzo de 2016).
- Vives Fàbregas, M. T. (2004). *SBR technology for wastewater treatment: suitable operational conditions for a nutrient removal*. Universitat de Girona.
- Yilmaz, A., & Degirmenci, N. (2009). Possibility of Using Waste Tire Rubber and Fly Ash with Portland Cement as Construction Materials. *Waste Management*, 29 (5), pp. 1541-1546. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.002>
- Wang, H., Davidson, M., Zuo, Y., & Ren, Z. (2011). Recycled Tire Crumb Rubber Anodes for Sustainable Power Production in Microbial Fuel Cells. *Journal of Power Sources*, 196 (14), pp. 5863-5866. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2011.01.082>
- Wang, S., Wang, Q., Wu, X., & Zhang, Y. (2015). Asphalt modified by thermoplastic elastomer based on recycled rubber. *Construction and Building Materials*, 93, pp. 678-684. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.06.047>
- Wu, B., & Zhou, M. (2009). Recycling of Waste Tyre Rubber into Oil Absorbent. *Waste Management*, 29, pp. 355-359. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.03.002>
- Zamorano Cantó, M. (2016). *Investigación con fibra reciclada de neumático (FRN) para aplicaciones acústicas* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Zhang, S., Xin, Z., Zhang, Z., & Kim, J. (2009). Characterization of the Properties of Thermoplastic Elastomers Containing Waste Rubber Tire Powder. *Waste Management*, 29 (5), pp. 1480-1485. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.10.004>

Contactos

- **Asociación Española de Neumáticos Recicladados (AER)**. Príncipe de Vergara 74, Madrid. Teléfono: 607 18 44 11 (España). info@neumaticoreciclado.es
www.neumaticoreciclado.es
- **Centro de Investigaciones Viales -LEMAC-** (CIC-UTN). Gerardo Botasso (*), director del LEMAC. Calle 60 y 124 - Berisso - La Plata. Buenos Aires – Argentina. +54 (221) 412-4314. centrolemac.adm@gmail.com lemac.frlp.utn.edu.ar
- **Red de Investigación y Acción sobre Residuos (RIAR)**, residuosriar@gmail.com (Argentina). Con miembros del CONICET, UNLP, UNSAM, UNCUYO, UNR, UNQ, UBA, UNRC, etc.
- ✓ **SIGNUS Ecovalor S.L.** Leal Gabriel, director general C/ Caleruega, 102, 5º - 28033 Madrid, España rperez@signus.es, Isaiz@signus.es

- ✓ **Valoramas** (Chile) contacto@valoramas.cl Laredo 8357 Oficina 9, Las Condes (Santiago de Chile). Iniciativa ambiental de empresas líderes en Chile, pertenecientes al sector de importación de neumáticos de reposición y de vehículos. (<https://valoramas.cl>)

(*) Ing. Gerardo Botasso (UTN): embajador argentino en tecnología del Caucho Asfáltico. Entre sus proyectos y trabajos más importantes se destacan los siguientes: i) Trabajos de investigación y asesoramiento en el primer pavimento ecológico en la ciudad de La Plata, con uso de NFU, en el año 2006; ii) Desarrollo de tecnologías y utilización de asfalto caucho con la empresa YPF; iii) Incorporación de tecnología en la pavimentación de la vía de acceso al aeropuerto de Tocumen, en Panama City; iv) -Asesoramiento a las empresas Solis y Asociados y Meco en Costa Rica en obras de ese país; v) Actualmente participa en el proyecto de utilización del NFU en el estado de Ceará, Brasil.

<https://www.frlp.utn.edu.ar/el-dr-ing-gerardo-botasso-sera-embajador-argentino-en-tecnologia-del-caucho-asfaltico>

Otras referencias y contactos

- Alonso Osvaldo: Programa Interdisciplinario de Ambiente (PIIdISA) de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ)
- Comisión Permanente de Reciclado de Neumático. Lic. Potarsky Karina Centro de Caucho, caso INTI-CEAMSE-REGOMAX
- Geocycle – Holcim Argentina - Secretaría de Participación Ciudadana Municipalidad de Ciudad de Córdoba.
- Giacomelli Federico- Ecovalor (Córdoba)
- Keipert Carlos. Presidente de la Federación Argentina de la Industria del Caucho (FAIC)
- Verdura Antonio (VICA) Cofundador y gerente general.

Empresa	Provincia	Página Web	Mail	Teléfono
REGOMAX	Buenos Aires	https://www.regomax.com/	info@regomax.com	Tel: +54 911 6543 5161 // +54 11 3840 7411
ECOCUYUM	Mendoza	https://www.ecocuyum.com	-	Gerencia: +54 261 5723819
KUMEN-KO	Santa Fé	https://www.kumenco.com.ar/	info@kumenco.com.ar	Tel: 0336 15 434 5050 Cel: 0336-15 423 2385
ECOVALOR	Córdoba	http://ecovalor.com.ar/	fgiacomelli@ecovalor.com.ar	Cel: (+54) 9 351 - 515 8823
WORMS	Santa Fé	https://worms.ar/	contacto@worms.ar	Tel: 0-810-3456-638 Cel: +54 9 [3402] 417 968 Cel: +54 9 [3402] 575 283
NFU TIRES	Buenos Aires	https://m.facebook.com/NFUTIRES.S.A	nfutires@gmail.com	Jonathan Adriel Teléfono: 03487 54-4830
GEOCYCLE	Mendoza	https://www.geocycle.com		Cel:261 242 0798 Christian Jerez Cel:261 503 4661 Daniel Ruggeri
	Córdoba	m/es/argentina?address=		Cel:351 358 0677Gabriel Lencina
	Jujuy	Argentina		Cel:351 756 5008GermanGarandi Cel:351 358 0677 G. Lencina

2. PLANTA RECICLADORA DE NEUMATICOS FUERA DE USO- CASO DE ESTUDIO GENÉRICO

I. Introducción

La gestión de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) se ha convertido en un desafío global debido a la creciente demanda de vehículos y, en consecuencia, al incremento en la generación de neumáticos desechados. Estos residuos representan una amenaza significativa para el medio ambiente, ya que no son biodegradables y pueden permanecer en el ecosistema durante cientos de años. Además, su acumulación puede llevar a problemas como la proliferación de mosquitos y otros vectores de enfermedades y a la contaminación del suelo y del agua.

En Argentina, se generan anualmente aproximadamente 130.000 toneladas de NFU, de las cuales el 90% no recibe un tratamiento adecuado, terminando en basurales a cielo abierto o incluso siendo quemados, liberando sustancias tóxicas como mercurio y dióxido de carbono². Esta situación no solo afecta al medio ambiente, sino que también plantea serios riesgos para la salud pública, incluyendo la propagación de enfermedades respiratorias y otros problemas de la salud derivados de la exposición a contaminantes.

La propuesta de desarrollar una planta modular y escalable de reciclaje de neumáticos en Argentina surge como una solución integral para abordar estos problemas. El enfoque modular permite ajustar la capacidad de procesamiento de acuerdo con la demanda y las condiciones del mercado, facilitando así una expansión progresiva sin grandes inversiones iniciales. Esta planta no solo procesará los NFU para su reutilización en productos de alto valor agregado, como gránulos de caucho para suelos deportivos y asfaltos modificados, sino que también contribuirá a la economía circular al recuperar material valioso como el acero y el textil que componen el neumático³.

Esta planta, por sus características de superficie, tipo de actividad, equipamiento y tipo de proceso productivo, es replicable en la mayoría de los centros urbanos de nuestro país, razón por la cual va a servir de base para establecer este prototipo replicable con todas sus hipótesis.

Además, la implementación de esta planta está alineada con las iniciativas legislativas y ambientales en Argentina, como el Proyecto de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental para la gestión de los NFU, que buscaba responsabilizar a los productores por la basura generada por los neumáticos que

² <https://utopiaurbana.city/2022/07/14/argentina-se-encamina-la-sancion-del-proyecto-de-ley-de-neumaticos-fuera-de-uso-nfu/>

³ <https://www.iprofesional.com/autos/400066-que-hacer-con-los-neumaticos-viejos-paso-a-paso-para-deshacerse-de-ellos>

producen. Tras obtener media sanción en el senado, este proyecto de ley fue girado a Diputados, donde obtuvo un dictamen favorable, pero luego el proceso parlamentario se interrumpió y la ley no fue sancionada.⁴

La planta recicladora no solo ofrecerá una solución ambiental responsable, sino que también generará oportunidades económicas y de empleo, contribuyendo al desarrollo local y regional. La modularidad y escalabilidad del proyecto permiten una flexibilidad operativa que puede adaptarse a futuras regulaciones y cambios en el mercado, asegurando la viabilidad a largo plazo del modelo de negocio.

II. Impacto ambiental

La instalación de una planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en Argentina representa un avance significativo en la reducción de la contaminación ambiental. El proceso de reciclaje evita que los neumáticos desechados se acumulen en vertederos, sean quemados o abandonados en el medio ambiente, reduciendo considerablemente la liberación de sustancias tóxicas y la emisión de gases de efecto invernadero.

El proyecto contribuirá a la reducción de la huella ecológica, ya que el reciclaje de neumáticos evita la necesidad de utilizar recursos vírgenes para la producción de materiales como el caucho, el acero y las fibras textiles, ahorrando así energía y reduciendo el impacto en el medio ambiente. Al recuperar estos materiales, la planta no solo contribuye a la economía circular, sino que también ayuda a mitigar los efectos del cambio climático mediante la disminución de las emisiones de CO₂ que resultarían de la quema o disposición inadecuada de los neumáticos.

Se estima que la planta recicladora procesará 6.775 toneladas de NFU al año, lo que tendrá un impacto significativo en la reducción de los residuos que terminan en basurales a cielo abierto, los cuales suelen ser responsables de la proliferación de vectores de enfermedades, incendios y la liberación de gases tóxicos. Este reciclaje evitará la liberación de sustancias químicas dañinas en el suelo y en las fuentes de agua, mejorando así la calidad del aire y reduciendo los riesgos para la salud pública.

Además de mitigar estos efectos negativos, la planta reducirá las emisiones de CO₂ asociadas con la producción de materiales a partir de fuentes vírgenes, lo que en términos generales contribuirá a reducir la huella de carbono del sector industrial en Argentina. A través de la gestión responsable de residuos y la producción de materiales reciclados, la planta se posicionará como un actor clave en la lucha contra el cambio climático y la promoción de prácticas sostenibles en el país.

III. Segmento de clientes y propuesta de valor

El modelo de negocio de la planta recicladora de neumáticos fuera de uso (NFU) está diseñado para atender a un conjunto específico de clientes que requieren soluciones sostenibles y eficientes para la gestión de residuos, con el objetivo de

maximizar el valor de los productos reciclados generados por la planta. En este contexto, los ingresos del proyecto provendrán únicamente de la venta de caucho granulado (75%), acero reciclado (15%) y fibras textiles (10%).

En primer lugar, los fabricantes de productos de caucho son un segmento clave. Estos clientes utilizan el caucho granulado como materia prima en la producción de suelos deportivos, asfaltos modificados, pavimentos y otros productos industriales. La alta calidad y durabilidad del caucho reciclado lo convierten en una opción ideal para reemplazar recursos vírgenes, permitiendo a las empresas cumplir con normativas de sostenibilidad mientras reducen sus costos de producción.

Asimismo, las empresas de manufactura y construcción representan un segmento crucial para la comercialización del acero reciclado. Estas empresas requieren acero para la fabricación de estructuras, herramientas y otros componentes industriales. La planta recicladora ofrece acero recuperado de los NFU con las propiedades necesarias para ser reutilizado en diversas aplicaciones, lo que ayuda a estas empresas a reducir su dependencia de nuevas extracciones y cumplir con sus objetivos de sostenibilidad.

Finalmente, las industrias textiles y de productos compuestos constituyen el tercer segmento de clientes. Estas empresas demandan fibras textiles recicladas que se utilizan en la producción de nuevos textiles, productos compuestos, aislantes y otros materiales innovadores. La planta ofrece una fuente constante de fibras recicladas de alta calidad, lo que permite a estas industrias disminuir su huella ambiental al mismo tiempo que exploran nuevas aplicaciones sostenibles.

Cada uno de estos segmentos de clientes es fundamental para el éxito del proyecto, ya que aseguran la venta constante de los productos reciclados generados por la planta. La estrategia de comercialización se basa en la identificación de estas oportunidades dentro de las industrias manufactureras y de construcción, así como en la capacidad de la planta para entregar materiales reciclados de alta calidad que cumplan con las exigencias del mercado.

Propuesta de valor

La planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) propuesta se fundamenta en una serie de beneficios que aportan un valor significativo tanto a nivel ambiental como económico y social. En primer lugar, la gestión de NFU se presenta como una necesidad urgente debido a los problemas asociados con su acumulación y disposición inadecuada. Los NFU son materiales no biodegradables que pueden tardar más de 600 años en degradarse⁵, ocupando espacio en vertederos y basurales, además de contribuir a la proliferación de enfermedades mediante la creación de hábitats para mosquitos y otros vectores

⁵ <https://ecoobjetivo.com.ar/contenido/2448/con-importantes-inversiones-geocycle-argentina-impulsa-la-economia-circular>

⁶. La planta busca mitigar estos impactos ambientales al ofrecer una solución de reciclaje integral que reduce el volumen de residuos y previene la liberación de sustancias tóxicas resultantes de la combustión de neumáticos, tales como mercurio y plomo ⁷.

El proceso de reciclaje permite recuperar materiales valiosos, como caucho, acero y textil, que pueden ser reutilizados en diversas aplicaciones industriales. El caucho granulado, por ejemplo, se utiliza en la fabricación de suelos deportivos, asfaltos modificados y mobiliario urbano, entre otros productos. Esta transformación no solo contribuye a la economía circular al reducir las necesidades de recursos vírgenes, sino que también genera productos de alto valor agregado que son demandados en el mercado⁸. Además, la planta es diseñada con una estructura modular y escalable, lo que permite ajustar la capacidad de procesamiento en función de la demanda y la disponibilidad de NFU, asegurando una operación eficiente y adaptable a las fluctuaciones del mercado y a las normativas ambientales emergentes.

En términos económicos, la planta no solo ofrece una alternativa sostenible para la gestión de NFU, sino que también genera oportunidades de empleo y promueve el desarrollo local. Al crear puestos de trabajo directos e indirectos, la planta contribuye al dinamismo económico de la región y fortalece la industria del reciclaje en Argentina.

IV. Canales de distribución y relaciones con los clientes

La planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) emplea una estrategia diversificada de canales de distribución para asegurar que sus productos — caucho granulado, acero y fibras textiles— lleguen de manera eficiente a los distintos segmentos de clientes. Estos canales son fundamentales para conectar a la planta con las industrias que demandan materiales reciclados, garantizando una entrega oportuna y cumpliendo con las expectativas de calidad y sostenibilidad de los productos.

El canal principal es la venta directa, realizada a través de contratos y acuerdos con empresas manufactureras, de construcción y otros actores industriales. Estos acuerdos se establecen con fabricantes de productos de caucho, quienes utilizan el caucho granulado para la fabricación de suelos deportivos, pavimentos y productos industriales. La venta directa permite crear relaciones duraderas con estos clientes clave, asegurando la compra de grandes volúmenes de caucho

⁶ Martín, A. (2015). Aplicación del caucho reciclado como solución constructiva ecológica. *Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55735/MART%20C3%208DN>*.

⁷ Mobilio, J. (2020). Cauchomax: deja tu huella.

⁸ <https://www.redaccion.com.ar/como-se-reciclan-los-neumaticos-desechados-en-materiales-para-plazas-mobiliario-urbano-y-canchas-de-cesped-sintetico/>

reciclado, así como acuerdos continuos con empresas siderúrgicas y constructoras que requieren acero reciclado para diversas aplicaciones industriales y de infraestructura. Este tipo de distribución se enfoca en la personalización del servicio y la entrega de soluciones a medida para las necesidades específicas de cada cliente.

Adicionalmente, la planta utiliza plataformas digitales y su propio sitio web como canales complementarios para la promoción y venta de sus productos reciclados. A través de estas plataformas, la planta puede llegar a un público más amplio, permitiendo que tanto pequeñas como grandes empresas adquieran caucho granulado, acero reciclado y fibras textiles de alta calidad. El comercio digital facilita la interacción con clientes que buscan soluciones sostenibles para sus necesidades productivas y permite mostrar las certificaciones y ventajas ambientales de los productos ofrecidos, fortaleciendo la imagen de la planta como un líder en economía circular.

Por otro lado, la planta establece alianzas estratégicas con distribuidores y minoristas que operan en mercados locales y regionales. Estos socios son fundamentales para expandir el alcance de los productos reciclados, especialmente en el sector de la construcción y la fabricación de artículos industriales. A través de esta red de distribuidores, la planta asegura que sus productos lleguen a diversas zonas geográficas, facilitando una mayor penetración en el mercado y garantizando la disponibilidad continua de los productos reciclados para una amplia variedad de clientes.

En conjunto, estos canales de distribución están diseñados para maximizar la eficiencia y asegurar que los productos reciclados de la planta sean accesibles para los clientes en diferentes industrias. La combinación de venta directa, comercio digital y distribución regional permite a la planta mantener una cadena de suministro robusta y adaptarse a las demandas fluctuantes del mercado, optimizando así la entrega de sus productos y garantizando una experiencia de compra satisfactoria.

Relaciones con los clientes

El modelo de negocio de la planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) se sostiene en relaciones sólidas que aseguran la sostenibilidad y el crecimiento a largo plazo del proyecto. Estas conexiones se basan en la confianza, el compromiso con la calidad y un enfoque personalizado, posicionando a la planta como un socio estratégico en la gestión sostenible de recursos, más allá de ser solo un proveedor de materiales reciclados.

La planta busca establecer vínculos duraderos con actores clave, como fabricantes de productos de caucho, empresas de construcción y sectores industriales que utilizan acero y fibras textiles recicladas. Además de suministrar productos de alta calidad, se ofrece asesoramiento técnico y certificaciones ambientales que permiten demostrar el compromiso con las prácticas sostenibles y garantizar el cumplimiento de normativas vigentes. Este tipo de colaboración va más allá de las transacciones habituales, aportando un valor añadido a través del apoyo constante y la cooperación en la optimización de sus procesos.

Un componente esencial es el servicio postventa, que incluye un seguimiento riguroso de la calidad del producto entregado para asegurar que cumpla con los estándares pactados. También se brinda asistencia técnica para maximizar los beneficios del uso de materiales reciclados en los procesos productivos, ayudando a resolver posibles inconvenientes y optimizar la eficiencia operativa.

La planta prioriza una comunicación fluida a través de canales directos, digitales y presenciales, lo que facilita la adaptación a las necesidades cambiantes de sus clientes industriales. La retroalimentación continua es vital para la mejora de productos y servicios, asegurando que la planta mantenga su posición de liderazgo en el mercado de materiales reciclados.

La relación con los clientes en este modelo de negocio es un componente esencial que va más allá de la simple transacción comercial. Se fundamenta en la creación de valor compartido, el apoyo continuo y la construcción de una red de colaboración que permite a la planta y a sus clientes alcanzar objetivos comunes de sostenibilidad y eficiencia. Este enfoque integral y colaborativo es clave para asegurar el sostenimiento y crecimiento del proyecto a lo largo del tiempo.

V. Fuentes de ingresos

El modelo de negocio de la planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) se sustenta en una estructura diversificada de ingresos que refleja el aprovechamiento integral de los materiales reciclados. Las fuentes de ingresos están compuestas por tres líneas principales que corresponden a la venta de caucho granulado, acero reciclado y fibras textiles, todas obtenidas a partir del procesamiento de los neumáticos desechados.

La venta de caucho granulado, que representa el 75% de los ingresos, constituye la principal fuente de ingresos del proyecto. Este material es altamente demandado por fabricantes de productos de caucho y empresas de construcción para la fabricación de suelos deportivos, asfaltos modificados, pavimentos y otros productos industriales. El caucho granulado reciclado ofrece una solución sostenible y rentable para estas industrias, permitiéndoles reemplazar recursos vírgenes por una alternativa reciclada de alta calidad. La constante demanda de este producto asegura un flujo estable de ingresos y refuerza la posición de la planta como un proveedor confiable en el mercado de materiales reciclados.

La venta de acero reciclado, que aporta el 15% de los ingresos, es otro pilar económico del proyecto. El acero recuperado durante el proceso de reciclaje de neumáticos se destina principalmente a empresas manufactureras y de construcción que requieren este material para la fabricación de estructuras, herramientas y componentes industriales. El uso de acero reciclado no solo reduce la dependencia de recursos naturales, sino que también permite a las empresas cumplir con normativas ambientales, contribuyendo al establecimiento de relaciones comerciales sostenibles y a largo plazo.

Por último, la venta de fibras textiles recicladas, que representa el 10% de los ingresos, se orienta a industrias textiles y de productos compuestos. Estas fibras recicladas se utilizan en la fabricación de nuevos textiles, materiales aislantes y

productos innovadores, ofreciendo a las empresas la posibilidad de reducir su impacto ambiental mediante el uso de materiales sostenibles. La planta garantiza un suministro constante de fibras recicladas de alta calidad, lo que permite a estas industrias explorar nuevas aplicaciones y fortalecer sus compromisos con la sostenibilidad.

Estas tres fuentes de ingresos, combinadas, aseguran la viabilidad financiera del proyecto, proporcionando un flujo de ingresos diversificado y resiliente frente a las fluctuaciones del mercado. Al aprovechar al máximo los subproductos del reciclaje de neumáticos, la planta no solo contribuye a la economía circular, sino que también se posiciona como un actor clave en la cadena de valor de materiales reciclados en Argentina.

VI. Recursos, actividades y socios claves

El éxito y la sostenibilidad de la planta dependen de una serie de recursos clave, esenciales para garantizar una operación eficiente y cumplir con los objetivos del proyecto. Estos recursos incluyen tanto elementos tangibles como intangibles, que abarcan desde la infraestructura y tecnología hasta el capital humano y las relaciones estratégicas.

Uno de los recursos más críticos es la infraestructura especializada. Esto incluye la construcción de instalaciones adecuadas para el almacenamiento, procesamiento y gestión de NFU. La planta debe estar equipada con áreas de recepción y clasificación de neumáticos, así como con espacios para el tratamiento y control ambiental para gestionar adecuadamente los riesgos asociados con la manipulación de neumáticos y materiales derivados.

La tecnología avanzada es otro recurso fundamental. La planta necesita maquinaria y equipos de alta precisión para llevar a cabo procesos como la trituración, separación de componentes (caucho, acero y textil), granulación y limpieza. La tecnología debe ser capaz de operar de manera eficiente y cumplir con los estándares ambientales y de calidad. Es crucial disponer de equipos modernos y bien mantenidos para asegurar la eficiencia en la operación y minimizar los costos de producción. La inversión en tecnología no solo facilita la recuperación de materiales valiosos, sino que también permite innovar en la producción de nuevos productos reciclados y optimizar los procesos existentes.

La flota de vehículos constituye otro recurso clave. La planta debe adquirir y mantener una flota de camiones especializados para la recolección de NFU desde los generadores hasta la planta. Estos vehículos deben estar equipados con sistemas de carga y descarga eficientes y ser operados por personal capacitado para manejar residuos de manera segura. Además, es crucial establecer un sistema de mantenimiento regular para garantizar la operatividad continua de la flota, minimizando interrupciones en el abastecimiento de NFU a la planta.

El capital humano es igualmente esencial. El proyecto requiere un equipo multidisciplinario de profesionales con experiencia en ingeniería, gestión ambiental, operaciones industriales y profesionales de las ciencias económicas.

Los técnicos especialistas en máquinas de reciclaje y los operadores de planta juegan un papel crucial en la gestión diaria de las operaciones. Además, es importante contar con personal capacitado en la gestión de residuos y en el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes, así como en la relación con clientes y proveedores. La formación continua y el desarrollo profesional del equipo son aspectos clave para mantener la competitividad y adaptarse a las innovaciones del sector.

Finalmente, la red de proveedores es otro recurso clave. La planta debe establecer relaciones sólidas con proveedores de neumáticos y otros materiales reciclables.

Actividades claves

Las actividades claves son fundamentales para garantizar una operación eficiente, sostenible y rentable. Estas actividades comprenden una serie de procesos técnicos, operativos y estratégicos esenciales para la creación de valor y el logro de los objetivos del proyecto.

En primer lugar, la recolección y transporte de los NFU se posiciona como una actividad crucial. La planta gestiona una flota de vehículos especializados para recoger los neumáticos desde diversos puntos de origen, como talleres de reparación, estaciones de servicios y empresas de transporte. Este proceso incluye la planificación y optimización de rutas, lo que permite maximizar la eficiencia del transporte, minimizando costos y reducir las emisiones de carbono. La recolección se realiza siguiendo estrictas normativas ambientales para asegurar un manejo adecuado de los residuos desde su origen.

Una vez que los neumáticos llegan a la planta, se procede a su recepción y clasificación. Este proceso es vital para identificar los diferentes materiales recuperables y garantizar un flujo de trabajo eficiente. La correcta clasificación de los NFU permite separar aquellos neumáticos que pueden ser reciclados en distintos productos, optimizando así la cadena de producción.

El procesamiento de los NFU es otra actividad clave que involucra varias etapas. Inicialmente, los neumáticos son triturados en partículas más pequeñas, seguida de la separación de componentes como caucho, acero y textil mediante equipos especializados. El caucho es posteriormente granulado y limpiado para eliminar impurezas, resultando en productos de alta calidad aptos para diversas aplicaciones industriales. El acero y el textil también se recuperan para su reutilización, asegurando así la máxima recuperación de materiales y la mínima generación de residuos.

La gestión de la calidad y el cumplimiento normativo son aspectos esenciales que se supervisan rigurosamente. La planta implementa sistemas de gestión de la calidad para asegurar que todos los productos y procesos cumplan con los estándares establecidos. Además, se garantiza el cumplimiento de todas las normativas ambientales y de seguridad, lo que implica una gestión continua de permisos, certificaciones y auditorías regulatorias.

La innovación y la investigación y desarrollo (I+D) son actividades prioritarias para mantener la competitividad y sostenibilidad de la planta. Estos esfuerzos se

centran en la mejora de los procesos existentes, la creación de nuevos productos reciclados y la adopción de tecnologías avanzadas. Además, la colaboración con instituciones académicas y centros de investigación facilita la exploración de nuevas aplicaciones de los materiales reciclados y la mejora de la eficiencia del reciclaje.

Por último, la comercialización y venta del producto reciclado, así como la gestión de relaciones y alianzas estratégicas, son actividades cruciales. La planta debe posicionar eficazmente sus productos en el mercado, lo cual incluye la promoción, la gestión de relaciones con distribuidores y minoristas, y la atención al cliente.

Socios claves

En este modelo de negocio, los socios clave juegan un papel fundamental para asegurar el éxito y la sostenibilidad del proyecto. Estas alianzas estratégicas no solo facilitan la operación diaria, sino que también potencian la capacidad de innovación, permite acceder a mercados y recursos, y aseguran el cumplimiento de normativas ambientales.

Los proveedores de NFU son esenciales para asegurar un flujo constante de materia prima a la planta. Estos incluyen talleres de reparación de automóviles, estaciones de servicios, empresas de transporte, distribuidores de neumáticos y otros generadores de NFU. Establecer relaciones sólidas y contratos a largo plazo con estos proveedores es crucial para garantizar un suministro estable y predecible, así como para coordinar la logística de recolección y transporte.

La colaboración con entidades gubernamentales y organismos reguladores es vital para cumplir con las normativas ambientales y obtener los permisos necesarios para operar. Estas relaciones también pueden facilitar el acceso a subsidios que son fundamentales para financiar proyectos ecológicos y de sostenibilidad. Además, las alianzas con gobiernos provinciales y municipales pueden ayudar a promover políticas públicas que favorezcan el reciclaje de neumáticos y la gestión responsable de residuos.

La cooperación con universidades e instituciones de investigación permite acceder a conocimientos técnicos avanzados y participar en proyectos de investigación y desarrollo. Estas alianzas son esenciales para innovar en procesos de reciclaje, desarrollar nuevos productos y tecnologías, y mejorar la eficiencia operativa. Además, la colaboración académica puede ayudar a formar y capacitar al personal, asegurando que la planta cuente con talento humano altamente calificado.

Los clientes que compran productos reciclados, como gránulo de caucho, acero reciclado y fibras textiles, son también socios clave. Esto incluye a fabricantes de productos de caucho, empresas de construcción e infraestructura, y minoristas. Además, las alianzas con distribuidores y minoristas facilitan la comercialización de los productos reciclados, asegurando su presencia en el mercado y ampliando el alcance de la planta.

Las ONGs y las asociaciones de la industria pueden ser aliados valiosos para promover prácticas sostenibles y educar al público sobre la importancia del

reciclaje de neumáticos. Estas organizaciones pueden apoyar iniciativas de responsabilidad social y colaborar en campañas de concientización, fortaleciendo la imagen de la planta como líder en sostenibilidad.

VII. Estructura de costos y plan de inversión

La estructura de costos de la planta recicladora es un elemento crítico para el análisis de viabilidad y sostenibilidad del modelo de negocio. Los costos de infraestructura y equipamiento representan una parte significativa de la inversión inicial. Estos costos incluyen la construcción y acondicionamiento de las instalaciones, que abarcan desde área de recepción y clasificación de neumáticos hasta espacios de procesamiento y almacenamiento, así como sistemas de control ambiental. Además, la adquisición de maquinaria especializadas para la trituración, separación de componentes, granulación y limpieza de materiales constituye una inversión considerable. Esta maquinaria debe ser de alta calidad y eficiencia para asegurar un proceso productivo óptimo y cumplir con los estándares ambientales y de seguridad. A estos costos se suman los gastos de mantenimiento y reparación de la infraestructura y los equipos, esenciales para garantizar una operación continua y sin interrupciones.

Los costos operativos y logísticos desempeñan un papel fundamental en la estructura de costos. Estos costos incluyen el consumo de energía, agua y servicios públicos necesarios para el funcionamiento de la planta. Además, la decisión de implementar un sistema de recolección directa de NFU implica gastos significativos asociados a la provisión de una flota de vehículos especializados, así como costos de combustible, seguros y personal de transporte. La optimización de rutas y la gestión logística son áreas clave para controlar estos costos y maximizar la eficiencia.

Los costos de personal y capacitación son otro componente crítico de la estructura de costos. Estos incluyen los salarios, beneficios y otros gastos asociados con la contratación de un equipo multidisciplinario de profesionales, que abarca desde ingenieros y técnicos especializados en reciclaje hasta operadores de planta y personal administrativo. Además, la planta incurre en gastos de capacitación continua para asegurar que el personal esté al día con las últimas tecnologías y prácticas en la industria del reciclaje. La formación es crucial para mantener la eficiencia operativa y la seguridad en el lugar de trabajo, así como para fomentar una cultura de innovación y mejora continua.

En cuanto a los costos de materia prima y suministros, aunque los neumáticos fuera de uso se obtienen principalmente a través de acuerdos con proveedores, la planta puede enfrentar costos relacionados con la gestión y manejo de estos materiales. Esto incluye posibles costos de adquisición de neumáticos, tarifas de disposición final y gastos asociados con el tratamiento y procesamiento de materiales adicionales. Pueden existir situaciones en las que la planta deba adquirir neumáticos a un costo determinado, por ejemplo, cuando se requiere una cantidad adicional de materia prima para cumplir con la demanda de producción o cuando se necesita asegurar un suministro constante durante períodos de baja oferta.

Los gastos de comercialización y distribución constituyen otro aspecto importante de la estructura de costos. Estos gastos abarcan actividades de marketing, venta y relaciones públicas para promover los productos reciclados de la planta, incluyendo el desarrollo y mantenimiento de plataformas digitales, publicidad, participación en ferias y eventos de la industria, y la creación de material promocionable. Los costos de distribución, por su parte, incluyen los gastos de transporte para entregar los productos a los clientes y mantener la red de distribuidores y minoristas.

La planta también debe incurrir en costos relacionados con el cumplimiento normativo y la obtención de certificaciones. Esto implica gastos asociados con la obtención de permisos, certificaciones y auditorías regulatorias. Estos costos incluyen también la implementación de sistemas de gestión de calidad y del medio ambiente, así como la contratación de servicios de consultoría para asegurar el cumplimiento continuo de las regulaciones vigentes.

Los costos de investigación y desarrollo (I+D) son fundamentales para mantener la competitividad de la planta. La inversión en proyectos de investigación, la colaboración con instituciones académicas y centros de investigación, y la implementación de nuevas tecnologías en los procesos de reciclaje son esenciales para mejorar la eficiencia operativa, desarrollar nuevos productos y responder a las tendencias del mercado.

Plan de inversión

El proyecto de inversión incluye una inversión inicial significativa en equipos primarios y secundarios necesarios para el proceso de reciclaje de NFU. La inversión inicial total asciende a USD 1.344.892, distribuidos en la línea de trituración y separación de neumáticos usados, instalada y nacionalizada (incluyendo el acondicionamiento inicial de la nave industrial), por un valor de USD 711.197, los equipos secundarios y de oficina por USD 535.870, y la inversión en capital de trabajo de USD 97.825 (que responde a un ciclo de efectivo de 20 días). Se estima que ambos tipos de equipos tendrán una vida útil de cinco años. Luego, en el año 3, está prevista la incorporación de un vehículo utilitario adicional valuado en USD 100.000.

En cuanto a los precios de venta de los productos reciclados, el caucho será vendido a USD 340 por tonelada, mientras que el acero se comercializará a USD 154 por tonelada, y la fibra textil USD 6.16 por tonelada lo que refleja los precios actuales del mercado para estos subproductos. Estos ingresos permitirán financiar las operaciones y generar utilidades para la planta.

Los costos de operación incluyen, en primer lugar, el costo del material, el cual se calcula en USD 0.015 por kilogramo de neumáticos transportados, considerando que la recolección se realiza con camiones propios. La planta empleará 35 operarios para operar a su capacidad instalada en el primer año. Además, se estima un consumo de energía de 40 kilovatios por tonelada de caucho procesado, a un costo de USD 0.1019 por kilovatio.

Otros costos incluyen el embalaje de los productos reciclados en *big bags* de rafia y pallets de madera, cuyo costo unitario será de USD 10.12 y USD 4.7

respectivamente. Estos materiales se utilizarán para almacenar y transportar las grandes cantidades de caucho reciclado que producirá la planta.

En cuanto a los gastos generales, se estima que los gastos de comercialización representarán el 4.50% de los ingresos totales durante los cinco años proyectados, mientras que los gastos administrativos disminuirán progresivamente del 7% en el primer año al 5.62% en el quinto año. Estos porcentajes reflejan los informes de gestión de empresas similares en la industria del reciclaje.

Finalmente, la tasa del impuesto a las ganancias (IIGG) aplicada al proyecto será del 30%, lo que impactará en la rentabilidad neta del proyecto a lo largo de los cinco años proyectados.

Supuestos

El proyecto de la planta recicladora de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) se sustenta en una serie de supuestos clave que orientan su operativa y análisis financiero. En primer lugar, se parte del supuesto de que los neumáticos serán recogidos de diversas fuentes, incluyendo empresas de transporte, entidades gubernamentales, distribuidores, talleres y vertederos municipales. Este servicio se ofrecerá sin costo para las entidades generadoras, ya que el objetivo principal es proporcionar una solución ambiental adecuada a estos residuos. La recolección de los neumáticos será gestionada a través de una flota de camiones medianos, diseñados para transitar sin dificultades por la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y el Gran Buenos Aires.

En cuanto a la disposición final de los neumáticos, se prevé la emisión de certificados para aquellas empresas o municipios que lo requieran. Este servicio, si bien representa un compromiso con la correcta gestión de los residuos, no generará ingresos significativos para la planta, ya que solo se aplicará en casos puntuales y específicos.

En términos logísticos, se ha proyectado que cada camión de la flota tendrá una capacidad de carga de 5 toneladas, permitiendo transportar aproximadamente 200 neumáticos por viaje, con un peso total cercano a los 1.300 kilogramos. Cada camión estará en capacidad de realizar al menos dos viajes diarios, cubriendo distancias de entre 25 y 35 kilómetros desde la planta hasta los puntos de recolección o entrega de productos terminados. Es importante destacar que el costo del transporte se considerará parte del costo de la materia prima.

Respecto al proceso de reciclaje, aunque la planta cuenta con una trituradora capaz de procesar neumáticos enteros, se contempla la incorporación de un sistema de pretratamiento que incluirá una destalonadora, una guillotina y una máquina para la extracción del fleje de acero. Este pretratamiento es particularmente recomendable para neumáticos de más de 85 cm de altura y necesario para aquellos de gran tamaño, como los utilizados en vehículos de ingeniería. Esta medida permitirá extender la vida útil de la trituradora y reducir los costos de mantenimiento, mejorando así la eficiencia operativa a largo plazo.

En cuanto a la capacidad de procesamiento, la planta operará inicialmente con dos turnos de trabajo, alcanzando una capacidad instalada de 6.775 toneladas de NFU al año. Esta operativa supone un rendimiento eficiente de la línea de reciclaje en función de las horas de trabajo y los recursos disponibles. Se ha considerado la posibilidad de agregar un tercer turno a partir del sexto año de operación si se superan las 6.700 toneladas anuales, lo que permitirá optimizar la capacidad instalada de 10.000 toneladas por año.

Finalmente, en los gastos administrativos se incluyen rubros menores como tasas municipales, consumo de gas y agua, gastos de librería, limpieza, energía eléctrica para las oficinas, así como el asesoramiento contable, impositivo y legal necesario para el correcto funcionamiento de la planta.

Para la evaluación de este proyecto de inversión la tasa de costo de capital que se utilizó responde a una estructura financiera de 50% deuda y 50% de capital propio *-equity-*. Para su desarrollo se utilizó la metodología de CAPM que permite calcular el costo del capital propio (K_e) basado en la relación entre el retorno esperado de una inversión en el mercado, el retorno libre de riesgo (R_f) y el riesgo específico de la empresa o sector medido por el Beta (β), la cual corresponde a la del sector *Rubber & Tires*.

Se asumió un guarismo de riesgo país de 1560 puntos básicos - 22/08/24-. Y para el costo de deuda se aplicó como referencia la tasa cupón de la O.N. YPF CLASE XVII 2029. Se consideró una tasa de crecimiento g a partir del 5to año de 0% para no sobrestimar el valor de la perpetuidad. Se trabajó con un dólar MEP porque al momento de la evaluación es el más representativo y facilita la transacción de compra. Además, la evolución del dólar MEP, a diferencia del tipo de cambio oficial, se asemeja más a la evolución de la inflación.

VIII. Fundamento económico para la inversión de planta recicladora NFU

Impacto Socioambiental de una Fábrica Recicladora de Neumáticos en Argentina: una solución sostenible sin dependencia estatal

La implementación de una planta de reciclaje de neumáticos en Argentina representa una estrategia integral para abordar múltiples desafíos ambientales, económicos y sociales. En un contexto donde la disposición final de neumáticos fuera de uso (NFU) se ha convertido en un problema de creciente relevancia, su reciclaje no solo mitiga la contaminación y la degradación ambiental, sino que también fomenta el desarrollo de la economía circular y la generación de empleo. La autosuficiencia económica de una empresa de este tipo, sin depender de subsidios estatales, potencia su eficiencia operativa y la consolidación de un modelo de negocios sostenible a largo plazo.

Mitigación de Impactos Ambientales y Reducción de Pasivos Ecológicos

Los neumáticos desechados constituyen una de las fracciones de residuos más problemáticas en Argentina debido a su composición altamente resistente y su

lenta degradabilidad, que puede superar los 500 años. Su acumulación indiscriminada en basurales a cielo abierto no solo genera contaminación visual y ocupación innecesaria de espacio, sino que también propicia la proliferación de vectores de enfermedades, como el mosquito *Aedes aegypti*, transmisor del dengue, zika y chikungunya.

Además, la quema ilegal de neumáticos es una práctica común en diversos puntos del país, generando emisiones de gases altamente tóxicos, como dioxinas y furanos, con efectos adversos sobre la salud pública y el medioambiente. En este sentido, una planta recicladora permite capturar y reutilizar estos materiales, evitando la liberación de sustancias contaminantes y contribuyendo a una mejor gestión de residuos peligrosos.

Por otro lado, el proceso de reciclaje de NFU reduce la demanda de materia prima virgen, disminuyendo la extracción de hidrocarburos y otros recursos naturales utilizados en la producción de neumáticos nuevos. Este enfoque reduce la huella de carbono y las externalidades ambientales asociadas a la industria del caucho y el petróleo.

Generación de Empleo y Desarrollo de la Economía Circular

Desde una perspectiva socioeconómica, la instalación de una planta de reciclaje de neumáticos genera empleo en distintas etapas de la cadena de valor. Se crean oportunidades laborales directas en los procesos de recolección, selección, trituración y procesamiento de NFU, así como empleo indirecto en sectores relacionados, tales como logística, comercialización y desarrollo de nuevos productos reciclados.

En este sentido, la planta recicladora creará en forma directa 42 puestos de trabajo el primer año de operación, incrementándose poco más del 10% en los primeros cinco años de operatoria.

La economía circular, promovida por este tipo de industrias, permite convertir residuos en insumos productivos, generando una oferta diversificada de materiales reutilizables. Entre los productos obtenidos a partir del reciclaje de NFU se encuentran:

- ✓ Polvo de caucho modificado, utilizado en la fabricación de asfaltos de alto rendimiento con mejores propiedades de adherencia y durabilidad.
- ✓ Suelas de calzado y pisos industriales, que aprovechan la resistencia del caucho reciclado para productos de alto valor agregado.
- ✓ Placas para construcción y mobiliario urbano, que permiten una segunda vida útil a los neumáticos fuera de uso en aplicaciones sostenibles.

El desarrollo de estos productos impulsa la competitividad del sector manufacturero argentino, reduciendo costos de insumos y fomentando la innovación en materiales reciclados.

Eficiencia operativa y sostenibilidad económica sin dependencia del Estado

Uno de los aspectos más relevantes de una fábrica recicladora de neumáticos que opera sin subsidios o aportes estatales es su capacidad de autosostenibilidad financiera. Al no depender de financiamiento público, la empresa debe estructurar un modelo de negocio basado en la eficiencia productiva, la optimización de costos y la generación de valor agregado a partir del reciclaje.

En particular, la propuesta aquí desarrollada contempla una inversión total de USD 1,3 millones, segmentada en equipamiento (USD 1,1 millones) y requerimiento de capital de trabajo (USD 0,2 millones).

Los ingresos para el primer año rondan los USD 1,2 millones y el payback de la unidad de negocios está levemente por encima de los cinco años.

Este enfoque incentiva la inversión en tecnología avanzada para mejorar la eficiencia de los procesos de separación, trituración y reutilización de caucho, así como la diversificación de fuentes de ingresos a través de alianzas con sectores estratégicos como la construcción, la industria automotriz y la infraestructura vial.

Además, la independencia económica de este tipo de iniciativas evita la distorsión del mercado provocada por subsidios que, en muchos casos, generan ineficiencias y dependencia de recursos públicos. Al demostrar la viabilidad de un modelo de negocio basado en la rentabilidad y la innovación, se estimula la participación del sector privado y la inversión en infraestructura de reciclaje sin comprometer recursos estatales que podrían destinarse a otras áreas prioritarias.

La instalación de una planta recicladora de neumáticos en Argentina presenta ventajas económicas significativas en comparación con otras regiones, sustentadas en diversos factores cuantitativos y normativos. En cuanto al costo de los terrenos industriales, los valores en Argentina son competitivos. Por ejemplo, en el Parque Industrial de Moreno, los lotes se comercializan a aproximadamente 50 USD por metro cuadrado, mientras que en el Parque Industrial de Escobar los precios oscilan entre 80 y 123 USD por metro cuadrado, dependiendo de la ubicación y los servicios disponibles. Estos valores son considerablemente más bajos que en mercados como Lima, Perú, donde los terrenos industriales pueden alcanzar los 1.102 USD por metro cuadrado en zonas premium. Esta diferencia de costos representa una ventaja para la inversión en infraestructura, permitiendo una menor inversión inicial en comparación con otros países.

El consumo energético es un componente crucial en la operación de una planta recicladora. En Argentina, aunque los costos de la energía pueden variar según la región y las políticas de subsidios, en sectores industriales como el cementero, entre el 35% y el 45% de los costos operativos están relacionados con el

consumo de energía. La posibilidad de utilizar neumáticos fuera de uso como combustible alternativo contribuye a la reducción de estos costos, ya que su poder calorífico oscila entre 34 y 39 MJ/kg, un valor comparable al de algunos combustibles fósiles. En regiones cercanas a Vaca Muerta, donde la oferta de gas natural es abundante, los costos energéticos pueden ser aún más competitivos, reduciendo el impacto del consumo en la ecuación financiera del proyecto.

Argentina ha implementado regulaciones que promueven la gestión sustentable de los neumáticos fuera de uso. La Resolución 523/2013 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable establece lineamientos para el manejo responsable de estos residuos, incentivando a las empresas a desarrollar modelos de economía circular. Además, algunas provincias ofrecen beneficios fiscales y desgravaciones impositivas para empresas que se instalan en parques industriales y desarrollan actividades de reciclaje, lo que permite reducir significativamente la carga tributaria y mejorar la rentabilidad del negocio. Asimismo, ciertos municipios impulsan programas de financiamiento y apoyo logístico para facilitar la inversión en este sector.

El acceso a la materia prima es otro factor clave en la viabilidad económica de una planta recicladora en Argentina. El país genera anualmente entre 130.000 y 150.000 toneladas de neumáticos fuera de uso, una cantidad suficiente para abastecer múltiples plantas de procesamiento. La infraestructura de reciclaje en Argentina aún es limitada, lo que genera un excedente de neumáticos sin procesar que pueden ser adquiridos a costos reducidos o incluso con costos negativos, ya que muchas empresas buscan desprenderse de ellos para cumplir con normativas ambientales. Esta abundancia de materia prima reduce la necesidad de importar insumos y permite operar con costos más bajos en comparación con otros mercados donde la regulación sobre neumáticos usados está más consolidada.

Finalmente, los costos laborales también juegan un rol determinante en la competitividad del sector. Aunque Argentina presenta salarios relativamente altos en comparación con otros países de la región, con costos laborales hasta un 160% más elevados que en Brasil, la disponibilidad de mano de obra capacitada y la posibilidad de ajustar salarios según la oferta y demanda local pueden contribuir a reducir los costos operativos en relación con economías más desarrolladas. Además, la depreciación del peso argentino genera una ventaja relativa en términos de costos en dólares, lo que favorece a empresas que operan con financiamiento en moneda local y exportan productos derivados del reciclaje.

En resumen, la combinación de costos competitivos en terrenos industriales, oportunidades para la reducción de costos energéticos, un marco normativo favorable, abundante disponibilidad de materia prima y costos laborales relativamente bajos posicionan a Argentina como un país atractivo para la instalación de plantas recicladoras de neumáticos desde una perspectiva económica.

Impacto Educativo y Concienciación Ambiental

La existencia de una planta recicladora de NFU no solo tiene beneficios tangibles en términos ambientales y económicos, sino que también desempeña un rol clave en la educación ambiental y la concienciación de la sociedad respecto a la gestión responsable de residuos.

A través de programas de capacitación, visitas educativas y campañas de divulgación, se puede fomentar la cultura del reciclaje y el consumo responsable, sensibilizando a la población y a las empresas sobre la importancia de reutilizar materiales para reducir el impacto ecológico. En este sentido, una fábrica de reciclaje puede servir como un modelo replicable para otras industrias y municipios interesados en desarrollar políticas de sustentabilidad, promoviendo un cambio estructural en la forma en que se manejan los residuos en Argentina.

La instalación y operación de una fábrica recicladora de neumáticos en Argentina, especialmente bajo un esquema autosustentable y sin subsidios estatales, representa una solución integral a múltiples desafíos socioambientales. A través de la reducción de residuos contaminantes, la generación de empleo, el desarrollo de nuevos mercados y la optimización de procesos industriales, este tipo de emprendimientos contribuye a la consolidación de un modelo de economía circular, disminuyendo la dependencia de recursos naturales y fomentando una gestión más eficiente y responsable de los residuos.

Como corolario de lo expuesto, el reciclaje reúne la potencialidad necesaria para ser una actividad económicamente viable sin intervención estatal, capaz de sentar las bases para la expansión del sector y la adopción de soluciones innovadoras en la gestión de residuos, posicionando a Argentina en un camino hacia la sostenibilidad y el desarrollo ambientalmente responsable.

3. CIRCUITO DE RECOLECCIÓN Y LOGÍSTICA

I. Circuito de recolección

La implementación de un circuito de recolección responde a la necesidad de abordar de manera integral las etapas de recepción, transporte, almacenamiento y eliminación de neumáticos fuera de uso (NFU). Este desafío se enmarca en un enfoque de sostenibilidad y economía circular, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental y maximizar la eficiencia operativa. La estrategia contempla diversos aspectos clave que se detallan a continuación.

El primer paso en la creación de los circuitos consiste en la identificación los generadores de NFU. Este análisis incluye un mapeo detallado de las empresas de transportes, fábricas de neumáticos y centros urbanos con alta densidad vehicular. Estas fuentes constituyen los principales puntos de generación de NFU, lo que permite establecer flujos constantes de materiales hacia los centros de recolección. La selección de estos generadores se fundamenta en criterios de accesibilidad, volumen generado y potencial de colaboración para implementar prácticas de logística inversa

La creación de centros de acopios transitorios (CAT) es otro componente esencial del diseño. Estos centros se ubican estratégicamente en zonas clave como el AMBA y en las principales provincias generadoras de NFU. Equipados con tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID), estos espacios permiten una trazabilidad completa desde la recepción inicial hasta el despacho de los materiales procesados. Adicionalmente, las instalaciones están diseñadas para incluir equipamiento básico destinado al pretratamiento para el destalonado y trozado de neumáticos, lo que reduce significativamente los costos de transportes y optimiza el almacenamiento

El diseño de las rutas de recolección entre la planta recicladora y el CAT se realiza con un enfoque en la optimización de la logística. Para ello, se emplean herramientas de software especializado en ruteo dinámico, que permiten minimizar los kilómetros recorridos y maximizar la capacidad de carga de los vehículos. Este enfoque no solo reduce los costos operativos, sino que también disminuye las emisiones de carbono asociadas al transporte. La integración de cooperativas locales para el pretratamiento de los NFU fomenta además la inclusión social, generando empleo en las comunidades donde se desarrollan estas actividades.

El almacenamiento y procesamiento de los NFU constituyen las etapas finales del circuito. El uso de *big bags* reutilizables garantiza una manipulación segura y eficiente de los neumáticos. Una vez en la planta recicladora, los neumáticos pasan por distintas etapas de procesamiento: Trituración primaria, separación de componentes como acero y fibras textiles, y granulación final para la producción de caucho reciclado.

Se propone un enfoque holístico que integra tecnologías avanzadas, estrategias de optimización logística y colaboración con actores locales. Este modelo no solo busca maximizar la eficiencia operativa, sino también generar un impacto positivo en el entorno social y ambiental, posicionando a la planta como un referente en la gestión sustentable de residuos en Argentina.

II. Mapeo de generadores y centros de acopio transitorios

El mapeo constituye una herramienta fundamental para garantizar la eficiencia del circuito de recolección de NFU. Este proceso implica la identificación y georreferencia de los principales puntos generadores de NFU, así como la determinación de ubicaciones óptimas para los centros de acopio regionales.

Identificación de Generadores

Se han clasificado los generadores en las siguientes categorías principales:

1. Empresas de Transportes: Dado el uso intensivo de flotas vehiculares, estas empresas son generadores críticos.
2. Distribuidores y Fábricas de Neumáticos: Estos actores generan grandes volúmenes de NFU como parte de sus procesos de producción y distribución.
3. Municipios: Las zonas urbanas con alta densidad vehicular producen grandes cantidades de NFU.

El 50 % del transporte de pasajeros en la provincia de Buenos Aires están concentradas en solo 10 empresas, lo que facilita la posibilidad de generar acuerdos de suministros de NFU. A continuación, el detalle de las empresas y la cantidad de coches a su cargo:

Posición	Grupo	Cantidad de Coches	% de participación
1	DOTA	3379	18%
2	LA NUEVA METROPOL	1390	8%
3	MOQSA	760	4%
4	IDEAL SAN JUSTO	650	4%
5	ROSARIO BUS	576	3%
6	LINEA 216	545	3%
7	MOTSA	528	3%
8	LA CABAÑA	471	3%
9	MO 45	453	2%
10	SAES	422	2%
11	UNIÓN PLATENSE	397	2%
12	NUDO	395	2%
13	LA PERLITA	391	2%
14	NOROESTE	357	2%
15	MISIÓN BUENOS AIRES	330	2%
16	ALMAFUERTE	263	1%
17	EMPRESA DEL OESTE	256	1%
18	ERSA	240	1%
19	GENERAL SAN MARTÍN	233	1%
20	NUEVO IDEAL	201	1%

Fuente: La concentración empresarial en los colectivos de la RMBA.

En cuanto a los distribuidores y fabricantes de neumáticos, 13 marcas representan el total del mercado, de las cuales 4 empresas explican el 80% de las importaciones y las primeras 5 el 90%.

Importación de neumáticos en la Argentina
Principales importadores y marcas (agosto 2020)
 En unidades y %

<i>PRINCIPALES IMPORTADORES</i>		
<i>IMPORTADOR</i>	<i>UNIDADES</i>	<i>%</i>
Bridgestone	10715	22 %
Guerrini Neumáticos S.A.	9760	20 %
Prometeon Tyre Group de Argentina	8972	19 %
Neumáticos Goodyear	8762	18 %
Michelin Argentina Saicyf	5442	11 %
Alfredo Ignacio Corral S.A.	2000	4 %
IVECO Argentina Saicyf	1026	2 %
Mercedes Benz Argentina, S.A.	961	2 %
Neumasur S.A.	224	0 %
Geveco S.A.	200	0 %
Otros	224	1 %

Fuente: Neumáticos fuera de uso en la provincia de buenos aires (Pag 55)

Las principales marcas con la que se comercializan los neumáticos son:

1. Pirelli
2. Michelin
3. Bridgestone
4. Firestone
5. Goodyear
6. Triangle
7. Continental
8. Kumho
9. Westlake
10. Dunlop
11. Kelly (gy)
12. Hankook
13. Da Pa Wi

Fuente: Neumáticos fuera de uso en la provincia de buenos aires (Pag56)

Michelin, Goodyear, Bridgestone, Dunlop y Pirelli son importadores que construyeron su propia distribución de venta. Las marcas Kumho, Hankook y Continental venden a una red de grandes gomerías multimarca.

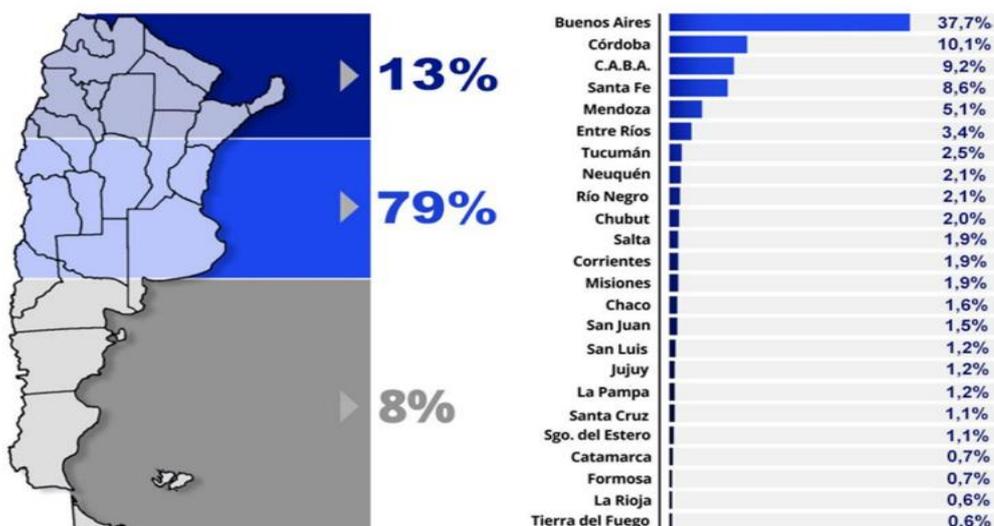
En la actualidad, no existe estadística oficial respecto de la fabricación local y consumo de neumáticos en el país. Para hacer una estimación se partió de la información de la flota vehicular circulante en Argentina a 2023 de AFAC (Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes).

El parque automotor a fin de 2023 era de 15.299.751 calculados en base a la información de la DNRPA de los vehículos en condiciones registrales de circular. Esta flota circulante está conformada por el 79,5% de automóviles, 17,5% de comerciales livianos y 3% de comerciales pesados, incluyendo camiones y ómnibus.

Se estima que para una duración promedio estimada de 60.000 Km y una utilización de 15.000 km/año, puede asumirse el recambio de los cuatros neumáticos en cuatro años o, lo que es lo mismo, el reemplazo de un neumático al año, de tal modo que el número de NFU anuales es aproximadamente igual al número de vehículos en circulación. El peso promedio de cada tipo de cada tipo de neumático se estimó en base a los datos de FADEEAC (Federación Argentina de Entidades Empresarias del Autotransporte de Cargas) publicados en *Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires*.

	Total año 2023	Automóviles 79,5%	Livianos 17,5%	Pesados 3%
Parque Automotor	15,299,751	12,163,302	2,677,456	458,993
Recambio de Neumáticos (Unidades / Año)	1	1	1	1
Neumáticos Vendidos (Unidades / Año)	15,299,751	12,163,302	2,677,456	458,993
Peso estimado de cada neumático (Kg)		8.7	7	64
Peso total neumáticos vendidos al año (Tn)	153,938	105,821	18,742	29,376

El 47% de la flota circulante se encuentra concentrada en la provincia de Buenos Aires y CABA. La provincia de Córdoba posee la segunda mayor flota del país, junto con Santa Fé y Mendoza suman el 23,8% de la flota total.



Fuente: DNRPA en Flota Vehicular Circulante en Argentina.

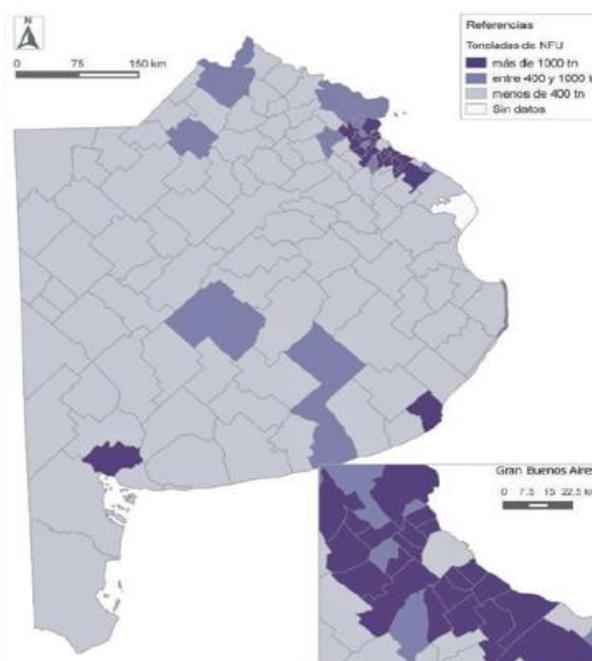
Para esta planta se trabajará sobre la región metropolitana, ubicada

estratégicamente para atender el AMBA. Sin embargo, en base a la ubicación de los NFU se propone las siguientes zonas preliminares para lograr una cobertura nacional si es que se replica la planta tipo.

- Zona Metropolitana con el 46,9% del parque automotor.
- Córdoba con el 10.1% del parque automotor.
- Santa Fé con el 8.6% del parque automotor.
- Mendoza con el 5.1% del parque automotor.

En cuanto a la provincia de Buenos Aires, interesa conocer la distribución de los NFU por municipio. El 40% de toda la generación de NFU se concentra en solo 10 municipios:

Municipio	% del Total	NFU (Tn)
La Matanza	7%	4412
La Plata	6%	3955
General Pueyrredon	5%	3118
Lomas de Zamora	4%	2317
Quilmes	3%	2202
San Isidro	3%	2031
Lanus	3%	1817
General San Martin	3%	1800
Vicente Lopez	3%	1775
Tigre	3%	1705



Fuente: Neumáticos fuera de uso en la provincia de buenos aires – DNRPA/ADEFA ARBA

Ubicación de Centros de Acopio Transitorio (CAT)

Los Centros de Acopio Transitorio (CAT) son instalaciones dedicadas a la recolección y almacenamiento temporal de Neumáticos Fuera de Uso (NFU). Estos centros permiten centralizar y gestionar de manera segura los NFU

antes de su transporte a planta de reciclaje o disposición final.

La Guía para la implementación de la Gestión Integral e Inclusiva de Residuos Sólidos Urbanos (GIIRSU), publicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, promueve la participación de cooperativas y organizaciones de la sociedad civil en la gestión de residuos, incluyendo la operación de centros de acopio.

Además, el Informe final del impacto fiscal de la ejecución del Plan Nacional de Economía Circular destaca la importancia de la inclusión social en la gestión de residuos, señalando que las cooperativas desempeñan un papel crucial en el reciclaje inclusivo y en la creación de nuevas cadenas de valor y empleo.

Para garantizar la eficacia operativa del circuito, los centros de acopio se deben planificar en función de la proximidad a los generadores más relevantes, accesibilidad logística (cercanía a rutas principales y centros urbanos) e infraestructura disponible en la región.

A continuación, se listan las cooperativas registradas en el Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires que operan actualmente:

Partido	Destino Sustentable
⊖ LA MATANZA	Asociación Civil Recicladora Río Reconquista
	Cooperativa Comandante Andresito Ltda
	COOPERATIVA DE TRABAJO EL RECICLADO DEL DOCKE LIMITADA
	COOPERATIVA DE TRABAJO JÓVENES EN PROGRESO LIMITADA
	Cooperativa de Trabajo Pampa Limitada
	Cooperativa Dignidad Laboral limitada
	Cooperativa Mundo Reciclado
	Cooperativa Recuperadores del Sur
	ECOURBANO S.A.
⊖ LA PLATA	Cooperativa de Trabajo Cartoneros Platenses
	Cooperativa Dignidad Laboral limitada
	ECOURBANO S.A.
	RECICLADOS ROMANO S.R.L.
	Unión de Cartoneros Platenses
⊖ GENERAL PUEYRREDON	Cooperativa de Trabajo CURA Limitada
⊖ LOMAS DE ZAMORA	26 de Julio
	Cooperativa Comandante Andresito Ltda
	COOPERATIVA DE TRABAJO EL RECICLADO DEL DOCKE LIMITADA
	COOPERATIVA DE TRABAJO JÓVENES EN PROGRESO LIMITADA
	COOPERATIVA DE TRABAJO NUEVO RUMBO LIMITADA
	RECICLADOS ROMANO S.R.L.

☐ QUILMES	COOPERATIVA DE TRABAJO EL RECICLADO DEL DOCKE LIMITADA
	Cooperativa Mundo Reciclado
	Cooperativa Recuperadores del Sur
	ECOURBANO S.A.
	RECICLADOS ROMANO S.R.L.
☐ SAN ISIDRO	Asociación Civil Recicladora Río Reconquista
	Cooperativa de Trabajo Bella Flor
	Cooperativa Dignidad Laboral limitada
	Cooperativa Mundo Reciclado
	Cooperativa Recuperadores del Sur
	ECOURBANO S.A.
☐ LANUS	Asociación Civil Recicladora Río Reconquista
	Cooperativa Recuperadores del Sur
☐ GENERAL SAN MARTIN	ECOURBANO S.A.
	Asociación Civil Recicladora Río Reconquista
	Asociación Civil Recicladores Plaza Libertador
	Cooperativa de Trabajo Bella Flor
	COOPERATIVA DE TRABAJO EL RECICLADO DEL DOCKE LIMITADA
☐ VICENTE LOPEZ	Cooperativa Mundo Reciclado
	RECICLADOS ROMANO S.R.L.
	26 de Julio
	Asociación Civil Recicladora Río Reconquista
	Cooperativa de Trabajo Bella Flor
	COOPERATIVA DE TRABAJO EL RECICLADO DEL DOCKE LIMITADA
	Cooperativa de Trabajo Pampa Limitada
	Cooperativa Mundo Reciclado
Cooperativa Recuperadores del Sur	
☐ TIGRE	ECOURBANO S.A.
	RECICLADOS ROMANO S.R.L.
	Asociación Civil Recicladora Río Reconquista
	Cooperativa Creando Conciencia
	Cooperativa Dignidad Laboral limitada
	Cooperativa Mundo Reciclado
Cooperativa Recuperadores del Sur	
ECOURBANO S.A.	

En el CAT, luego de recibir los NFU los almacena, se clasifica según su tipo y condición, y se les realiza un pretratamiento, como el destalonado o trozado, para facilitar su transporte y procesamiento posterior. Una vez que se ha acumulado una cantidad significativa de NFU, estos son transportados a la planta recicladora.

Por ejemplo, en la ciudad de Larroque, en la provincia de Entre Ríos, se estableció un CAT en colaboración con la empresa Worms Argentina SA. Los neumáticos recolectados en ese centro son posteriormente enviados a una planta de reciclaje en Rosario para su procesamiento.

Cabe destacar que cada CAT debe ser acondicionado con la tecnología necesaria para su funcionamiento y promovido en el marco de un modelo de gestión de NFU de REP (Responsabilidad Extendida del Productor) que es un enfoque que asigna a los productores la responsabilidad de organizar y financiar la gestión de los residuos generados por los productos que ponen en el mercado.

Por ejemplo, Chile, a partir del primer año de implementación, los productores deben recolectar al menos el 50% de los neumáticos introducidos en el mercado y reciclar al menos el 25% de ellos, con incrementos progresivos en los años siguientes.

En la provincia de Buenos Aires, de los 135 municipios que lo conforman solo

14 poseen una ordenanza sobre NFU:

Alberti	Ordenanza 2427
Azul	Ordenanza 4259/18
Baradero	Ordenanza 5546/17
Capitán Sarmiento	Ordenanza 2671/20
Escobar	Ordenanza 16938/20
Exaltación de la Cruz	Ordenanza 2612/19
Florencio Varela	Ordenanza Fiscal Impositiva 9678 /2020
General Pueyrredón	Ordenanza 23368/17
Lomas de Zamora	Decreto 858/2019.
Marcos Paz	Ordenanza 19/2019
Moreno	Ordenanza 6268/20
Ramallo	Ordenanza 6185/20
Rojas	Ordenanza 3642/17
Salliqueló	Ordenanza 1959/21

Fuente: Dirección Provincial de Residuos del OPDS (2021)

Las normativas, entre otros puntos, establecen un registro de generadores de NFU a cargo de la autoridad ambiental del municipio. Además, como principio general, las ordenanzas hacen hincapié en la prohibición del abandono y del vertido de neumáticos fuera de uso en lugares no habilitados dentro del ejido urbano, haciendo extensible a usuarios finales como los generadores y comercios habilitados para venta de neumáticos. En este mismo sentido de prevención de daño ambiental, se prohíbe la eliminación de los NFU por incineración a cielo abierto.

Particularmente, la ordenanza de Salliqueló dispone que el flete desde el CAT a la planta recicladora estará a cargo de este último con lo que el diseño de rutas de recolección es clave para optimizar los costos operativos de transporte.

Diseño de Rutas de Recolección

Para conectar los centros de acopio transitorio (CAT) con la planta recicladora se requiere diseñar una logística eficiente, empleando herramientas de software especializadas en ruteo dinámico. Estas aplicaciones permiten planificar rutas óptimas considerando variables como distancias, tiempos de recorrido, capacidad de carga de los vehículos y restricciones específicas del transporte de NFU. La implementación de estas tecnologías contribuye a reducir los costos operativos y las emisiones de carbono asociadas al transporte.

III. Logística de Insumo

Para estructurar la logística de insumos en la planta recicladora de NFU, se desglosará el análisis en dos etapas:

1. Flujo de NFU desde los generadores hasta los Centro de Acopios Transitorios (CAT)
2. Flujo de NFU desde los CAT hasta la planta recicladoras

Flujo de NFU desde los generadores hasta los Centro de Acopios Transitorios (CAT)

Este proceso cubre el envío de neumáticos fuera de uso desde los distintos generadores hasta su llegada al CAT. Bajo el modelo de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), se deben considerar varias premisas clave.

En primer lugar, el modelo de REP establece que los productores e importadores de neumáticos son responsables de organizar y financiar la gestión de los NFU a lo largo de todo su ciclo de vida. Este enfoque obliga a desarrollar un sistema de logística inversa que permita la recolección de NFU desde los puntos de generación, garantizando su transporte seguro hasta los CAT para su posterior procesamiento.

Un aspecto crucial en la consolidación del sistema de recolección bajo el modelo REP es la creación de incentivos que fomenten la participación de los generadores en el circuito formal de gestión de NFU. Se plantea la posibilidad de implementar esquemas de bonificación o reducción de impuestos para aquellos generadores que cumplan con los protocolos de recolección establecidos, así como el desarrollo de convenios con municipios y cámaras empresariales para integrar el modelo REP en las actividades económicas locales.

Finalmente, la implementación de este sistema debe estar respaldada por un marco normativo que establezca lineamientos claros para la gestión de NFU. En este contexto, los municipios cumplen un rol clave en la supervisión de la implementación del modelo REP y en la generación de normativas que fortalezcan el compromiso de los actores involucrados.

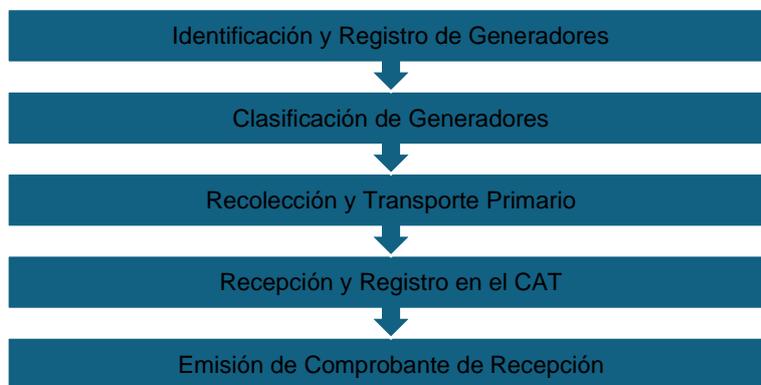
Los pasos del Flujo a cargo de los productores e importadores serían los siguiente:

1. **Identificación y registro de generadores:** Antes de iniciar la recolección, las empresas deben registrar y categorizar los generadores de NFU. Estos pueden incluir empresas de transportes, municipios, talleres mecánicos, gomerías, o industrias con alto consumo de neumáticos. Se debe establecer un sistema de trazabilidad que permita monitorear la generación del NFU y su correcta disposición en los CAT.
2. **Clasificación de Generadores según Volumen de NFU.** Aquí se propone la diferenciación en dos categorías principales: Grandes generadores (empresas de transportes y municipios que generan altos volúmenes de NFU) y Pequeños Generadores (talleres mecánicos, gomerías y usuarios particulares que generan volúmenes menores). Esta clasificación permite diseñar rutas de recolección eficientes, priorizando los puntos de mayor generación y optimizando los costos operativos.
3. **Programa de Recolección y Transporte Primario:** Aquí se establecen rutas y frecuencias de recolección según la categoría del generador y la cantidad de NFU acumulados. La recolección puede realizarse mediante camiones especializados operados por las empresas responsables del REP o mediante logística inversa en la que los distribuidores de neumáticos retiran

NFU cuando entregan neumáticos nuevos. La empresa obligada debe poner a disposición del generador una etiqueta con un código RFID único para vincular el neumático que retira con su origen.

4. Recepción y Registro en el CAT: Al llegar al CAT, los NFU son inspeccionados para determinar su estado y registrar su ingreso en el sistema de trazabilidad escaneando el código RFID. Se lleva a cabo la clasificación de los neumáticos según su nivel de deterioro y posible reutilización.
5. Emisión de Comprobante de recepción: El CAT emite a la empresa obligada un comprobante digital que sirve como prueba de que ha entregado sus neumáticos al Sistema de Gestión de NFU.

Flujo de NFU desde Generadores a los CAT



Flujo de NFU desde los Centro de Acopios Transitorios (CAT) a la Planta Recicladora

El transporte de los NFU desde los CAT hacia la planta recicladora es una fase clave en la optimización logística y en la reducción de costos operativos para la planta. En este esquema, el flete estará a cargo de la planta recicladora, que opera con su flota propia. Además, esa misma flota será utilizada para la logística de distribución de productos reciclados a los clientes, lo que permite aplicar estrategias de logística inversa para mejorar la eficiencia.

La logística de transporte debe diseñarse en función de la capacidad operativa de la flota y la disponibilidad de carga. Para ello, se establecen rutas optimizadas considerando la ubicación de los CAT y la demanda de procesamiento en la planta. Se utiliza un sistema de planificación dinámica, el cual permite programar los viajes de los camiones de manera eficiente para maximizar la capacidad de carga en cada traslado.

Los pasos del Flujo a cargo de la planta recicladora serían los siguiente:

1. Identificación de demanda de NFU en cada CAT: Los responsables de cada centro registran los volúmenes de neumáticos amulados y notifican a la planta recicladora sobre la necesidad de recolección. A partir de esta información se establece un cronograma de transporte, priorizando los CAT con mayor volumen de NFU y aquellos más cercanos a la planta para reducir

costos de combustibles y emisión de carbono.

2. **Pretratamiento en CAT:** Antes de ser trasladados, los NFU pasan por un pretratamiento que incluye el proceso de destalonado y trozado, lo que permite reducir el volumen de los neumáticos y optimizar el espacio de carga en los camiones. Este proceso mejora la eficiencia del transporte y disminuye la cantidad de viajes requeridos. Una vez trozado, se crean lotes de material que recibirá una etiqueta RFID que lo asocia a los neumáticos originales de los que proviene.
3. **Transporte y optimización de rutas:** El traslado de los lotes de NFU desde los CAT hasta la planta recicladora se realiza utilizando la flota propia de la planta, lo que permite un mayor control sobre los costos logísticos y la calidad del servicio. Para reducir costos operativos y mejorar la eficiencia del sistema, también se emplean herramientas de ruteo dinámico que permiten minimizar distancias y tiempos de recorrido (considerando el tráfico y las condiciones de las rutas), maximizar la capacidad de carga de los camiones (evitando viajes innecesarios con baja ocupación) y coordinar la logística inversa (aprovechando los camiones para el transporte de productos reciclados en su viaje de retorno).
4. **Recepción y Descarga en la Planta Recicladora:** Al llegar a la planta recicladora, los NFU son descargados en las zonas designadas de almacenamiento. Se realiza una nueva lectura de los códigos RFID de los lotes para registrar la entrada de los neumáticos y actualizar la trazabilidad en el sistema.
5. **Procesamiento:** Se envían los lotes de insumos a las diferentes etapas de procesamiento de la planta recicladora que incluyen la separación de materiales y granulación para la producción del caucho reciclado.
6. **Emisión de Certificado de Disposición Final:** Una vez que los NFU han sido procesados, se emite un Certificado de Disposición Final, documento que certifica que los neumáticos han sido reciclados de acuerdo con los estándares ambientales y las regulaciones vigentes. Este certificado es enviado a las empresas productoras o importadoras de neumáticos dentro del sistema REP, garantizando el cumplimiento de sus obligaciones de gestión de residuos.

Flujo de NFU desde los CAT a la Planta Recicladora





IV. Logística de Producto

La logística de producto en la planta recicladora de NFU abarca el proceso de distribución y entrega de los productos reciclados a los clientes finales. Este proceso es clave para garantizar la eficiencia operativa de la planta, optimizar costos de transporte y asegurar la trazabilidad de los materiales reciclados en el marco del modelo de economía circular.

El sistema logístico se basa en el uso de la flota propia de la planta recicladora, la cual también se encarga del traslado de los lotes de NFU desde los Centros de Acopio Transitorio (CAT) hasta la planta. Esta estrategia de logística inversa permite optimizar los viajes de los camiones, evitando desplazamientos en vacío y reduciendo costos operativos y emisión de carbono.

Los pasos del proceso desde la Planta Recicladora a los clientes finales:

1. Planificación de la Distribución del producto terminado: Para ello, la planta recicladora tiene que trabajar con un sistema de gestión de pedidos, el cual organiza la producción y el despacho de materiales en función de las órdenes recibidas de los clientes. Los productos reciclados pueden incluir el granulado de caucho (utilizado para pisos de gomas, asfaltos modificados y superficies deportivas), acero recuperado (utilizado en la industria metalúrgica) y Fibras Textiles (utilizado en la industria de la construcción y la fabricación de aislantes). A partir de la cartera de pedidos, se define el cronograma de distribución, priorizando las entregas en función de la ubicación de los clientes y la disponibilidad de carga en la flota de transporte.
2. Optimización de rutas y logística inversa: El modelo de logística inversa

implementado en este sistema permite que la distribución de productos reciclados se integre con el circuito de insumo, asegurando que los camiones que realizan las entregas no regresen vacíos, sino que recojan NFU desde los CAT en su viaje de regreso a la planta. Este modelo permite optimizar las rutas de transportes (combinando entregas de productos y recolección de NFU en un mismo circuito), reducción de costos operativos (minimizando viajes en vacío y mejorando la eficiencia del uso de combustible) y disminuir el impacto ambiental (reduciendo la cantidad de kilómetros recorridos y las emisiones de carbono. También en esta etapa se utiliza Software de ruteo dinámico, que ajusta las rutas de los camiones en función de la ubicación de los clientes que recibirán los productos reciclados, la proximidad de los CAT con NFU disponibles para su recolección y la capacidad de carga de los camiones, asegurando un equilibrio entre la cantidad de material reciclado entregado y la carga de NFU recogida.

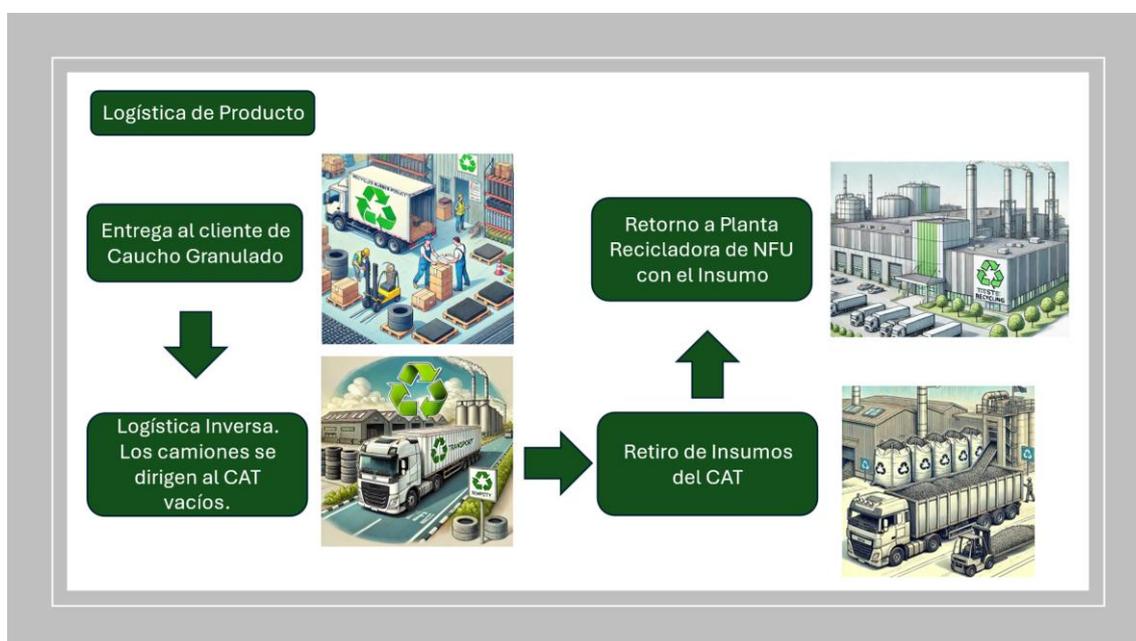
3. Carga y Transporte de los productos reciclados: Una vez definido los destinos de entrega, se procede a la carga de los productos reciclados en la flota de transporte de la planta. Este proceso sigue protocolos específicos para garantizar la seguridad del traslado y la calidad de los productos. El granulado de caucho es transportado en big bags reutilizables para evitar pérdidas de material. El acero recuperado es embalado en fardos compactados, listo para su procesamiento en fundiciones y las fibras textiles son compactadas en bloques y protegidas para evitar dispersión. Cada carga es registrada en el sistema de trazabilidad, asegurando que los productos sean correctamente identificados y entregados a su destino final.
4. Entrega a clientes: Los camiones realizan la distribución de los materiales reciclados a los clientes.
5. Retiro de Insumos en CAT: Una vez finalizada la entrega, los camiones se dirigen a los CAT más cercanos para recoger nuevos lotes de NFU, en línea con el modelo de logística inversa.
6. Retorno a la planta recicladora: Una vez descargado y registrado el ingreso de los insumos, los camiones quedan listos para un nuevo ciclo de distribución, asegurando la continuidad del sistema logístico.

Flujo de Producto desde Planta a Clientes



La logística de producto en la planta recicladora de NFU está diseñada para maximizar la eficiencia operativa y reducir costos mediante un modelo de logística inversa bien estructurado. Los camiones que entregan productos reciclados a los clientes no regresan vacíos, sino que recogen nuevos lotes de NFU en los CAT en su viaje de vuelta a la planta. Se optimizan las rutas de transportes mediante herramientas de ruteo dinámico, garantizando un uso eficiente del combustible y minimizando la huella de carbono. La trazabilidad de los materiales reciclados y los NFU se mantienen en todo momento, asegurando un circuito de gestión sustentable y alineado con el modelo de economía circular.

Este esquema logístico no solo permite reducir costos, sino que también fortalece la sostenibilidad del proceso y contribuye a la consolidación de un sistema eficiente de gestión de NFU en el país.



V. Consideraciones finales

El principal problema en la recuperación de NFU gira en torno a la falta de oferta. Existe capacidad instalada para tratar NFU, pero estos no llegan a cubrir el cupo disponible para la recuperación en las plantas de reciclaje, por lo que hay capacidad ociosa.

Esto se debe principalmente a que el costo de la logística para trasladar los neumáticos es muy significativo, a la vez que en la normativa no están asignadas concretamente las responsabilidades acerca de qué actor es el responsable de asumir estos costos.

En el caso de los municipios, estos enfrentan los mismos problemas de logística

(los altos costos de transporte), por lo que al tratarse de un residuo especial de generación universal (y no de residuos sólidos urbanos convencionales, sobre los cuales tiene una clara responsabilidad por su gestión) suelen tener severas restricciones presupuestarias y tienden a asignar fondos públicos a otras prioridades, o bien, a aquellos ámbitos en donde son efectivamente responsables de la gestión.

En síntesis, los altos costos de logística (especialmente si no existe un sistema de pretratamiento de achicamiento previo al traslado), más la falta de normativa que atribuya responsabilidades, deriva en que los NFU no se ofrezcan a través de mecanismos de mercado, ni tampoco a través de las políticas públicas, generando que la demanda prevalezca insatisfecha. Esto deriva en la falta de incentivos para la instalación de nuevas plantas recicladoras ya que las que se encuentran en funcionamiento no reciben materiales suficientes para ser tratados.

Como se refleja en el presente documento, la industria del neumático (fabricantes e importadores) es oligopólica. Son pocas empresas las que ocupan la mayor parte del mercado del país. Esto les ha permitido concertar acuerdos, a través de los cuales no existe acceso a datos objetivos, transparentes y corroborables acerca de la producción efectivamente generada de neumáticos.

La segunda característica que denota una debilidad dentro del sector es que, al no existir una ley en nuestro país, no se han generado acciones sustantivas para mitigar el pasivo ambiental que los NFU generan. Aun existiendo suficiente oferta y demanda, fundamentalmente por los costos de transporte y la falta de asignación de responsabilidades, ninguna puede ser satisfecha. De ahí que los circuitos diseñados en el presente documento apuntan a resolver esta cuestión. Urge la necesidad de una ley que permita asegurar la transparencia de la información del sector y crear una tasa sobre la venta de neumáticos cobrada a quienes introducen el producto por primera vez en el mercado. Esta tasa podría reducirse si los productores o importadores asumen la gestión de los NFU.

La creación de los Centros de Acopios Transitorios donde se realice un pretratamiento de los neumáticos, separando la banda de rodamiento de los flancos y realizando una primera trituración es un punto pilar de este circuito en la medida que su correcto funcionamiento impacta directamente en la reducción de costos logísticos. Se suma a esto la estrategia de logística inversa y optimización de ruta mediante software especializado que permite optimizar los costos logísticos.

Fuentes bibliográficas

- Guía para la implementación de la Gestión integral e Inclusiva de residuos, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Informe final del Impacto Fiscal de la ejecución del Plan Nacional de Economía Circular y Hoja de Ruta. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/estudio_analisis_fiscal_ec.p

- df
- Neuvol – Sistema de Gestión de Neumáticos – Preguntas Frecuentes Ley REP. Especial NFU - <https://neuvol.cl/wp-content/uploads/2023/06/Preguntas-Frecuentes-Ley-REP.-Foco-NFU.pdf>
 - Destinos Sustentables por Municipio – Ministerio de Ambiente de la Provincia de Buenos Aires <https://www.ambiente.gba.gob.ar/sites/default/files/Planes%20en%20vigen%20cia%20y%20notificados%20GG%20317%2010-2.pdf>
 - Revista Sociedad Latinoamericana de Tecnología del Caucho - <https://www.sltcaucho.org/revista>
 - La concentración empresarial en los colectivos de la RMBA. Un largo y sinuoso camino. Universidad Nacional de San Martín. <https://unsam.edu.ar/institutos/transporte/publicaciones/documentos%20de%20trabajo%2023.pdf>
 - Neumáticos Fuera de Uso en la provincia de Buenos Aires. Hacia una economía circular. Ministerio de Ambiente de la provincia de Buenos Aires. https://www.ambiente.gba.gob.ar/pdfs/009_INFORME%20NEUMATICOS_OCT22_comprimido.pdf
 - Flota Vehicular circulante en Argentina 2023. AFAC – Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes. <https://cdn.motor1.com/pdf-files/afac-flota-circulante-2023.pdf>
 - Centro de Acopio Transitorio de Neumáticos Fuera de Uso. Municipalidad de Larroque. https://www.larroque.gob.ar/noticia/2022/larroque_tendra_una_centro_de_acopio_transitorio_de_neumaticos_fuera_de_uso
 - Resolución N° 523 sobre manejo de neumáticos – Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable de la nación - <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/87967/20130517>

4. TRAZABILIDAD EN LOS PROCESOS DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE NFU

I. Tecnología para la trazabilidad

Desde el 2011, la RFID "tecnología de identificación por radiofrecuencia" se utilizó para saber de un modo automático la identificación y el estado en los neumáticos durante su proceso de construcción, luego de la vulcanización. La radiofrecuencia posibilita la lectura y la escritura de medios de grabación, soportados en etiquetas electrónicas para el intercambio y uso de datos. Este intercambio a través del código chip de la etiqueta electrónica incrustada en el neumático, fortalece la gestión de la cadena de suministro y es una acción fundamental de protección de la marca, evitando falsificaciones y contando con información sobre la trazabilidad del ciclo de vida de los neumáticos. Claramente, el sistema brinda información de calidad a los sectores de producción, almacenamiento, ventas y servicios de posventa de los fabricantes de neumáticos.

Lo mencionado previamente, es una muestra de la posibilidad que ofrece la tecnología en materia de trazabilidad y engendra la idea de estudios sobre impacto ambiental que a posteriori la sociedad comenzará a demandar. Los fabricantes de neumáticos operarán en un mercado de USD 154 mil millones (2027)⁹, con destino a transporte público, privado y empresas, razón por la cual, la eficiencia de producir más y mejor también implica considerar la ecoeficiencia que impera en la economía circular. En este esquema se prioriza la sostenibilidad: desde la reutilización de piezas de neumáticos viables para producir neumáticos nuevos hasta el reciclaje de neumáticos al final de su vida útil; es decir, estos esfuerzos sostenibles conducen a un producto con mayor aprovechamiento, que se traduciría en a) ahorro de dinero para los fabricantes y b) un impacto positivo en el medio ambiente.

La tecnología desde el RFID a la IA otorga transparencia y seguimiento en la vida de los neumáticos. Para lograr estos objetivos, la industria requiere más transparencia y un mejor seguimiento del ciclo de vida total de los neumáticos.

La trazabilidad es la capacidad de rastrear todos los procesos, desde la adquisición de los insumos, el sometimiento de estos a tareas productivas, su distribución y puesta a disposición para su consumo, así como el posterior tratamiento o eliminación de cualquier tipo de residuo, informando en cada etapa cuándo, dónde y por quién fue realizada. De este modo, el proceso de trazabilidad de los neumáticos y de los productos recuperados en su tratamiento de reciclado puede ser realizado mediante tecnología RFID o similar.

Es importante mencionar, que una vez insertado en el neumático, el identificador no puede cambiarse. Los datos de la RFID se bloquean después de que se cifren

⁹<https://latam.tscprinters.com/es/blog/la-industria-de-los-neumaticos-adopta-la-tecnologia-rfid-para-mejorar-la-fabricacion-la>

durante el proceso de fabricación y la etiqueta no puede desactivarse sin dañar el neumático. La etiqueta contiene el identificador único, que usualmente incluye el número de prefijo de la empresa, el código del artículo y el número de serie único de fabricación¹⁰.

A través de esta tecnología es factible rastrear individualmente a los neumáticos e identificar cada neumático a ser reutilizado o reciclado una vez que haya cumplido su vida útil, al momento de su ingreso al proceso de reciclaje y al efecto de emitir los certificados correspondientes. Al permitir satisfacer las necesidades de identificación durante todo el ciclo de vida del neumático se pueden desarrollar servicios para mejorar la productividad, el impacto medioambiental del transporte, la experiencia del consumidor, incluida la seguridad del conductor, y el reciclaje de los neumáticos al final de su vida útil.

Cada partida de neumáticos que es recogida para su reciclado en la planta puede ser identificada individualmente mediante un número interno de ingreso de materias primas. Asimismo, se identifica el punto de acopio del cual fueron recuperados los mismos, el tipo de transporte utilizado y la fecha de ingreso a la planta de reciclaje. Durante el ingreso a la planta se vincula cada uno de los NFU recibidos con el número de partida correspondiente.

Antes de su procesamiento es posible realizar una última lectura del RFDI para determinar que neumáticos integran un lote de producto terminado y dar de baja los mismos del depósito de materias primas.

La etiqueta de RFDI es destruida durante el proceso de reciclaje y el caucho recuperado es identificado con un número de lote al ser embolsado a la salida de máquina. Este número de lote está asociado con cada uno de los neumáticos que fueron incorporados al mismo y se utilizará para realizar la trazabilidad del producto terminado a partir de ese momento. El número de lote se registra en la planta de reciclaje junto con la fecha de elaboración y la línea de producción utilizada, indicando asimismo la cantidad de toneladas elaboradas, el tipo de producto terminado y su granulometría promedio, así como cualquier observación o incidencia que se haya reportado durante el proceso productivo.

Todos esos datos quedan incorporados al sistema de inventario de materias primas, productos en proceso y productos terminados de la planta de reciclaje. Cada remito a los clientes incorpora el nro. de lote de los productos despachados, los cuales son dados de baja del sistema de inventario. También en este caso, cada unidad de producto (las bolsas de 25 kilogramos o las de 1 tonelada) pueden estar identificadas mediante tecnología RFID, con la inclusión de las etiquetas correspondientes. Dicha tecnología permite crear plataformas digitales para rastrear el ciclo de vida de los NFU reciclados y garantizar la trazabilidad.

Los datos recogidos mediante RFID pueden aportar mucha información para optimizar procesos de reciclaje, identificar patrones de consumo y anticipar la

¹⁰ Michelin España (2024) Cómo se conectan los neumáticos a su ecosistema gracias al RFID.
<https://www.michelin.es/rfid>

demanda de productos reciclados. Ello combinado con la implementación de algoritmos predictivos, pueden permitir mejorar la logística de recolección de NFU.

Dos empresas de la Latinoamérica han implementado sistemas de trazabilidad para los NFU. La empresa Seginus de Ecuador¹¹ ha desarrollado una app para celular denominada PITS (Plataforma Inteligente de Trazabilidad Sostenible) para la gestión de neumáticos fuera de uso (NFU), que le permite coordinar dentro de un plazo de hasta 48 horas, los puntos de generación (talleres automotrices) con los camiones recolectores, los gestores del triturado y los gestores de aprovechamiento.

Otra iniciativa interesante sobre este tema es la proporcionadas por modelo ProLab en Perú que aborda el concepto de trazabilidad de los neumáticos fuera de uso (NFU) como una herramienta esencial para mejorar la gestión de estos productos en la industria minera y otros sectores. El principal aporte de NEXO NFU a lo que actualmente existe es su modelo de trazabilidad incremental, que busca integrar a todos los actores involucrados en la cadena de gestión de los neumáticos, desde los productores hasta los recicladores (Lavado Canchari & Arana López, 2024).

Los principales aportes y contribuciones son:

- Mejora de los procesos existentes: NEXO NFU introduce un sistema de trazabilidad que involucra a productores, generadores, transportistas y recicladores. Esto permite una mejor visibilidad y control en la gestión de los neumáticos, a diferencia de las soluciones actuales, que a menudo operan de manera fragmentada y limitada durante el ciclo de vida del neumático.
- Optimización de recursos: La trazabilidad permite una planificación más eficiente, lo que facilita la toma de decisiones informadas. Esto contribuye a la reducción de costos al optimizar el uso de recursos y la logística asociada al manejo de los NFU.
- Cumplimiento normativo: NEXO NFU facilita el cumplimiento de regulaciones como el Decreto Supremo N ° 024-2021-MINAM, proporcionando un registro detallado de la cadena de suministro de los neumáticos. Esto asegura que las empresas puedan demostrar el cumplimiento de las normativas ambientales de forma transparente, lo cual no es tan accesible con las soluciones tradicionales.
- Control geográfico y seguridad: La trazabilidad permite controlar el origen, las condiciones de almacenamiento, y el transporte de los neumáticos, mejorando la calidad y seguridad. Este aspecto es crucial para identificar y corregir rápidamente cualquier problema de calidad o seguridad.
- Integración de información: A diferencia de los sistemas actuales, que se limitan a la información durante el uso del neumático, NEXO NFU propone que los comercializadores, generadores y transportistas alimenten el sistema con datos sobre la inversión, rotación, kilómetros recorridos y otras métricas

¹¹ <https://seginus.com.ec>

del neumático. Esto crea un flujo de información continuo y permite gestionar el neumático desde su producción hasta su disposición final.

De este modo, NEXO NFU propone una trazabilidad integral y colaborativa que mejora los sistemas existentes, proporcionando un control más efectivo sobre todo el ciclo de vida del neumático, optimizando recursos, asegurando el cumplimiento normativo y mejorando la seguridad y calidad en todo el proceso.

II. Eslabones de la cadena NFU

Los mecanismos de trazabilidad y concientización pueden implementarse de manera integral para los diferentes eslabones de la cadena (fabricantes, recicladores, consumidores y comunidad).

Los fabricantes pueden realizar la implementación de RFID desde la fabricación, asegurando que todos los neumáticos cuenten con etiquetas RFID únicas que permitan rastrear su ciclo de vida desde su fabricación hasta el reciclaje final. Esto puede reforzarse al crear una plataforma centralizada de datos, un sistema compartido entre fabricantes, distribuidores y recicladores para registrar y consultar información sobre la ubicación, estado y destino de los neumáticos a lo largo de su ciclo de vida.

Luego, en los centros de acopio y reciclaje se procede con la identificación y clasificación digital, al registrar en tiempo real cada neumático recolectado, incluyendo su origen, condiciones y transporte, utilizando lectores RFID y software de inventario. Esto permite la asociación entre RFID y número de lote, ya que, durante el reciclaje, se vincula el caucho recuperado con los neumáticos procesados mediante un número de lote único que continúe la trazabilidad en productos derivados. De este modo se genera un historial de productos reciclados, el cual asigna un perfil digital a cada lote de productos reciclados que detalle su origen, proceso de fabricación, granulometría y cualquier incidencia registrada.

Los clientes y distribuidores reciben los remitos con trazabilidad completa. Se incluye en cada remito el número de lote asociado a los productos despachados, lo que permite a los clientes conocer el origen de los materiales reciclados. Por otra parte, la planta de reciclaje emite a los proveedores los certificados ambientales que acreditan el reciclaje responsable de NFU, especificando el impacto ambiental evitado (por ejemplo: reducción de emisiones o residuos en vertederos).

Durante 2023, el gobierno de la Ciudad de Buenos Aires realizó una segunda reunión de la mesa temática sobre residuos del transporte, en la que participaron fabricantes y distribuidores, empresas de transporte, el INTI Caucho, distintas cámaras, empresas de reciclaje y el gobierno de la provincia de Buenos Aires. Para la trazabilidad de las baterías se propuso la inclusión en las mismas de un código QR y la generación de una plataforma adecuada para el seguimiento de estas. Con respecto a los NFU, se sugiere la creación de un registro de operadores que traten y valoricen los NFU, formalizando el sistema y dejando bien en claro los destinos finales posibles para los mismos, así como el

restableciendo de los puntos en CEAMSE para que los usuarios puedan llevar sus NFU y la incorporación de un registro de grandes generadores de NFU, para luego fiscalizarlos en AprA (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2023).

III. Concientización de los consumidores y de la comunidad

Para concientización y sensibilización a los consumidores y la comunidad se deben llevar adelante campañas educativas y programas de sensibilización sobre el impacto ambiental de los neumáticos y la importancia de la economía circular, mostrando cómo los NFU reciclados contribuyen al medio ambiente. Esto se debe reforzar con el desarrollo de herramientas digitales (aplicaciones o portales web) donde los consumidores puedan verificar el reciclaje de sus neumáticos mediante el número RFID, de manera que se transparente el proceso de reciclaje; y asimismo, se deben brindar incentivos para el reciclaje, como el otorgar descuentos o beneficios por la entrega de neumáticos en desuso en puntos de recolección oficiales.

Para que la comunidad pueda visualizar el impacto ambiental del trabajo realizado, se deben difundir datos y métricas sobre el reciclaje de NFU, como toneladas recicladas, emisiones evitadas y productos derivados, a través de campañas informativas en medios locales y redes sociales. Esto puede ser complementado con la inversión en proyectos comunitarios sostenibles que utilicen productos derivados de NFU reciclados, como parques con suelos de caucho o mobiliario urbano, para demostrar los beneficios tangibles del reciclaje.

Es importante aprovechar las posibilidades que brinda la tecnología y desarrollar plataformas digitales colaborativas que generen cierta integración tecnológica y permitan crear un sistema de gestión en línea que posibilite a todos los actores de la cadena consultar información en tiempo real sobre el ciclo de vida de los neumáticos reciclados. Estas plataformas pueden incorporar paneles de control ambiental que presenten distintas métricas sobre el impacto ambiental y los beneficios del reciclaje.

Los beneficios esperados son amplios. La trazabilidad total permite garantizar el seguimiento desde la fabricación hasta el reciclaje final, fortaleciendo la economía circular y evitando falsificaciones. Una mayor conciencia colectiva puede generar un cambio cultural en consumidores y comunidades hacia prácticas más sostenibles. Una mayor transparencia en la cadena, asegurar que cada actor del sistema participe activamente en la gestión responsable de los NFU, lo que puede mejorar la percepción de la marca y que le permita acceder a mercados más exigentes con certificaciones ambientales.

Todos estos mecanismos consolidan una gestión integral y sostenible de los neumáticos fuera de uso, respondiendo tanto a las demandas de la industria como a las expectativas de la sociedad. Es necesaria la articulación del Estado con las ONG y la sociedad civil para proponer y modificar un cambio cultural que provoque nuevos y esperados comportamientos de usuarios, municipios,

fabricantes, cooperativas, etc., en pos de una actividad de reciclaje costo beneficiosa.

IV. Gestión de los residuos - orientado a NFU

Los neumáticos son productos de diseño complejo que deben cumplir exigentes requerimientos técnicos para cumplir adecuadamente la actividad para la que se han diseñado. Al ser un producto fabricado deliberadamente para perdurar en el tiempo, implica que los procesos de reciclado y separación de sus diferentes componentes (caucho, acero y textil) sean medianamente complejos.

La gestión de los neumáticos al final de su vida útil pasa por dar valor a los materiales que se obtienen de su proceso de transformación en las plantas de reciclaje, convirtiéndose en una fuente de recursos materiales gracias a sus excelentes propiedades mecánicas (elasticidad, absorción de vibraciones, etc.) y su elevada durabilidad (termoestable).

El neumático puede tomar varias formas en su segunda vida, convirtiéndose en suelo para polideportivos, parques infantiles, en asfalto y en productos de moda, decoración y *lifestyle* mediante innovadoras tecnologías como la impresión 3D¹².

Así en España, La gestión de los NFU comienza con su recogida a través de *gestores autorizados* en los puntos de generación, en su mayoría talleres. Los NFU recogidos se clasifican en los *centros de recogida y clasificación* (CRC), separando aquellos que pueden ser susceptibles para prepararse para la reutilización (neumático de ocasión o recauchutado) de los que han llegado al final de su vida útil (NFVU). Éstos deben ser correctamente gestionados a través de su reciclaje o de su valorización material o energética en diversas plantas de transformación situadas en diferentes puntos del país.

El proceso de reciclaje, dependiendo del producto a obtener se conformará de:

- a) Trituración: los neumáticos enteros se introducen en una trituradora que corta el neumático reduciendo su tamaño a trozos irregulares entre 20 y 400 mm
- b) Granulación: se sigue reduciendo el tamaño del neumático mediante diferentes tecnologías de granulación o molienda como los molinos de cuchilla, molinos de impacto o prensas. Durante este proceso existen sistemas específicos para separar el acero y la fibra textil para obtener un producto final de caucho con diferentes granulometrías en función de los tamices utilizados en la fase final de cribado. En general, se puede hablar de granulado, cuyo tamaño está comprendido entre 0,8 y 20 mm, y de polvo, cuya granulometría es inferior a 0,8 mm; existen dos métodos para la obtención de polvo de caucho: a temperatura ambiente o mediante molienda criogénica a baja temperatura utilizando nitrógeno líquido.
- c) Separación de acero y fibra textil: generalmente, la separación del acero y las fibras textiles se realiza durante el proceso de granulación, aunque en

¹² <https://www.neomatique.es/blog/cual-es-el-proceso-de-reciclaje-de-los-neumaticos>

función del diseño de cada planta, también se puede realizar en la fase de trituración. El acero se retira mediante separadores magnéticos. Por otro lado, la separación de la fibra textil se puede llevar a cabo de dos maneras: i) utilizando una cinta balística o una cinta transportadora con un movimiento de vibración perpendicular al desplazamiento del material, que combinado con la inclinación adecuada, permite que la fibra, el material más ligero, se separe de los más pesados, que son el acero y el caucho; ii) mesas o bandejas vibratorias que combinan la separación del caucho por tamizado con dispositivos fluido-dinámicos que utilizan corrientes de aire.

Cuando se da ingreso a los NFU en la planta recicladora, se inicia una nueva trazabilidad que dará lugar a un nuevo producto o subproducto. Los NFU se pesan y se los divide en categorías de acuerdo con su peso para definir su corte en pedazos, los que se dirigirán al reactor o los que directamente serán enfardados para su procesamiento. El proceso de pirólisis consiste en una descomposición térmica (ausencia de oxígeno aplicando calor), que acontece sin combustión. En un ambiente controlado, los neumáticos, se descomponen en 24 horas para obtener tres subproductos: acero, carbón e hidrocarburo líquido. El gas residual que se también se produce, se recicla para alimentar a los reactores creando entonces un ciclo cerrado y eficiente.

En este proceso es destacable la mejora en la eficiencia -que se traduce en productividad de tiempos y calidad de productos- que puede aportar las universidades y los institutos públicos, los que junto con la actividad privada innovadora y proactiva procuran beneficios socioeconómicos de alto nivel.

En la Argentina, se calcula que cada año se desechan entre 130 y 150 mil toneladas de neumáticos, que pueden tardar hasta seiscientos años en biodegradarse. Hay pocas plantas especializadas en el reciclaje de neumáticos¹³, las que no funcionan a pleno y que trabajan de manera asincrónica, en gran parte por la inexistencia de normativas nacionales que contribuyan a definir un marco para una actividad con triple impacto positivo.

Opiniones de empresas recicladoras de NFU al 2023:

ECOCUYUM

Además de los usos tradicionales del caucho reciclado, Ecocuyum desarrolló y patentó productos de mobiliario urbano como reductores de velocidad, divisores de ciclovías, banquitos, bolardos (los postes de baja altura que separan la zona peatonal de la de vehículos cuando se encuentran al mismo nivel en una calle), bastoncitos amarillos y bases para faroles.

“Trabajamos con municipalidades y empresas, recibimos sus NFU, los pesamos en una báscula y emitimos un certificado de disposición final. Eso se paga porque el tratamiento de este residuo es muy costoso, el nuestro es un reciclaje mecánico que no contamina”, explica el presidente

¹³ En la Argentina solo hay tres empresas —Regomax en Buenos Aires, Ecocuyum en Mendoza y Kumen-Co en Santa Fe— que reciclan los elementos que componen un neumático: el caucho, el metal y el nailon. Existen otras, como la cementera Holcim, que reciben neumáticos fuera de uso para utilizarlos como combustible para sus hornos

de la empresa mendocina y especifica que cobra 70 pesos por cada kilo de NFU que recibe y tiene convenios con las municipalidades de Godoy Cruz y Guaymallén a las que abastece de baldosas y otros productos. Ecocuyum tiene 20 empleados, y para más del 90 % es el primer empleo”.

KUMEN KO: En la planta de Santa Fe se realizan baldosas de goma para gimnasios o patios y el excedente del material reciclado se vende a granel a empresas que hacen canchas de césped sintético. *“Trabajamos con grandes compañías del cordón industrial santafesino que asumen dentro del proceso el tratamiento del residuo, están obligadas por la certificación ISO y necesitan una correcta disposición final. Les cotizamos por tonelada. También trabajamos bastante con municipios de Santa Fe”.* Indican que los costos más altos son la logística y la energía, que representa entre un 35 y un 40 % del total. A pesar de ser plantas que se ocupan de la disposición final de un residuo, no cuentan con ningún subsidio.

Estos casos que mencionamos son manifestaciones aisladas que reflejan la necesidad de una normativa de alcance nacional para que la actividad de reciclaje de NFU sea efectivamente positiva en sentido económico social y ambiental. Es menester contar con una distribución geográfica apta y un proceso de eficiencia que dé cuenta de la economía circular que posibilita el uso de los productos del reciclaje con trabajo directo e indirecto no subsidiado.

Las experiencias de estas empresas recicladoras, sumado al trabajo del INTI en materia de NFU, pueden potenciar junto a las investigaciones de las universidades, una actividad ecoeficiente positiva con un grado de incentivos que no necesariamente sean mermas para el Estado, sino que, por el contrario, se compensen externalidades negativas y con una actividad económica productiva autónoma. Vale tener en cuenta, que en la actualidad poco más del 90% de los NFU, no reciben un tratamiento adecuado para ser considerado ecoeficiente.

Existen productos de goma que requieren calidades específicas tanto para la materia prima (insumo de otro proceso) como para los productos finales de estos procesos que pueden incorporar un porcentaje de granulados o polvo de goma. Dentro de esta selección se encuentran el reconocido caucho utilizado en canchas de fútbol sintético, pisos de goma e incluso artículos de diseño basados en un modelo ecológico. Sin embargo, los especialistas han advertido sobre la dificultad de este proceso por la necesidad de grandes inversiones para adquirir maquinaria e infraestructura que permita trabajar con ese material. *“Un polvo de goma o granulado fino, libre de impurezas como alambres y textiles, tendrá un costo de procesamiento diferente que el de las aplicaciones del mercado de asfaltos y cementos. El procesamiento para obtener polvo/granulado de goma libre de impurezas (alambres y textiles) está en el orden de USD 25/Tn, mientras que para el uso como combustible es del orden de USD 7/Tn”*, explicaron en el informe. Además, aseguraron que los usos de granulados requieren mayor inversión en tecnología y tienen bajas productividades.

La posibilidad de llevar a cabo encuentros con importadores, fabricantes, distribuidores, representantes de empresas de neumáticos, empresas de

transporte público, cámaras de transporte, recauchutadoras, asociaciones gremiales, recicladoras de NFU existentes, logísticas de carga y de residuos, es imprescindible para que la actividad implique un viraje en la actividad económica que per se tiene entidad para su desarrollo, aun cuando sea propiciada por universidades y centros de investigación.

El estándar de los neumáticos, las características para su recauchutaje, el sistema de compras públicas de neumáticos, las posibilidades de aplicar tecnología para conocer trazabilidad son entre otros aspectos, condiciones que los diferentes actores debatirán en un marco normativo que regle el reciclaje posterior de los NFU.

V. Huella ecológica – impacto ambiental NFU: la huella de carbono

La huella de carbono se conoce como “la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto”. La huella de carbono se mide en masa de CO₂ equivalente. Una vez conocido el tamaño y la huella, es posible implementar una estrategia de reducción y/o compensación de emisiones. El transporte contribuye al 14% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y dos tercios de este porcentaje proviene del transporte realizado por carretera, el más contaminante que hacemos los humanos¹⁴.

En el caso del neumático, su impacto medioambiental se produce en las tres etapas diferentes de su vida: fabricación, uso y reciclado. El trabajo para reducir esta huella de carbono debe enfocarse en ellas, pero sobre todo en la etapa intermedia, la de su uso: la vida útil del neumático. A ella se debe en su mayoría la huella de carbono con más del 90%. Aquí es donde entra en juego el buen cuidado y mantenimiento de los neumáticos. Por ejemplo, conducir con la presión correcta, además de prolongar la vida útil del neumático y contribuir a nuestra seguridad al volante, puede reducir el consumo de combustible y emisiones un 5%. Aunque más de un 90% de la huella de carbono se genere en su vida útil, con la fabricación de neumáticos recauchutados pueden alcanzarse ahorros entre un 50% y un 75% en el consumo de energía y materias primas, así como en las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

La producción de neumáticos de turismo recauchutados tiene asociado un 51,7% menos de emisiones que la de los neumáticos nuevos equivalentes, lo que se traduce en una reducción media de 32,8 kg de CO₂ de emisiones a la atmósfera por neumático. Para neumáticos recauchutados de camión y vehículo industrial, la reducción media es del 69,1%, lo que en términos absolutos supone evitar la emisión a la atmósfera de 234,3 kg de CO₂ por neumático. En cuanto al consumo de energía en la fabricación de neumáticos recauchutados para turismo, hay una reducción del 44,5% por término medio, contra un neumático nuevo de similares

¹⁴ <https://mundorecambio.info/tnu-objetivo-reducir-el-impacto-ambiental-de-los-nfu/>

características, lo que equivale a un ahorro medio de 10,5 L de petróleo por neumático.

Sin embargo, por cuestiones de seguridad vial, en Argentina no está permitido el recauchutado o recapado de neumáticos de la categoría turismo. En cuanto a los neumáticos recauchutados de camión y vehículo industrial, el ahorro energético obtenido es del 69,6%, que equivale a un ahorro de 98,3 L de petróleo por neumático.



El recapado y reciclaje de neumáticos fuera de uso ofrece múltiples beneficios ambientales que son fundamentales para promover prácticas sostenibles. Estos incluyen la reducción de emisiones, ahorro de energía y materias primas, y la prevención del calentamiento global.

El reciclaje de neumáticos también impulsa la economía circular, utilizando materias primas secundarias de los NFU en lugar de nuevas. Esto evita la producción de nuevos materiales como goma, acero y textil, reduciendo así el uso de recursos no renovables fósiles como el petróleo.

- Reduce residuos en vertederos: Los neumáticos usados son voluminosos y no biodegradables, lo que significa que ocupan un espacio considerable en los vertederos durante años. Si no se reciclan se convierten en un problema medioambiental porque liberan metales pesados, compuestos químicos y lixiviados que pueden infiltrarse en el suelo y acuíferos, contaminando estos recursos vitales y afectando a flora y fauna. Además, pueden convertirse en criaderos para mosquitos, lo que supone un riesgo para la salud pública.
- Previene los incendios: Los vertederos de neumáticos son altamente inflamables, y los incendios en ellos son difíciles de controlar y pueden arder durante meses, liberando humo tóxico y contaminantes al aire. El reciclaje previene estos riesgos ambientales y de salud.
- Conserva los recursos naturales: Fabricar neumáticos nuevos requiere petróleo y otros recursos naturales como caucho y agua. Al hacer un uso

apropiado del neumático y al reutilizar los mismos se reduce la demanda de materia prima virgen, conservando recursos y reduciendo la dependencia de fuentes no renovables. Recordemos que fabricar un neumático nuevo requiere 23'5 litros de petróleo y solo 13'05 para uno renovado, lo que supone un ahorro del 45%. Si bien la tecnología actual no permite reutilizar el caucho vulcanizado recuperado en la fabricación de neumáticos nuevos, es viable realizar el recapado de neumáticos en vehículos de transporte de pasajeros y de carga, lo que extiende su vida útil. Asimismo, las materias primas recuperadas tienen una variedad amplia de destinos que también reducen el uso de otras materias primas alternativas.

- Reduce el consumo de agua: La fabricación de neumáticos es un proceso que requiere grandes cantidades de agua, especialmente en el cultivo del caucho natural y durante varios de sus procesos. El extender la vida útil de los neumáticos mediante su correcto uso y su posible recapado, reduce la necesidad de producir nuevos, disminuyendo así el consumo general de agua en la industria. Se necesitan 1.961 litros para fabricar un neumático nuevo y 980 litros para uno renovado, lo que supone un 50% de ahorro de agua.
- Reduce el consumo de energía: El proceso de recauchutado/ recapado de neumáticos utiliza menos energía en comparación con la producción de neumáticos nuevos, lo que ayuda a conservar combustibles fósiles y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reduce la huella de carbono: Al ahorrar energía y reducir la necesidad de procesos intensivos en recursos, el recauchutado o recapado de neumáticos contribuye directamente a la disminución de la huella de carbono de la industria. Esto es crucial para combatir el cambio climático y promover prácticas industriales más limpias y ecológicas. Se emiten 63'64 kg de CO₂ en el proceso de fabricación de un neumático nuevo, y solo 30,58 kg para uno renovado, un 52% de Ahorro de emisiones CO₂. Por otra parte, con el reciclaje de los NFU se reduce la huella de carbono de otras industrias que utilizan las materias primas recuperadas alternativamente a otras nuevas, tanto para el acero, la fibra textil y el caucho granulado recuperado.
- Creación de nuevos productos: Los neumáticos reciclados se transforman en materia prima secundaria (goma, acero, textil) que se convierten en numerosos productos útiles, como suelos para áreas de juegos, pistas de atletismo, suelas, mangueras, césped artificial, nuevos neumáticos, pinturas.
- Estimula la economía sostenible: El reciclaje de neumáticos promueve la creación de empleo en la industria del reciclaje y fomenta la economía circular, un modelo económico que busca maximizar la reutilización de los materiales y minimizar los desechos, según un informe de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) sobre la sostenibilidad medioambiental y el empleo, de aquí a 2030 se crearán en el mundo 24 millones de empleos relacionados con la sostenibilidad.
- Fomenta la innovación: La necesidad de procesar y reutilizar neumáticos usados ha impulsado la innovación en tecnologías de reciclaje y en el desarrollo de nuevos productos que pueden ofrecer similar desempeño y menor impacto ambiental que los materiales tradicionales, como el asfalto

modificado para carreteras más duraderas y seguras, e incluso mediante la pirólisis, combustible y aditivos imprescindibles para fabricar nuevos neumáticos, como el negro carbón.

- Protege la Biodiversidad: La demanda creciente de caucho puede llevar a la deforestación de áreas que son esenciales para la biodiversidad y para la absorción de CO₂. Al reciclar neumáticos, se contribuye a disminuir la necesidad de expandir las plantaciones de caucho, ayudando a preservar los bosques y la vida silvestre que dependen de ellos.

VI. Triple impacto y cadena de valor

La creciente preocupación por la contaminación ambiental ha provocado un endurecimiento de la legislación en gran parte del mundo. Así es que existen normativas con grados diferenciales de cumplimiento y responsabilidades según el país que se analice, pero que como lineamientos generales establecen:

- ✓ Metas de recolección de NFU.
- ✓ Implementación de tecnologías para la trazabilidad y el proceso de reciclaje.
- ✓ Optimización multiobjetivo con diseños de cadenas de suministros en la actividad NFU, en particular sobre las buenas prácticas de producción, comercialización y cantidad de huella de carbono generada en los diferentes eslabones.
- ✓ Responsabilidad y costos con mecanismos usualmente concebidos en las acciones de logística inversa.
- ✓ Valorización del impacto económico-socioambiental con distribución de resultados, efectos y responsabilidades a los actores directos de la fabricación, venta y consumidores de neumáticos.

Cuando se analiza el ciclo de vida del neumático desde el punto de vista de la corriente de residuos generada es conveniente hacerlo desde la etapa de materias primas (su extracción, transformación y posterior envío), pasando por el diseño y la fabricación del neumático, su uso, reconstrucción o reutilización y reciclado y/o disposición final.

Etapas del ciclo de vida de un neumático



La etapa de materias primas implica la utilización de una cantidad de materiales, cuya composición se muestra a continuación con las proporciones de cada uno y distinguiendo entre vehículos livianos y pesados.

Materiales que componen un neumático En %

MATERIAL	VEHÍCULO LIVIANO	VEHÍCULO DE CARGA
Caucho/elastómeros	47 %	45 %
Negro de humo	21,5 %	22 %
Metal	16,5 %	25 %
Textiles	5,5 %	0 %
Óxido de zinc	1 %	2 %
Azufre	1 %	2 %
Aditivos	7,50 %	4 %

FUENTE: Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC, 2018, p. 8)

El caucho natural se obtiene de la savia del árbol *Hevea brasiliensis*, mientras que los cauchos sintéticos derivan de productos petroquímicos. El acero es de grado *premium* y solo se fabrica en unas pocas plantas en el mundo por su alta calidad. En cuanto a los materiales textiles de refuerzo, se derivan principalmente de productos petroquímicos. El negro de humo también; obtenido de gases naturales o hidrocarburos pesados permite lograr mezclas más resistentes a la abrasión, otorgando el color negro al neumático.

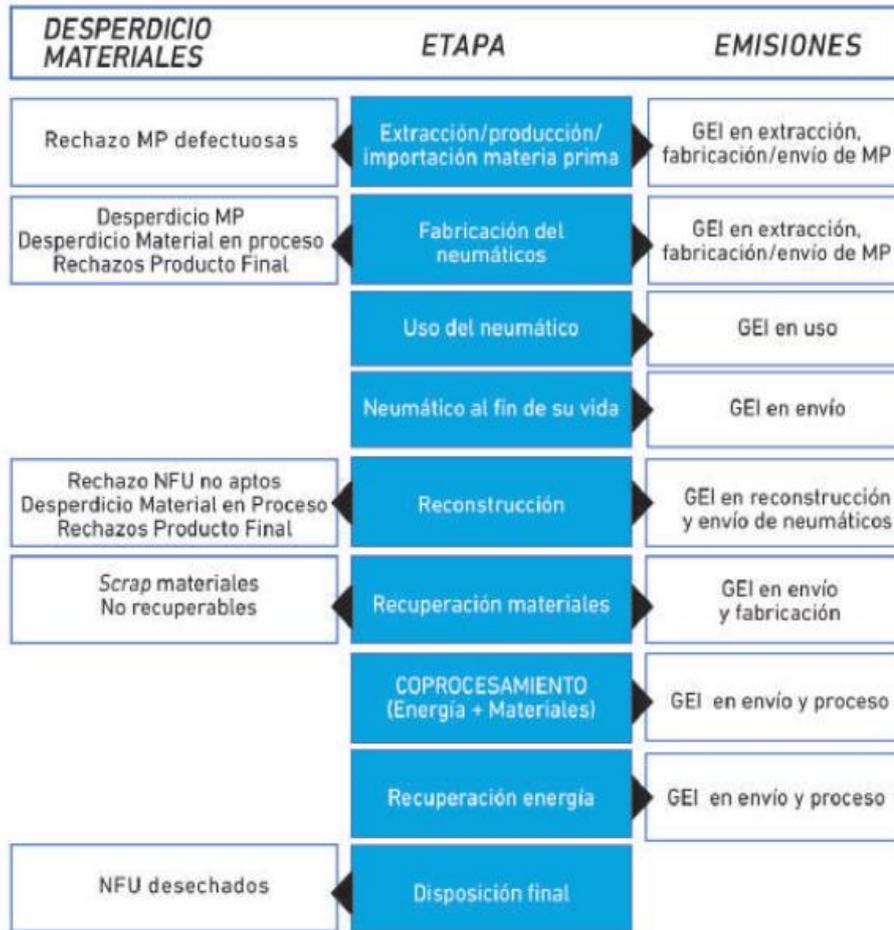
Asociado a las distintas etapas del ciclo de vida existe una corriente de desperdicio de materiales y una cantidad de emisiones de GEI. Los desperdicios de materiales están asociados principalmente al aprovisionamiento de materias primas defectuosas o al proceso de producción, ya sea de neumáticos nuevos como reconstruidos (materias primas, descartes, productos en proceso o terminados). También al desperdicio generado por los procesos de transformación de los NFU en las tareas de triturado, granulado y cribado o de fabricación de nuevos productos a partir de ellos.

En cuanto a las emisiones, están relacionadas con la producción de GEI a lo largo de todo el ciclo de vida, incluyendo no solo la producción de materias primas y productos, sino también el transporte de materiales y bienes entre una etapa y la otra, y durante el uso del neumático.

La medición de la huella de carbono en el ámbito internacional supone el análisis del ciclo de vida como método usado para el cálculo cuantitativo, identificando y evaluando el impacto sobre el ambiente desde la procura de materias primas e insumos para el producto o servicio hasta el descarte y reciclado.

Los GEI emitidos en todo el CVP se convierten a CO₂ equivalente para el cálculo, siguiendo normativas internacionales reconocidas, como ISO 14064, PAS 2050 o GHG Protocol, entre otras. Una vez dimensionado el tamaño y la huella, es posible implementar una estrategia de reducción y/o compensación de emisiones, a través de diferentes programas públicos y/o privados.

Desperdicios materiales y emisiones de GEI por etapa del ciclo de vida del neumático



En la imagen siguiente se muestra la pirámide invertida de jerarquización tecnológica (IRAM, 2020). En ella se establece un ordenamiento en la gestión de los residuos de NFU que parte de la prevención de su generación, pasa por la reutilización de los neumáticos a través de un proceso de reconstrucción y luego da lugar al reciclaje, la valorización híbrida en el procesamiento en hornos de cemento (recuperación de material y energía), la valorización/ recuperación energética, la incineración, el enterramiento en relleno sanitario y la disposición en basural a cielo abierto.

Norma IRAM 29.600 (2020)



FUENTE: IRAM (2020)

Se entiende que las opciones son menos deseables a medida que se desciende hacia el vértice de la pirámide y que el objetivo de la política pública debería ser priorizar los segmentos superiores.

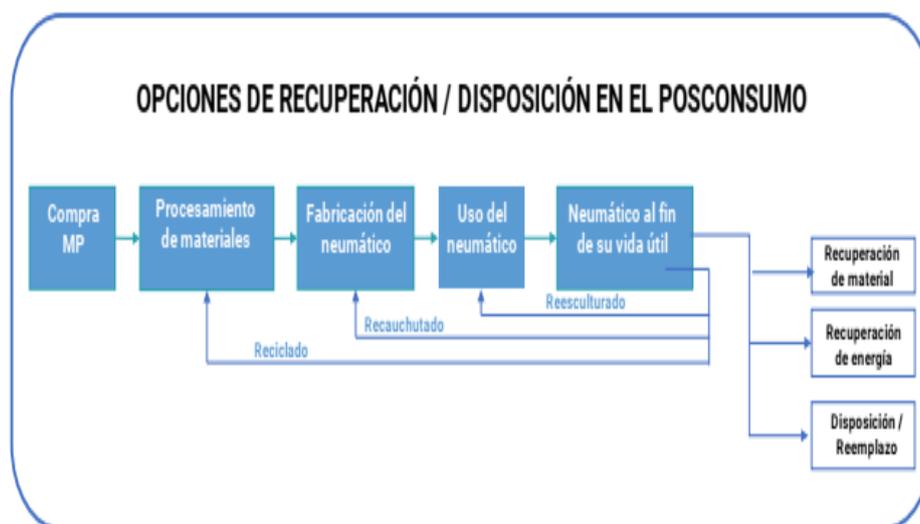
Considerando que el impacto ambiental de un neumático se debe en mayor medida al consumo de energía y a las emisiones de dióxido de carbono asociadas al rozamiento de la goma con el asfalto, una etapa clave es el diseño y la fabricación de neumáticos. En esta fase los esfuerzos están dirigidos a innovaciones que reduzcan la resistencia al rodamiento y, con ella, el consumo de combustible y las emisiones. Sin embargo, la resistencia al rodamiento no puede reducirse sin atender, al mismo tiempo, otros aspectos básicos como la seguridad (distancia de frenado, adherencia en seco y mojado) y la durabilidad, estableciéndose un delicado *trade off* entre los fines a lograr.

Con cada nueva generación de neumáticos se verifica una reducción de su masa. Esto implica menores costos de producción y de requerimiento de materiales. Para lograr este objetivo se pone el acento en tres aspectos:

1. Adelgazamiento” de los neumáticos, es decir, la reducción de la masa de los diferentes componentes (estrechamiento de los cinturones, la banda de rodamiento, el frente del neumático).
2. Concepto de estructuras más ligeras, que aparecen con el desarrollo de la tecnología.
3. Uso de materiales de menor masa (por ejemplo, cables de acero o textiles fabricados con fibras ligeras).

Cambio en los materiales: también se buscan alternativas que reduzcan o acaben con la dependencia de los derivados del petróleo, como el caucho tradicional: resinas naturales, compuestos desarrollados a base de aceites vegetales y químicos derivados del bioetanol. Para reducir de manera eficiente el uso de agua de proceso, se pueden sustituir las materias primas por rayón y sílice. Este cambio ya ha comenzado a ocurrir, ya que el poliéster ha reemplazado al rayón (fibra artificial que se obtiene de la celulosa) en los neumáticos de los automóviles y, posteriormente, ha reducido la necesidad de agua. El uso de sílice como relleno también conduce a una clara reducción de la resistencia al rodamiento de un neumático de automóvil. Sin embargo, dado que se requiere agua para la fabricación de sílice en primer lugar, la clasificación del impacto ambiental de este material sigue siendo cuestionable.

Se presentan algunas opciones de recuperación y aprovechamiento de los NFU, a partir de etapas de reconstrucción, recuperación del material para uso en producción de energía o bien la disposición controlada (o no) del material descartado.



Se mencionan seguidamente las principales opciones de aprovechamiento y reciclado y luego se describen algunos procesos relevantes, ya sea por su importancia actual o potencial en el mercado local, o por su novedad tecnológica.

Reutilización: reconstrucción

La reconstrucción del neumático es un proceso mediante el cual se vuelve a utilizar un neumático gastado, sustituyendo solamente la banda de rodamiento o también sus laterales, duplicando así su vida útil. Se realiza exclusivamente en neumáticos de camión, buses, tractores o de maquinaria agrícola, industrial o minera.

Reciclado

En segundo término, se sitúa la valorización material de los NFU en usos diferentes para los que fueron concebidos, sea enteros o triturados. Se destacan las siguientes aplicaciones:

- ✓ Relleno de césped artificial. · Pistas de atletismo.
- ✓ Material para techos.
- ✓ Asfalto modificado con caucho.

Del mismo modo, con la utilización de caucho recuperado y granulado:

- ✓ Baldosas aislantes utilizadas en el transporte público para reducir el nivel de ruido.
- ✓ Baldosas para la colocación de zonas peatonales de hormigón.
- ✓ Juntas de pavimentos de hormigón.
- ✓ Otras aplicaciones de menor volumen y valor (suelas de zapatos, sandalias)

Otra recuperación – Ingeniería civil

En tercer lugar, se sitúa la recuperación para usos en ingeniería civil. Para ello se utilizan NFU enteros o triturados, granulado de caucho, miga y polvo de caucho. Entre las principales aplicaciones registradas están:

- ✓ Uso en agricultura (sostén de silo puentes, geo celdas para accesos de instalaciones y otros usos, etc.).
- ✓ Llantas empacadas (grupo de neumáticos sujetos a un proceso de compactación):
 - Rompeolas.
 - Barreras de erosión.
 - Protección de costas.
 - Mejora de suelos.
 - Construcción de vertederos.
 - Terraplenes de carreteras.
 - Refugios.
 - Estabilización de taludes.
 - Barreras acústicas, aplicaciones de aislamiento.

Recuperación híbrida

En cuarto lugar, se ubica la recuperación híbrida, que implica tanto una valorización material como energética. Pueden al menos identificarse tres vías:

- ✓ La utilización de NFU enteros o trozados como insumos en un proceso denominado pirólisis, que permite obtener un gas de proceso (similar al propano) hidrocarburos líquidos para uso industrial o destilado de diésel, negro de humo para fabricar nuevos neumáticos, plásticos, tintas y pinturas, y distintos metales.
- ✓ La utilización de NFU enteros o trozados en el procesamiento de hornos cementeros como alternativa a los combustibles tradicionales, usando el caucho, pero además elementos como el acero, incorporándolos a la estructura de los minerales del clinker.
- ✓ La utilización de los cordones de acero y los NFU enteros o triturados en los hornos de acero, nuevamente como combustibles o como materiales.

Recuperación de energía

En quinto término, se sitúa la valorización exclusivamente térmica de los NFU. De este modo, se emplean, tanto el caucho como los textiles que suelen ser sintéticos, como combustible adicional o alternativo en la generación de energía en:

- Producción de ladrillos.
- Calderas industriales.
- Plantas de energía.
- Fábricas de pulpa y papel.
- Plantas de generación de energía a partir de residuos.

Disposición final / incineración

Finalmente, se sitúa la disposición final en rellenos sanitarios o la incineración de los NFU (prohibida en varios países).

En cuanto a las tecnologías más usuales actualmente en uso para el procesamiento de los NFU se mencionan:

Reconstrucción

El proceso de reconstrucción se asemeja al proceso de fabricación de un neumático nuevo, ya que consiste en “pegar” una banda de rodamiento nueva aplicando calor y presión durante un tiempo predeterminado.

Trituración mecánica

Con el propósito de transformar el NFU en un insumo que pueda ser utilizado para otro proceso, con frecuencia se requiere de una etapa intermedia de fragmentación del neumático y separación de sus componentes. Normalmente este proceso puede abarcar desde un simple triturado hasta distintos niveles y tamaños de granulado y generación de polvo de caucho. El proceso de trituración mecánica de un NFU permite rescatar una cantidad de elementos constitutivos del mismo. Es un proceso puramente mecánico con capacidad de generar productos de alta calidad, limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones. La trituración con sistemas mecánicos suele ser el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos. En algunos casos, como por ejemplo el coprocesamiento en la industria cementera, no se requiere separar el caucho del acero. Sin embargo, en otros procesos es importante, junto a la fragmentación del neumático en gránulos (GCR), asegurar la separación de componentes (acero y fibras). Ejemplos de uso son: materiales de relleno en productos de caucho, modificadores de asfalto, superficies de atletismo y deportes, y productos moldeados y calandrados.

Trituración criogénica

El proceso de molienda criogénica viene acompañado por un primer paso de enfriamiento de las piezas de caucho (menores de 7,62 mm) con nitrógeno líquido, congelándolas. Los trozos congelados pasan por un molino de impacto (similar a un percutor o martillo) donde son molidos en elementos más finos. El polvo resultante se seca, se separa la fibra y el metal, y se clasifica el polvo

según los tamaños obtenidos. El método descrito presenta la ventaja de recuperar los materiales que conforman los neumáticos en desuso de forma no contaminante. No obstante, el sistema de tratamiento presenta problemas en cuanto a la complejidad de sus instalaciones y su alto coste de implantación y mantenimiento. La molienda criogénica presenta un costo capital más bajo, pero un coste de operatividad mayor debido al elevado precio del nitrógeno líquido y a la fase adicional de secado requerida para eliminar la humedad.

El coprocesamiento: uso de NFU en hornos de plantas cementeras, tiene un alto consumo de energía térmica (aprox. 1450 °C), con el agregado que el uso de combustibles alternativos permite disminuir la huella de carbono del proceso de producción de cemento (aproximadamente el 7 % del consumo térmico de la industria del cemento se basa en combustibles alternativos). Los neumáticos, por su homogeneidad, alto valor calórico y relativamente poco contenido de azufre y cloro, son buenos combustibles alternativos para este proceso.

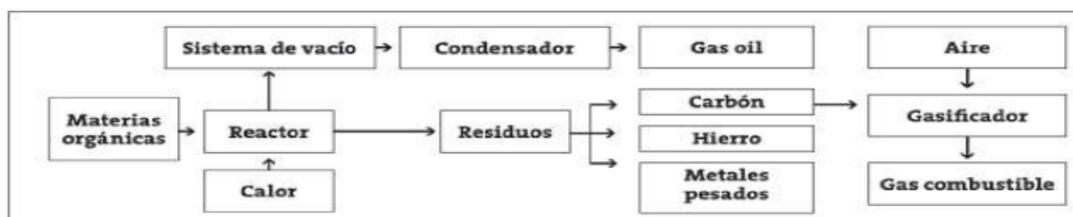
Las características del proceso llevado a cabo en el horno rotativo, como las altas temperaturas (mayores a 1200 °C), los tiempos prolongados de permanencia del material y el ambiente alcalino, hacen que dicho ambiente sea perfecto para la destrucción de sustancias orgánicas y, por ende, para la utilización de combustibles orgánicos de menor costo.

En el caso del uso de NFU, además de utilizar su porción de caucho como combustible alternativo, el resto de sus elementos, como los refuerzos de acero, se incorporan también a la estructura de los minerales del clinker. Muy pocos hornos rotativos soportan neumáticos enteros, por lo que generalmente es requerida una trituración previa. Esto conlleva a que antes de la introducción de los neumáticos triturados se debe hacer un control de los tamaños de partículas a ingresar. Estos fragmentos deben ser de no más de 4 cm.

Pirólisis

El sistema de pirólisis involucra la degradación térmica mediante un proceso anaeróbico. Este sistema degrada el caucho mediante calor, en ausencia de oxígeno. El beneficio de esta aplicación es la conversión de los neumáticos en desuso en productos con valor agregado como olefinas, cera y hollín. Este es un método de reciclaje y no solo reduce el volumen de los neumáticos, sino que también genera otros compuestos químicos para combustible.

Proceso de Pirólisis



FUENTE: Bedia García Matamoros et al. (2004)

El contacto entre el neumático triturado y la fuente de calor es indirecto, lo cual permite la obtención de cuatro productos principales provenientes del NFU:

Asfalto modificado: se ha demostrado que el uso de caucho de neumáticos molido como aditivo en la fabricación y uso de pavimento asfáltico tiene varias ventajas por sobre el asfalto tradicional: es duradero y resistente al agrietamiento. Los asfaltos modificados con caucho adecuadamente diseñados tienen una vida considerablemente más larga en comparación con los materiales normales. Los gastos de mantenimiento se reducen significativamente. Es beneficioso para el medio ambiente. Una repavimentación puede consumir más de 1250 neumáticos fuera de uso por cada kilómetro de carril. Reduce el sonido en hasta un 80 %. El asfalto modificado puede mantener su color inicial mejor que el asfalto habitual y las marcas siguen siendo más claras. La tracción es mayor a la del asfalto tradicional por lo que facilita la reducción de accidentes de tránsito, especialmente con mal tiempo.

El “polvo de neumático” utilizado para la fabricación del asfalto modificado procede de los NFU que se granulan en partículas de caucho en varias gradaciones, desde un cuarto de pulgada hasta malla número 40. El acero es eliminado por separación magnética y el tejido por un sistema de aspiradores: *al molerse a temperatura ambiente, el caucho mantiene sus características. Al ser algo maleable, al pasar por las trituradoras los bordes de los cortes son rugosos. Estos bordes rugosos afectan las propiedades del caucho: los bordes rugosos de la miga de caucho le dan más superficie para adherirse al asfalto con el que se mezcla.*

Cuando se utiliza el proceso criogénico, los recicladores rocían el caucho o lo sumergen en nitrógeno líquido. A temperaturas por debajo de -112 °F el caucho ya no actúa como tal, sino más como vidrio. Cuando se golpea en el molino de martillos, se rompe a lo largo de líneas rectas y suaves. Dos procesos principales incorporan el uso del polvo de neumático para modificar mezclas de hormigón asfáltico. El método de adición del polvo de caucho a la mezcla asfáltica distingue el proceso entre “húmedo” y “seco”. Por vía seca, se incorpora el caucho directamente en la mezcla bituminosa, durante el amasado. Por su parte, por vía húmeda, se fabrica un betúncaucho que después se utiliza en la fabricación de una mezcla bituminosa. Las características que adquiere el pavimento varían según el proceso por el cual se va a adicionar el polvo de caucho.

El valor de recupero del caucho granulado añadido al asfalto modificado se corresponde al del material que reemplaza, distintos áridos que se utilizan al mismo efecto, más un plus por las mejores características que lo otorga a la mezcla.

VII. Buenas prácticas comerciales en actividad NFU

Las buenas prácticas comerciales emergentes en el reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU) deben enfocarse en la sostenibilidad, la innovación tecnológica y la generación de valor agregado a partir de los materiales reciclados.

Entre ellas se pueden incluir:

- implementar y certificar un proceso de reciclaje sostenible que haga un uso eficiente de la energía,
- diversificar los productos elaborados a partir del caucho recuperado e identificar los mismos como elaborados a partir de materias primas recicladas (lo que mejora la percepción del consumidor y generar valor añadido),
- crear redes de recolección eficientes con talleres mecánicos y puntos limpios para facilitar el acopio de NFU,
- establecer acuerdos con fabricantes de neumáticos para promover el reciclaje tanto como parte de un esquema de responsabilidad extendida del productor y como un medio para sensibilizar a los consumidores sobre la importancia del reciclado de neumáticos y el uso de productos derivados,
- hacer acuerdos con fábricas y empresas constructoras para fomentar el uso de materiales elaborados a partir del caucho reciclado,
- generar empleo local al involucrar comunidades en la recolección y clasificación de neumáticos,
- promover la creación de microempresas para la manufactura de productos derivados de NFU reciclados,
- hacer acuerdos con cooperativas cercanas a los centros de acopio que puedan ofrecer servicios de pretratamiento de los NFU (destalonado y trozado), bajo esquemas de suscripción para talleres, lo que permite reducir los costes de transporte al minimizar el falso flete.
- implementar un modelo de residuos como servicio (waste-as-a-service) que integre recolección, reciclaje y productos finales, brindando el mismo a empresas fabricantes de neumáticos (para su scrap) como para grandes empresas de transporte y entidades gubernamentales.
- invertir en la investigación y desarrollo de procesos rentables de devulcanización que permitan reutilizar el caucho en aplicaciones más amplias y/o en la elaboración de nuevos neumáticos.

Estas prácticas no solo hacen el negocio más sostenible, sino que también pueden aumentar la competitividad y abrir nuevas oportunidades de mercado.

VIII. Modelos de gestión de los NFU

Existen tres sistemas considerados eficaces de gestión de NFU en el mundo.

Sistemas de libre mercado: no existe un actor designado con la responsabilidad de gestión de los NFU, cuyo manejo no tiene una legislación específica, sino que está cubierto por una regulación general de residuos. El Estado casi no interviene y las rutas de recuperación son las más rentables y no necesariamente las más cuidadosas del ambiente. En la práctica ha demostrado que solo una pequeña porción de los NFU recibe el tratamiento adecuado, quedando el resto acumulados en vertederos con riesgo de incendio y generando otros problemas medioambientales.

Sistemas de responsabilidad gubernamental financiada a través de un impuesto: el sistema es administrado por el Estado, que cobra un impuesto a

los fabricantes e importadores, el cual recae en los consumidores. Esta opción puede favorecer opciones más respetuosas del ambiente. Con lo recaudado es factible financiar o subsidiar los mayores costos del proceso de reciclaje de los NFU: la energía eléctrica utilizada durante el proceso de reciclado y los costos de logística asociados a la recolección de los mismos y puesta en planta. La tecnología RFID permitiría a las plantas de reciclado de NFU identificar los neumáticos que han sido reciclados al efecto de solicitar los reintegros correspondientes.

Sistemas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP): los fabricantes e importadores organizan la gestión, pudiendo asociarse con otros actores, públicos y privados. Se definen volúmenes a gestionar en función de lo producido/ importado, contándose con la regulación y el control del Estado. Se financia con una tasa a los productores. En la práctica, se pueden implementar sistemas híbridos y también otras variantes. Los fabricantes e importadores tienen la ventaja de poder utilizar la logística inversa a su favor, recuperando los NFU de sus distribuidores al momento de la entrega de los neumáticos nuevos. Sin embargo, existe consenso en que es necesario un nivel mínimo de intervención del gobierno para desarrollar adecuadamente la industria del reciclaje de NFU.

IX. Difusión y transferencia de conocimientos

Al efecto de transferir los conocimientos adquiridos y promover una mayor conciencia y participación de la comunidad en la gestión de los neumáticos fuera de uso se pueden llevar adelante programas de capacitación, eventos o conferencias, colaborar con distintos medios de comunicación y desarrollar plataformas digitales de conocimiento, que pueden reforzarse mediante la redacción de guías de buenas prácticas y manuales de tratamiento de los NFU.

Se deben incluir capacitaciones técnicas para talleres mecánicos, recicladores y otros actores de la cadena de valor sobre las mejores prácticas de manejo y reciclaje de NFU. Las plataformas en línea deben centralizar la información sobre tecnologías de reciclaje, normativas, buenas prácticas y casos de éxito en la gestión de NFU, e incluir herramientas interactivas, como calculadoras de huella de carbono, para que los usuarios puedan medir el impacto ambiental de sus acciones.

Una de las guías prácticas a desarrollar debe tratar sobre cómo implementar sistemas de trazabilidad, reciclaje y gestión de NFU, dirigidas a diferentes actores (fabricantes, recicladores, consumidores, etc.), y deben crearse manuales técnicos que detallen los procesos de reciclaje, desde la recolección hasta la transformación en nuevos productos.

Se debe aprovechar cualquier colaboración con medios de comunicación para difundir avances tecnológicos, innovaciones y experiencias exitosas en el reciclaje de NFU, lo que puede replicarse en las redes sociales y plataformas digitales para llegar a un público más amplio y fomentar la participación ciudadana.

Se debe fomentar los programas de voluntariado y actividades comunitarias en campañas de recolección y reciclaje de NFU, así como la creación de consorcios o asociaciones que faciliten el intercambio de información y la implementación de proyectos conjuntos. Por otra parte, los gobiernos pueden evaluar el ofrecer incentivos económicos o fiscales para aquellas entidades que adopten tecnologías de trazabilidad y reciclaje innovadoras.

Para la generación de nuevos conocimientos es importante promover la investigación, innovación y desarrollo desde los ámbitos público, académico y empresarial, generando redes de colaboración (entre empresas, gobiernos, ONGs y comunidades), brindando incentivos y reconocimientos adecuados, y fomentando la participación de expertos internacionales para compartir conocimientos y mejores prácticas a nivel global.

Asimismo, se debe buscar publicar los resultados de investigaciones y estudios de caso en revistas científicas y boletines especializados para compartir conocimientos con la comunidad académica y profesional. El fortalecer la difusión y transferencia de conocimientos, promoviendo una mayor conciencia y participación en la gestión sostenible de los neumáticos fuera de uso, contribuirá a la economía circular y a la reducción del impacto ambiental de estos residuos.

Fuentes bibliográficas

- Agencia de Recaudación Provincia de Buenos Aires (ARBA).(2021). Estadísticas del transporte automotor
- Asociación de Fábricas de Automotores (ADEFSA). (2020). Anuario 2019. Consultado el 8 de octubre de 2021. <http://www.adeffa.org.ar/es/estadisticas/anuarios/interno?id=54>
- Bedia García Matamoros, J., Cordero Alcántara, T. y Rodríguez Mirasol, J. (2004). Reciclado y reutilización de neumáticos usados (y II). Alternativas a la recuperación de energía. Ingeniería química, (410). pp. 177-186.
- Bridgestone. (2021). Sustainability Report 2020–2021. Tokyo: Bridgestone Corporation.
- Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC). (2018). Antecedentes técnicos, económicos y sociales para la elaboración de los Decretos Supremos que establecerán las metas de recolección y valorización de Neumáticos Fuera de Uso (NFU). Consultado el 8 de octubre de 2021. <https://rechile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2019/06/16.-CINC-Camara-de-laIndustriadel-Neumatico-de-Chile.pdf>
- COMTRADE. (2021). Base de datos COMTRADE de la ONU. Consultado el 26 de julio de 2021. <https://comtrade.un.org/data/>
- Cano Serrano, E., Cerezo García, L. y Urbina Fraile, M. (2007). Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso. Consultado el 11 de octubre de 2021. https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT10_valorizacion-energetica-neumaticos.pdf
- Catalán Enríquez, P., Bórquez Vázquez, H. y Pizarro Martínez, F. (2018). Estudio comparativo entre un neumático nuevo y un neumático recauchado, para reducción de huella de carbono [Trabajo de Titulación, Universidad

- Técnica Federico Santa María]. Consultado el 12 de agosto de 2021. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/45332>
- FADEEAC. (2020). Mesa de Economía Circular del Caucho. Documento preparado por Julio Velázquez, Melina Berger y Gaspar Contrini. En Economía Circular para NFU | Jornada Técnica 19° de Conexión Reciclado [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=tZe5Umk3K8g>
 - Delarze Díaz, P. A. (2008). Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción [Tesis de grado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcid339r/doc/bmfcid339r.pdf>
 - Ingenieros.es. (2012). Neumáticos Recauchutados, menor huella de carbono y hasta un 75 % de ahorro energético. Consultado el 26 de julio de 2021. <https://www.ingenieros.es/noticias/ver/neumaticos-recauchutados-menor-huella-de-carbono-y-hastaun-75-de-ahorro-energetico/2869>
 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM). (2020). NORMA ARGENTINA 29600. Coprocesamiento en la industria cementera. Segunda Edición.
 - Institute for Prospective Technological Studies (IPTS). (2004). Promoting Environmental Technologies: Sectoral Analysis, Barriers and Measures. Consultado el 11 de octubre de 2021. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.124.6666&rep=rep1&type=pdf>
 - Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2010). Censo 2010. Consultado el 13 de septiembre de 2021. <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
 - Iresiduo. (2018). Una innovadora tecnología convierte los neumáticos usados en un producto de reemplazo de la madera. Consultado el 23 de julio de 2021. <https://iresiduo.com/noticias/espana/tnu/18/07/06/innovadora-tecnologia-convierteneumaticos-usados-producto-reemplazo>
 - López-Cózar, J. M. (2019). Neumáticos hechos con restos de neumático. Consultado el 23 de julio de 2021. <https://blog.signus.es/neumaticos-hechos-con-restos-de-neumatico/>
 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). Economía Circular aplicada a los Neumáticos Fuera de Uso. Documento preparado por Florencia Lanzillota. En Economía Circular para NFU | Jornada Técnica 19° de Conexión Reciclado [video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=tZe5Umk3K8g>
 - Neomatique. (2021). Impresión 3D con polvo de neumático: Todo un mundo de oportunidades. Consultado el 23 de julio de 2021. <https://blog.signus.es/impresion-3d-con-polvo-de-neumatico/>
 - Oponeo. (2019). ¿Cuánto pesa un neumático? Consultado el 8 de octubre de 2021. <https://www.oponeo.es/blog/cuanto-pesa-unneumatico>
 - Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS). (2021). Relevamiento municipal de gestión de NFU. Documento inédito.
 - POSVENTA.info. (2020). Un neumático con la presión correcta puede disminuir el consumo de combustible hasta en un 3,3 %. Consultado el 26 de julio de 2021. <https://www.posventa.info/texto-diario/mostrar/2993727/neumatico-presion-correctadisminuir-consumo-combustible-33>

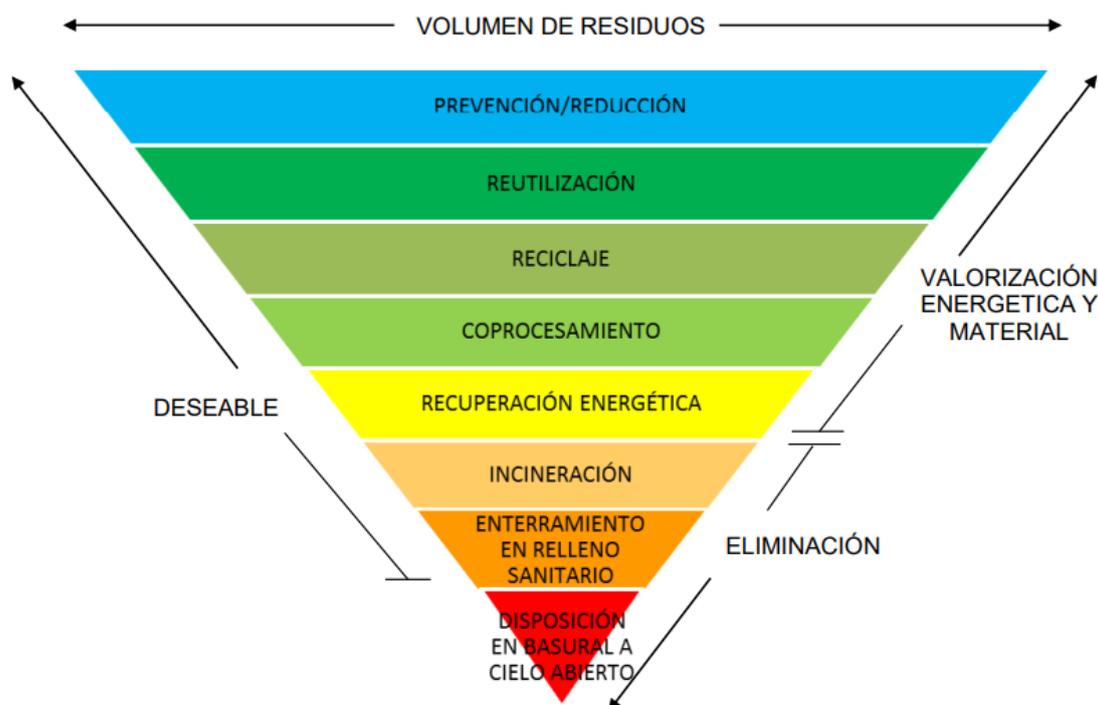
- Potarsky, K. y Bertalot, E. (2021). Obtención de grafito a partir de Carbon Black proveniente de neumáticos fuera de uso (NFU). Revista STLCaucho, (41), pp. 24-27
- Quezada V., D. A. (2001). Utilización de neumáticos desechados como combustible alternativo en fábricas de cemento [Memoria de título, Universidad de Talca]. Consultado el 15 de agosto de 2021. <https://www.monografias.com/trabajos13/neuma/neuma.shtml>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sostenible (SADS). (2013). Resolución 523/2013. Manejo Sustentable de Neumáticos. Boletín Nacional. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%BA3n-523-2013-214412>
- Statista. (2021). Productores de neumáticos según sus ingresos anuales. Consultado el 26 de julio de 2021. <https://es.statista.com/estadisticas/634636/productores-de-neumaticos-segun-susingresos-anuales/>
- The Japan Automobile Tyre Manufacturers Association, Inc. (JATMA). (2012). Tyre LCCO2 Calculation Guidelines Ver. 2.0. Consultado el 8 de octubre de 2021. https://www.jatma.or.jp/english/tyrerecycling/pdf/lcco2guideline_en.pdf
- World Business Council of Sustainable Development (WBCSD). (2008). Managing End-of-Life Tires. Full Report. Consultado el 15 de agosto de 2021. https://docs.wbcسد.org/2018/02/TIP/End_of_Life_Tires-Full-Report.pdf
- World Business Council of Sustainable Development (WBCSD). (2018a). Global ELT Management. A global state of knowledge on collection rates, recovery routes, and management methods. Consultado el 25 agosto de 2021. https://docs.wbcسد.org/2018/02/TIP/WBCSD_ELt_management_State_of_Knowledge_Report.pdf
- World Business Council of Sustainable Development (WBCSD). (2018b). TIP: end-of-life tires. Consultado el 25 de agosto de 2021. https://docs.wbcسد.org/2018/02/ELT_Fact_Sheet.pdf
- Michelin España (2024) Cómo se conectan los neumáticos a su ecosistema gracias al RFID. <https://www.michelin.es/rfid>
- Lavado Canchari, L., & Arana López, D. A. (2024). Modelo ProLab: NEXO NFU, sistema para trazabilidad y gestión de neumáticos fuera de uso en Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/57e27278-1938-4074-8259-f212430b371d/content>
- Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (28/09/2023) Buenos Aires Circular: finalizó la Mesa de Residuos de Transporte. <https://buenosaires.gob.ar/noticias/buenos-aires-circular-finalizo-la-mesa-de-residuos-de-transporte>

5. ROLES Y RESPONSABILIDADES DE LOS STAKEHOLDERS VINCULADOS A NFU

Roles y responsabilidades de los agentes generadores, los tenedores de NFU, los comercializadores y distribuidores de neumáticos, las empresas de transporte, los organismos del Estado con flota propia, los fabricantes de neumáticos, las instituciones tecnológicas (INTI), Cámaras empresarias (CIN) Organismos públicos municipales, provinciales y nacionales. ONG destinadas al medioambiente, los agentes recicladores y el *scrap* de fábricas, empresas de la industria petroquímica y actividad de la construcción.

I. Problemática de los NFU como punto de partida de roles y responsabilidades

Las características propias de los NFU y las problemáticas asociadas a estos han propiciado que se preste especial atención a su tratamiento. De ahí que, en concordancia con las propuestas de la economía circular, la Norma IRAM 29600 de 2020 propone una pirámide invertida que indica cuál es el orden de tratamiento que debe seguirse con los NFU.



Fuente: Norma IRAM 29600 (2020).

Se puede observar que el primer escalón debe ser siempre la prevención de la generación del residuo, lo que se encuentra fuertemente ligado a las condiciones de diseño y de durabilidad de los neumáticos. Luego, se debe apuntar a la reutilización, que, en el caso particular de los NFU, tiene que ver con la reconstrucción (recauchutado y recapado, lo que en Argentina está permitido solo para transporte de carga y pasajeros). Esto es seguido por el reciclaje, incorporando el NFU en distintos procesos productivos que incluyen la recogida con su inspección y clasificación, el desmontaje y extracción, la trituración y granulación, la separación de componentes, el reciclado del caucho, la recuperación de las fibras textiles y la del acero.

El coprocesamiento, relacionado con la incorporación de los NFU en hornos cementeros, incluyendo los metales en el clinker y utilizando el caucho como fuente de energía. La siguiente opción es la valorización energética. Y, finalmente, el enterramiento en rellenos sanitarios, como así también la disposición final en basurales a cielo abierto y la incineración. En Argentina, tanto la incineración como la disposición en basurales a cielo abierto se encuentran prohibidas.

Como hemos explicitado en 1., de este documento final los NFU son neumáticos que no pueden ser recuperados y se consideran residuos, por lo que debe estudiarse el traslado a los centros de transformación para su reciclaje y revalorización.

Las responsabilidades en el manejo de neumáticos fuera de uso (NFU) recaen en los productores, generadores y operadores de NFU.

Responsabilidades de los productores

- Diseñar, implementar y administrar sistemas de manejo de NFU
- Cumplir con el Plan de Manejo de NFU del proveedor de neumáticos

Responsabilidades de los generadores

- Minimizar, segregar y almacenar los NFU dentro de sus instalaciones
- Entregar los NFU a los sistemas de manejo de NFU

Responsabilidades de los operadores

- Recibir, acopiar y canjear los NFU
- Encargarse de la gestión de los NFU

Las normativas que persiguen prevenir y minimizar riesgos, tanto en el ambiente como en la salud humana, pretenden evitar la contaminación atmosférica por la quema de neumáticos y la reducción de los NFU, fomentando la reutilización, el reciclaje y la revalorización de los productos y servicios generados a partir de la transformación de los neumáticos desechados.

La gestión ambiental mayormente aceptada, en este caso, se asocia en primer lugar a extender la responsabilidad del productor de neumáticos durante las

etapas del ciclo de vida del producto incluyendo el post consumo y en segundo lugar se dispone la prohibición de almacenar NFU en espacios a cielo abierto, su quema o el depósito y transporte de ellos junto a otros residuos sólidos o peligrosos. Un ecosistema NFU de avanzada propondrá la creación de sitios de recepción de NFU

Los tratamientos de NFU, así como la recolección diferenciada y las oportunidades de productos resultantes del proceso de transformación, surgen luego de considerar que en los países de mayor desarrollo económico son recuperados entre un 36% y 51% de los NFU existentes y una parte del resto empleados para la generación de energía.

Para la reconstrucción de neumáticos en la que se procura la extensión de vida útil -evitando que se convierta en NFU- es factible: a) el recapado, proceso por el cual un neumático es reconstruido por sustitución de su banda de rodamiento; b) el recauchutado, proceso por el cual un neumático es reconstruido por sustitución de su banda de rodamiento y de sus hombros; c) el remoldeado, proceso por el cual el neumático es reconstruido por sustitución de su banda de rodamiento, de sus hombros y de toda la superficie de sus costados.

No obstante, por razones de seguridad las normativas suelen regular las posibilidades mencionadas en función de la envergadura de los vehículos involucrados. Durante este proceso también se generan residuos: las bandas que se quitan de los neumáticos y el polvo que se produce durante la reconstrucción¹⁵.

Los neumáticos que no pueden ser reconstruidos, ya que pertenecieron a automóviles o por otros motivos pueden utilizarse para obras de ingeniería civil, como sostén de silo puentes, rompeolas, barreras de erosión, protectores costeros, construcción de vertederos, terraplenes de carreteras, muelles, pistas de automovilismo, entre otros.

Evaluado y finalizada la etapa previa, habrá que considerar los procesos de recuperación del caucho para un uso productivo positivo.

- Desvulcanización: proceso que permite la recuperación del caucho, para poder ser reciclado, especialmente para la fabricación de nuevos neumáticos.
- Trituración mecánica: este proceso consiste en reducir el volumen de los neumáticos, obteniendo distintos productos según sea el proceso seleccionado.
- Achique: tritura los neumáticos en trozos de alrededor de 5 cm de diámetro, lo que permite reducir el volumen de los neumáticos a ser transportados. Esta puede ser una etapa previa para otras instancias (trituration para granulado, termo-valorización, etc.). También, cuando este proceso se realiza cerca del

¹⁵ En Argentina suelen utilizar neumáticos reconstruidos las empresas de transporte de carga y de transporte de pasajeros (micros y/o colectivos), no así las empresas de transporte de petróleo y combustibles (por razones de seguridad), como tampoco el transporte del sector público en su conjunto (Alonso y Suárez, 2021).

punto de generación, y antes de transportar los NFU a sitios de recupero, permite disminuir los costos de traslado, ya que reduce el volumen a ser transportado.

- Granulado: con esta tecnología se puede obtener granulado de caucho de, generalmente, 2,4 mm, separando el caucho del acero y de las fibras textiles. Esta tecnología, en sus versiones más complejas, permiten obtener polvo de caucho, donde las partículas no superan los 0,5 mm. En este caso, se trata de industrias intermedias, y, generalmente, aquellas que realizan el proceso de trituración no son las mismas que utilizan los gránulos en productos finales.

Resumiendo, en la gestión NFU, las problemáticas emergentes se relacionan a) con la recolección y la logística a fin de orientarla a un modelo de economía circular; y b) con políticas y acciones para el tratamiento NFU.

En el primer grupo, sobresale el costo del traslado y la dificultad en el almacenamiento. Entre los problemas relacionados con las políticas orientadas al tratamiento, destaca la ausencia de incentivos para incorporar el caucho reciclado sea en la fabricación de asfalto modificado o en la confección de espacios públicos o privados, por ejemplo, con baldosas confeccionadas a partir del caucho reciclado para plazas o para canchas deportivas.

Resulta clave contar con un sistema de trazabilidad de los neumáticos -codificación mediante-, para identificar a los responsables de los neumáticos introducidos en el mercado. Esto permitiría no solo cargar con el costo económico a quien inserta el neumático en el mercado, sino con la obligación de cada consumidor de disponer los NFU en los lugares destinados para tal fin. Si se creara una tasa -ecotasa-, para quienes introducen los neumáticos en el mercado, sea que lo fabrican en el país o que lo importan, podría amortizarse el traslado de los NFU desde las gomerías o puntos de generación a las distintas plantas de tratamiento, garantizando la implementación y el funcionamiento de las plantas de reciclaje¹⁶.

Existen evidencias sobre las bondades de agregar polvo de caucho en las mezclas asfálticas para alargar la vida del asfalto. En la Argentina, son escasas las experiencias en las que se ha incorporado polvo de caucho en las carpetas asfálticas.

Fortalecer a las industrias rectoras y recicladoras: si bien en la actualidad existen industrias recicladoras que cuentan con capacidad ociosa, si aumenta la cantidad de NFU a ser tratados, mejorando la logística según lo dicho en los puntos previos, necesitarán expandirse. Además, debe mejorarse la tecnología

¹⁶ Crear plantas de acopio y pretratamiento de gestión municipal (plantas de achique). En dichos lugares, se separarían las bandas de rodamiento de los flancos, e incluso se podría realizar un primer triturado. Esto permitiría reducir el volumen de almacenamiento y reducir los costos de traslado y las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del transporte. Estas plantas, que pueden financiarse con la ecotasa mencionada anteriormente, además, permitirían la creación de puestos de trabajo. Estas deberían estar distribuidas en todo el territorio del país y funcionar como instancia previa al traslado a plantas de tratamiento (como aquellas que generan el granulado).

utilizada, permitiendo obtener polvo de caucho para su utilización en asfalto modificado. Luego, podría incrementarse la cantidad de neumáticos que son reparados, si los distintos niveles gubernamentales reconstruyeran sus NFU en lugar de descartarlos y comprar nuevos (Hoyos Díaz, Puicón Herrera y Muñoz Pérez, 2021).

II. Normativas y regulaciones

En cuanto al marco normativo en torno a los NFU, no existen leyes de presupuestos mínimos ambientales ni de responsabilidad extendida del productor (REP). Sin embargo, ha habido proyectos de ley, uno presentado por el senador Alfredo Luenzo (S-410/21) y otro por la senadora García Larraburu (S-1101/21), los cuales fueron unificados en un solo proyecto, que obtuvo media sanción por parte de la Cámara de Senadores de la Nación en agosto de 2021.

Luego, tras perder estado parlamentario, en 2022 el mismo proyecto volvió a ser presentado y aprobado en la Cámara de Senadores de la Nación, como también con dictamen favorable de comisión en la Cámara de Diputados, pero este proceso parlamentario fue interrumpido y la ley no ha sido sancionada.

Esta ausencia de normativa de presupuestos mínimos y/o de REP conspira para que no logre organizarse una correcta gestión de los NFU, ya que la mayoría de los actores involucrados se rehúsan a hacer frente a los costos necesarios.

Por otro lado, en el año 2002 se aprobó la Ley nacional N.º 25.626, que prohíbe la importación de neumáticos usados y recauchutados. Además, en el marco de la entonces Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, existe la Resolución 523/2013, que llama a establecer lineamientos básicos para la gestión de los neumáticos, especialmente aquellos fuera de uso. Sin embargo, al ser una resolución ministerial (y no una ley nacional de presupuestos mínimos ambientales), no es de cumplimiento obligatorio para las provincias. Asimismo, en el marco del ex Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, se aprobó la Resolución N.º 522/16 sobre el manejo de los Residuos Especiales de Generación Universal (REGU). Entre estos residuos, en su Anexo I aparecen los NFU. También en este caso, no hay obligatoriedad de cumplimiento.

Tampoco existe normativa significativa en los niveles subnacionales. Por ejemplo, en la provincia de Buenos Aires, también se presentó un proyecto de ley para la gestión de residuos especiales de generación universal -REGU-, entre los que se incluían los NFU. Sin embargo, al día de la fecha, no ha sido aprobada.

A su vez, en algunos municipios del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA), se han dictado ordenanzas que tratan de forma directa o tangencialmente la gestión de los NFU. En la mayoría se hace referencia a la responsabilidad que tienen los generadores, distribuidores y consumidores. Como principio general, se prohíbe el abandono y/o incorrecta disposición final de los NFU, como así también la incineración a cielo abierto. Paralelamente, algunos municipios han firmado convenios con empresas que realizan el

tratamiento de los NFU. Sin embargo, pocos han podido realmente llevar a cabo, de manera sostenida, las obligaciones que habían asumido, sobre todo por los altos costos que tienen que afrontar a la hora de trasladar los NFU desde sus ejidos a dichas empresas.

Finalmente, existe normativa a nivel nacional que regula la reconstrucción de los neumáticos. En la Ley nacional N.º 24.449/94, se establecen las condiciones de seguridad que deben cumplir estos procesos. Más específicamente, en la Resolución N.º 205/10 de la ex Secretaría de Industria, Comercio y de la Pequeña y Mediana Empresa de la Nación, se establece que los neumáticos reconstruidos deben ser homologados a través de un Certificado de Homologación de Autopartes de y/o Elementos de Seguridad (CHAS).

Para incentivar la recuperación, reciclaje y correcta disposición final de los neumáticos, se requiere de la acción del Estado y el diseño e implementación de políticas acordes al sector. En primer lugar, a nivel nacional no se han podido detectar políticas significativas que tiendan a la recuperación y/o disposición final de los NFU, pudiendo solo encontrarse algunos municipios del AMBA que han intentado implementar la recolección y almacenamiento de neumáticos, para luego trasladarlos a plantas de trituración o cementeras. Sin embargo, estas iniciativas enfrentan importantes dificultades, sobre todo ante la carencia de recursos económicos de muchos municipios.

Algunos municipios del AMBA que han manifestado tener políticas de recolección y tratamiento son los siguientes:

- Almirante Brown: recolectan los NFU que se encuentran en basurales a cielo abierto, los cuales luego son llevados a la empresa Regomax S.A., donde son reciclados.
- Avellaneda: tiene un programa de recolección diferenciada en talleres y gomerías por parte del Municipio. Estos NFU, luego, son trasladados a la empresa Regomax S.A., con quien se firmó un convenio para tal fin. A pesar de ello, el Municipio ha sufrido importantes inconvenientes para hacer frente a la logística que esto implica, lo que ha provocado que se acumulen los NFU en un depósito, convirtiéndolo en una situación peligrosa por las razones que se detallaron al comienzo de este capítulo.
- Berazategui: tiene un programa de recolección diferenciada de NFU para los grandes generadores. Estos son enviados a la estación de transferencia de Almirante Brown, para luego ser trasladados a Regomax S.A. Además, en el municipio hay un proyecto de ordenanza cuyo objetivo es la prohibición del abandono de NFU en lugares no habilitados para tal fin.
- CABA: existe un programa de recolección diferenciada para NFU, que establece que son los generadores quienes deben hacerse cargo de su traslado hasta la estación de transferencia ubicada en Pompeya, para luego ser derivados a la empresa Regomax S.A. Lamentablemente, en el territorio,

en la mayoría de los casos, los NFU son dispuestos de forma inadecuada o son entregados a casqueros.

- Escobar: tiene campañas esporádicas de recolección diferenciada de los NFU, los cuales son trasladados a centros de disposición transitoria, para luego ser enviados a la empresa Regomax S.A.
- Esteban Echeverría: tiene un sistema de recolección diferenciada de NFU, que son recolectados semanalmente y acopiados en el Ecopunto II. Finalmente, son trasladados a la empresa Regomax S.A.
- Florencio Varela: si bien no existe un programa específico de recolección diferenciada de NFU, el municipio recibe denuncias telefónicas de los vecinos, que alertan sobre la presencia de estos en los espacios públicos. Además, los grandes generadores también pueden solicitar al Municipio el retiro de los NFU de sus instalaciones. Estos son transportados por parte del Municipio a la empresa Regomax S.A.
- General Las Heras: el Municipio recolecta los NFU provenientes de las gomerías del partido y, luego, los envía a la empresa Regomax S.A.
- General San Martín: el Municipio cuenta con un punto de recolección de NFU y además los recoge de forma gratuita en las gomerías y en microbasurales. Los NFU son derivados a la empresa Regomax S.A., la cual se ubica en su territorio.
- La Plata: ha dictado una ordenanza (N.º 10.661/09 “Basura Cero”) donde los NFU son considerados como residuos peligrosos domésticos, prohibiendo su quema a cielo abierto. Los NFU son recolectados en la fracción de residuos no habituales, pero luego son destinados a disposición final en un relleno sanitario.
- Lomas de Zamora: el Municipio recolecta los NFU, los cuales luego son derivados a la empresa Regomax S.A.
- Luján: recolecta los NFU en las gomerías del municipio, para luego ser derivados a galpones pertenecientes a la Dirección de Gestión Ambiental.
- Malvinas Argentinas: los NFU de vehículos considerados pesados (camiones y colectivos) son recolectados por una empresa privada. Estos son derivados a una planta de achique para luego ser enviados a una cementera.
- Marcos Paz: el municipio cuenta con una ordenanza que establece el tratamiento de los NFU en la empresa Regomax S.A. Estos últimos son recolectados por el Municipio en las gomerías, luego acopiados transitoriamente y, finalmente, trasladados a la empresa. Es el único Municipio que se detectó cuenta con cifras sobre la cantidad de NFU derivados a Regomax S.A.

- San Miguel: si bien no posee programas de recolección y tratamiento de NFU, se han realizado campañas de prevención de plagas, donde se han recolectado materiales que acumulan agua, entre los que se encuentran los NFU.
- Vicente López: por medio de una ordenanza (N.º 3.039/11), se establece el Plan de Recolección Diferenciada y Reciclado de residuos especiales domiciliarios, entre los que se encuentran los NFU. A pesar de ello, no cuenta con programas de recolección y tratamiento de estos.

En la web están plasmadas manifestaciones de empresarios recicladores en las cuales se indica que los envíos de NFU son esporádicos y que no hay fondos suficientes para el traslado de los mismos para el tratamiento de reciclaje.

III. Obstáculos y recomendaciones propuestas

Obstáculos asociados a los materiales

En primer lugar, se mencionan las dificultades para la recolección y el traslado, los que son onerosos y que ocupan gran volumen en relación con el peso. En segundo lugar, el almacenaje debe cumplimentar con las normas de seguridad e higiene, habida cuenta del riesgo de incendio y de la posibilidad de que el espacio sirva de refugio a distintos vectores que posteriormente transmiten enfermedades zoonóticas.

Obstáculos asociados a deficiencias en las políticas

Legislativos: al ser considerados por la normativa como residuos de generación especial, muchas veces los municipios no se encargan de su gestión. Al mismo tiempo, al no haber normativa específica que los regule, específicamente una ley REP, los generadores los depositan en sitios inadecuados, sean rellenos sanitarios o basurales a cielo abierto, y los productores no se responsabilizan por la etapa final de la vida útil de estos productos que insertan en el mercado.

Fomento de prevención

- ✓ Actividades informativas dirigidas a la ciudadanía para promover una conducción eficiente, así como el mantenimiento correcto de los neumáticos de sus vehículos para alargar su vida útil.
- ✓ Realizar, en colaboración con las asociaciones empresariales, un estudio para el conocimiento del mercado de recauchutado en los diferentes municipios.
- ✓ Fomentar la introducción, en las licitaciones de contratos del sector público, de la compra verde de neumáticos preparados para su reutilización.

- ✓ Realización de campañas de sensibilización ciudadana para promover la compra de neumáticos preparados para su reutilización.

Fomento del uso de materiales reciclados a partir de NFU

- ✓ Fomentar la introducción en las licitaciones de contratos de construcción y mantenimiento de carreteras realizadas por los estados nacionales, provinciales y municipales utilizando mezclas bituminosas con un porcentaje mínimo de polvo de caucho.
- ✓ Fomentar la utilización de unos porcentajes mínimos de uso de material reciclado procedente de neumáticos al final de su vida útil en la contratación pública.
- ✓ Firmar acuerdos de colaboración con asociaciones empresariales para promover el consumo de material reciclado procedente de neumáticos al final de su vida útil en sus actividades.

Fortalecimiento de la inspección y control

- ✓ Refuerzo del programa de inspección con el fin de mejorar la gestión de los neumáticos fuera de uso a través de los canales habilitados por los sistemas de responsabilidad ampliada del productor y evitar, así, que se produzcan vertidos incontrolados.

Fomento de la investigación, desarrollo e innovación

- ✓ La fabricación de materiales y productos derivados de los neumáticos al final de su vida útil y en nuevas aplicaciones.
- ✓ La mejora de las tecnologías existentes de tratamiento de neumáticos al final de su vida útil y desarrollo de nuevas tecnologías de valorización.

Es sumamente esencial concientizar sobre los roles y las responsabilidades de los stakeholders que interactúan en todo el proceso NFU, es un aspecto clave para poner en marcha un proyecto de reciclado de plantas NFU como el que se propone en este documento de investigación.

Tener en claro,

¿Cuál es la responsabilidad extendida del productor?

Tiene la responsabilidad del producto, incluyendo las fases post industrial y post consumo, considerando las etapas de recolección de sus residuos, transporte, acondicionamiento y valorización, de forma ambientalmente adecuada.

¿Qué es la responsabilidad compartida?

La gestión integral de los neumáticos es una corresponsabilidad social, requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de productores y su cadena comercial, generadores de NFU, operadores de NFU y municipalidades.

¿Cuáles son las principales responsabilidades aplicables a los generadores de NFU?

- ✓ Minimizar, segregar y almacenar los NFU dentro de sus instalaciones, de acuerdo con su plan de minimización y manejo de residuos sólidos no municipales, los cuales deben estar en concordancia con el plan de manejo de NFU del productor proveedor de neumáticos.
- ✓ Entregar los NFU de manera directa a los sistemas de manejo de NFU individual o colectivo; o en forma indirecta a través de los operadores de NFU encargados y autorizados por los sistemas de gestión y manejo de NFU.

¿Cuáles son las principales obligaciones aplicables a los productores de NFU?

- ✓ Diseñar, implementar y administrar sistemas de manejo de los NFU, de forma individual y/o colectiva.
- ✓ Presentar un Plan de Manejo de NFU a las autoridades nacionales, provinciales y o municipales cumpliendo los compromisos asumidos en él.
- ✓ Informar directamente a sus clientes, distribuidores y comercializadores sobre la forma adecuada de gestión y manejo de los NFU.
- ✓ Garantizar la gestión y manejo adecuado de los NFU hasta su valorización material y/o energética, en actividades económicas debidamente autorizadas.

¿Cuáles son las principales obligaciones aplicables a los distribuidores y comercializadores de neumáticos?

- ✓ Establecer de manera gratuita puntos de acopio de NFU, en coordinación con los sistemas de manejo y gestión de NFU.
- ✓ Entregar los NFU acopiados y almacenados temporalmente en sus puntos de distribución o comercialización a los sistemas de manejo de NFU autorizados por el MINAM.
- ✓ Difundir y sensibilizar a sus clientes sobre el adecuado manejo y entrega de NFU en puntos de acopio propios o de los sistemas de manejo de NFU.

¿Cuáles son las principales prohibiciones con respecto a los NFU?

- ✓ El abandono y/o entierro de NFU en todo el territorio nacional, ya sea en espacios públicos o privados.
- ✓ La quema o incineración de NFU.
- ✓ El uso de NFU como combustible, sin cumplir la normativa de emisiones

Fuentes bibliográficas

- Alonso, O. y Suárez, F. (2021). Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires. Girando hacia una economía circular. OPDS.
- AutoBield (31 de noviembre de 2010). ¿De dónde proviene el caucho? En t.ly/ySPP.
- Cámara de la Industria del Neumático (CIN), (s/f). Informes estadísticos: Consumo aparente. En t.ly/zBPM1.
- Cano Serrano, E., Cerezo García, L. y Urbina Fraile, M. (2008). Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso: Actualización. Universidad Carlos III de Madrid, Parque Científico de Leganés y FEDER. En t.ly/tM71
- Castañón, A.; García Grada, S.; Guerrero, A. y Gómez-Fernández, F. (2012). Estudio de las fases mineralógicas del Clinker en una cementera española, utilizando el método de rietveld. Revista Dyna, 79 (173), 41-47.
- CEMA (25 de marzo de 2014). Informe sobre recuperación energética de neumáticos fuera de uso en hornos de clínker. En t.ly/yrxok.
- Chimborazo Azogue, C. Y. y López, M. (2017). Trituración de neumáticos reciclados como desencadenantes en los procesos industriales en la Provincia de Tungurahua. Revista Publicando, 4(12), 427-439.
- EcoGreen (9 de abril de 2014). Incendios de llantas: lo que sucede cuando las llantas de desecho no se reciclan. En t.ly/Fnr9a.
- Epifanio, S. (8 de noviembre de 2020). Historia y evolución del neumático. Top Motor. En t.ly/3al6K.
- Ginestar, A. (29 de abril de 2021). Neumáticos en desuso: por qué son tan contaminantes y cómo reutilizarlos. MDZ. En t.ly/DIU9I.
- Kopytyński, W. R. (31 de octubre de 2019). Los residuos en la Economía Circular y la mirada hacia el 2030. ACDE Empresa. En t.ly/X80k.
- Hoyos Díaz, L. M., Puicon Herrera, K., y Muñoz Pérez, S. P. (2021). Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria. Infraestructura Vial, 23(41), 11-19.
- Page (2021). Informe final del Impacto Fiscal de la Ejecución del Plan Nacional de Economía Circular y Hoja de Ruta.
- Regímenes especiales de regulación de Perú, Chile y España.
- Pereyra, C. A. (8 de marzo de 2021). Michelin anuncia que sus neumáticos serán 100% sostenibles en 2050. Autoblog Motor 1. En t.ly/a6Z8e.

- RETEMA (25 de agosto de 2020). Combustible a partir de los neumáticos fuera de uso mediante pirólisis catalítica. En t.ly/2R1u.
- RIAR (7 de septiembre de 2022). Neumáticos Fuera de Uso (NFU) bajo un enfoque de economía circular. En t.ly/uskYw.
- Zarini, A. (2011). Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso (Tesis de Grado). Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

ANEXO: VALUACIÓN ECONÓMICA FINANCIERA – PLANTA NFU

Hoja Llave

Proyección - años	5 (cinco años vista)	
Moneda	USD	Dólar estadounidense
TC base	1292,62	Dólar MEP al cierre del 21/08/2024 según Diario La Nación
Capacidad instalada (6000 hs / 10000 tn)	1,67 tn/Hr	6.775 Toneladas por año con dos turnos de 8 hs (descontados 15 días feriados / semana de 5,5 días de 8 hs)
% capacidad instalada año 1	65%	Tasa de crecimiento año 2- 7%
		Tasa de crecimiento año 5 6%
rendimiento (neumaticos de auto)	74% caucho/negro de carbono	15% acero 11% fibras textiles
2 turnos de 8 horas: primer turno: 6 a 14hs, Segundo turno 13 a 21 hs (lunes a viernes y sabado medio día) No es horario nocturno ni es trabajo insalubre si se instala una campana que filtre aire por polvo o usan barbijos		

Inversion inicial

Inversión Inicial	Costo	Vida útil
Línea de trituración y separación de neumáticos usados (instalada y na	626.197	5
Equipos secundarios	535.870	5
Total de equipos primarios y secundarios	1.162.067	

Capital de trabajo

Creditos por ventas - días	30
Bienes de cambio - días	20
Cuentas por pagar - días	30

Precio de venta

	1	2	3	4	5
Precio de venta caucho USD/Kg	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340
Precio de venta acero USD/Kg	0,154	0,154	0,154	0,154	0,154 (a precio de chatarra de hierro 0,14 euros por kilo)

Costos

El costo refiere el combustible consumido con el camion propio para ir a retirar hasta 2 toneladas de neumaticos enteros por viaje (50 kms entre ida y vuelta) según el consumo del vehiculo

Se obtiene en mayormente en forma gratuita, en contraprestación se le otorgan certificados de correcta disposición final a los proveedores que nos abastecen.

Costo de material (costo de la recolección en camiones propios)	0,015 USD/Kg	
MOD	40 empleados para uso de la capacidad instalada en el año 1 (mas 2 empleados en administración y ventas)	
Energía	40 Kw/Tn de caucho procesad	0,1019 USD/Kw
Biggs bags o su equivalente en 40 bolsas de 25 kg	1 Por tn	9,98
Kg de caucho por biggs bag	1000	
Pallet de madera (1 para cada Big bag)		4,6

Gastos

	1	2	3	4	5
Gastos de comercialización	4,50%	4,50%	4,50%	4,50%	4,50% Informe de gestión empresa similar
Gastos de administración	7,00%	6,40%	6,10%	5,80%	5,62% Informe de gestión empresa similar

Impuestos

Tasa IIGG	30%
-----------	-----

Inversión Inicial

Equipamiento principal	Cantidad	Precio unitario U\$S	Total U\$S
Línea de trituración y separación de neumáticos usados (instalada y nacionalizada) Capacidad 10000 toneladas anuales / 6000 horas anuales. Producto final de 1 a 5 mm Requiere de 4 a 5 operarios por turno y de un espacio en planta de 370 metros cuadrados Incluye: Máquina trituradora de neumáticos de doble eje, Máquina separadora de cables de acero, Separador magnético, Trituradora de alta velocidad, Máquina de cribado vibratorio, Recolección de polvo de la línea de máquinas de reciclaje de neumáticos, Empacadoras de pesaje automático	1	626.197,00	626.197,00
Equipos secundarios e instalaciones			
Equipos de acción directa			
Autoelevador	1	27.945,00	27.945,00
Traspaleta manual	2	361,28	722,56
Traspaleta elevadora electrica	1	5.919,06	5.919,06
Balanza electrónica de piso (1,2 x 1,2 mt)	1	2.500,00	2.500,00
Flejadora	1	466,00	466,00
Equipo electrógeno	1	46.575,00	46.575,00
Contenedores plásticos 1100 lts para residuos	2	683,11	1.366,22
Contenedores metálicos volcadores 1000 lts	2	2.703,06	5.406,11
Camion Mercedes-benz Accelo 815/39 o 1721/48 carrozado (capacidad carga 4900 kg)	4	100.000,00	400.000,00
Racks para pallets	50	186,00	9.300,00
Prevención y control			
Kit videovigilancia	1	1.863,00	1.863,00
Kit alarma con sendórica perimetral e interior	1	932,00	932,00
Racks central LAN + seguridad	1	4.658,00	4.658,00
Matafuegos ABC 5 kg	15	80,00	1.200,00
Puntos acceso en planta	1	4.658,00	4.658,00
Mantenimiento de planta y equipos			
Soldadora semi	1	932,00	932,00
Amoladora de banco + manual	1	373,00	373,00
Set de herramientas, manuales + caja	1	1.863,00	1.863,00
Set de herramientas Eléctricas + caja	1	1.863,00	1.863,00
Compresor 50 litros	1	373,00	373,00
Set de pintura con soplete + mampostería	1	559,00	559,00
Mesa de trabajo	1	559,00	559,00
Escritorio + silla + pc	1	1.863,00	1.863,00
Aire acondicionado	1	932,00	932,00
Espacios de soporte			
Escritorio + silla + pc oficina Jefatura de producción	1	1.863,00	1.863,00
Aire acondicionado oficina de jefatura	1	932,00	932,00
Escritorio + silla + pc oficina recepción y Expedición	1	1.863,00	1.863,00
Aire acondicionado oficina recepción	1	932,00	932,00
Estanterías para Pañol de insumos y repuestos	1	3.726,00	3.726,00
Armarios pañol de insumos y repuestos	1	1.863,00	1.863,00
Escritorio+silla+pc para pañol de insumos y repuestos	1	1.863,00	1.863,00
Total de equipos secundarios			535.869,96
Total de equipos primarios y secundarios			1.162.066,96

Proyección de Ventas

	1	2	3	4	5
Capacidad productiva maquinaria (2 turnos)	6.775	6.775	6.775	6.775	6.775
Uso de la capacidad instalada (2 turnos)	65%	70%	75%	80%	85%
Toneladas de venta caucho proyectada (big bags y paquetes)	3.259	3.493	3.745	4.015	4.259
Toneladas de venta acero proyectada (granel)	661	708	759	814	863
Toneladas de venta fibras proyectada (granel)	484	519	557	597	633
Precio de venta caucho	340,00	340,00	340,00	340,00	340,00
Precio de venta acero	154,00	204,00	204,00	204,00	204,00
Precio de venta fibras textiles (para aislante térmico acústico)	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
Ventas USD caucho	1.107.984	1.187.758	1.273.277	1.364.953	1.448.215
Ventas USD acero	101.727	144.457	154.858	166.008	176.134
Ventas USD fibras	2.984	3.199	3.429	3.676	3.900
Ventas USD	1.212.694	1.335.414	1.431.564	1.534.637	1.628.250

Proyección de Costos

Capacidad de procesamiento (2 turnos)	6.775	6.775	6.775	6.775	6.775
Uso de la capacidad de procesamiento	65%	70%	75%	80%	85%
<u>Costo de materia prima</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Merma	3%	3%	3%	3%	3%
Toneladas netas de merma a comprar o recolectar	4.404	4.721	5.061	5.425	5.756
Precio USD/Tn (Costo de la recolección con camiones pi	14,88	14,88	14,88	14,88	14,88
Costo de materia prima (merma incluida en el costo)	67.471	72.329	77.537	83.119	88.189
<u>Mano de obra directa</u>					
<u>Cantidad de empleados</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
MOD -q empleados	40	40	45	45	46
Oficial A	8	8	10	10	10
Oficial B	14	14	16	16	16
Especializado	18	18	19	19	20
<u>Sueldo promedio</u>					
Oficial A	630	630	630	630	630
Oficial B	670	670	670	670	670
Especializado A	750	750	750	750	750
Salario Bruto MOD mensual	27.920	27.920	31.270	31.270	32.020
contribuciones %	19,5%	19,5%	19,5%	19,5%	19,5%
Aportes USD	5.444	5.444	6.098	6.098	6.244
Costo salario mensual	33.364	33.364	37.368	37.368	38.264
Uniformes y elementos de protección	8.000	8.000	9.000	9.000	9.200
Costo MOD anual	441.737	441.737	494.779	494.779	506.631
<u>Energía</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Consumo Kw	176.150	188.833	202.429	217.004	230.241
Costo USD/Kw	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Costo Energía	17.950	19.242	20.627	22.113	23.462
<u>Insumos y repuestos</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
Big bags o costo de 40 bolsas de 25 kg por tn	32.519	34.861	37.371	40.061	42.505
Pallets	15.126	16.215	17.383	18.635	19.771
Costo de Insumos y repuestos maquinarias	47.646	51.076	54.754	58.696	62.276
TOTAL	574.803	584.384	647.697	658.707	680.558

Solo el caucho se vende en big bags o bolsas de 25 kg, resto venta a granel

Proyección de Costos (continuación)

	Año 1			Año 2			Año 3			Año 4			Año 5		
	Turno 1	Turno 2	Turno noche	Turno 1	Turno 2	Turno noche	Turno 1	Turno 2	Turno noche	Turno 1	Turno 2	Turno noche	Turno 1	Turno 2	Turno noche
Operarios de planta	5	5		5	5		5	5		5	5		5	5	
Jefe de planta	1	1		1	1		1	1		1	1		1	1	
Seguridad ingreso / recepción	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
empleados deposito producto terminado y materias primas	3	3		3	3		4	3		4	3		5	3	
Conductores	4	4		4	4		5	5		5	5		5	5	
Peon	4	4		4	4		5	5		5	5		5	5	
Limpieza	1			1			1			1			1		
Mantenimiento		1	1		1	1		1	1		1	1		1	1
	19	19	2	19	19	2	22	21	2	22	21	2	23	21	2
	40			40			45			45			46		

Dos empleados de administración y ventas se encuentran incluidos en los gastos de administración y comercialización

	2	2	3	3	3
Mínimo empleo	42	42	48	48	49

Calculo de viajes y camiones necesarios	Año				
	1	2	3	4	5
Cantidad de semanas al año	52	52	52	52	52
Días habiles	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Feridos	15	15	15	15	15
Viajes mínimos por turno de trabajo	2	2	2	2	2
Capacidad de carga en toneladas (200 neumaticos) por viaje	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Turnos diarios de conductores y peones	2	2	2	2	2
Compras proyectadas (incluye merma)	4.536	4.862	5.213	5.588	5.929
Rendimiento del 2do turno por limitación horaria	75%	75%	75%	75%	75%
Maximo teórico anual por camión en los turnos programados	1.233	1.233	1.233	1.233	1.233
Cantidad de camiones necesarios para los turnos estipulados	3,7	3,9	4,2	4,5	4,8
Redondeo para arriba	4	4	5	5	5

Proyección de Gastos

	1	2	3	4	5
Gastos de administración	7,00%	6,40%	6,10%	5,80%	5,62%
Gastos de administración	84.889	85.467	87.325	89.009	91.508
Gastos de comercialización	4,50%	4,50%	4,50%	4,50%	4,50%
Gastos de comercialización	54.571	60.094	64.420	69.059	73.271
Seguros vehículos y contra incendio o robo pl.	17.431	17.431	18.931	18.931	18.931
Alquiler planta industrial	79200	79200	79200	79200	79200
Repuestos maquinarias principales	18.786	18.786	18.786	21.917	21.917

Calculo de Amortizaciones

Galpon	1	-	No amortiza
<u>Equipamiento</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo</u>	<u>Vida útil - años</u>
Línea de trituración y separación de neumáticos u:	1	626.197	5
Equipamiento secundario	1	522.828	5
Equipamiento de oficina	1	13.042	3
Total		1.162.067	
Acondicionamiento inicial de la nave industrial en alquiler o c		85.000	
<u>Capital de trabajo</u>			
Creditos por ventas - días	30		
Bienes de cambio - días	20		
Cuentas por pagar - días	30		
Capital de trabajo inicial USD		97.825	
Ciclo de capital de trabajo - Días	20		
Inversion Inicial total		1.344.892	

Amortización

	1	2	3	4	5
	125.239	125.239	125.239	125.239	125.239
	104.566	104.566	104.566	104.566	104.566
	4.347	4.347	4.347	-	-
	234.152	234.152	234.152	229.805	229.805
	1	2	3	4	5
	99.673	109.760	117.663	126.135	133.829
	3.697	3.963	4.249	4.554	4.832
	5.546	5.945	6.373	6.832	7.248
	97.825	107.778	115.539	123.857	131.413
		9.953	7.760	8.319	7.555

Amortización acumulada

1	2	3	4	5
125.239	250.479	375.718	500.958	626.197
104.566	209.131	313.697	418.262	522.828
4.347	8.695	13.042	13.042	13.042
234.152	468.305	702.457	932.262	1.162.067

Saldo Maquinaria y equipamiento

1	2	3	4	5
500.958	375.718	250.479	125.239	-
418.262	313.697	209.131	104.566	-
8.695	4.347	-	-	-
927.915	693.762	459.610	229.805	-

Estado de resultados

P&L	1		2		3		4		5		
Venta	1.212.694		1.335.414		1.431.564		1.534.637		1.628.250		
Costo	-574.803	-47%	-584.384	-44%	-647.697	-45%	-658.707	-43%	-680.558	-42%	
Margen Bruto	637.891	53%	751.030	56%	783.867	55%	875.930	57%	947.692	58%	55,8%
Gastos de comercializacion	-54.571	-5%	-60.094	-5%	-64.420	-5%	-69.059	-5%	-73.271	-5%	
Gastos de Administracion	-84.889	-7%	-85.467	-6%	-87.325	-6%	-89.009	-6%	-91.508	-6%	
Alquiler planta industrial	-79.200	-7%	-79.200	-6%	-79.200	-6%	-79.200	-5%	-79.200	-5%	
Seguros planta y vehículos	-17.431	-1%	-17.431	-1%	-18.931	-1%	-18.931	-1%	-18.931	-1%	
Repuestos maquinarias	-18.786	-2%	-18.786	-1%	-18.786	-1%	-21.917	-1%	-21.917	-1%	
Otros gastos operativos	-17.244	-1%	-17.532	-1%	-19.431	-1%	-19.761	-1%	-20.417	-1%	
Amortizaciones	-234.152	-19%	-234.152	-18%	-254.152	-18%	-249.805	-16%	-269.805	-17%	
Impuestos	-60.635		-66.771	-5%	-71.578	-5%	-76.732	-5%	-81.412	-5%	
Resultado Operativo	70.983	6%	171.598	13%	170.043	12%	251.516	16%	291.231	18%	13,0%
Intereses financieros	-55.995	-5%	-45.534	-3%	-34.092	-2%	-21.577	-1%	-7.888	0%	
Rdo antes de impuestos	14.988	1%	126.064	9%	135.951	9%	229.939	15%	283.343	17%	10,5%
IIGG	-21.295	-2%	-51.480	-4%	-51.013	-4%	-75.455	-5%	-87.369	-5%	
Resultado del ejercicio	-6.307	-1%	74.585	6%	84.938	6%	154.484	10%	195.973	12%	6,6%
EBITDA	305.135	25%	405.751	30%	424.195	30%	501.321	33%	561.036	34%	

Impuesto a los Ingresos Brutos 5% 5% 5% 5% 5%

PN	1	2	3	4	5
Aporte inicial	672.446	672.446	672.446	672.446	672.446
Resultados acumulados	-6.307	68.278	153.216	307.700	503.673
Patrimonio Neto	666.139	740.724	825.662	980.146	1.176.119

Cash Flow proyectado y medidas de rentabilidad

	0	1	2	3	4	5	
Inversión Inicial	-1.344.892			-100.000			
Ventas		1.212.694	1.335.414	1.431.564	1.534.637	1.628.250	
Costo de Ventas		-574.803	-584.384	-647.697	-658.707	-680.558	
Gastos Operativos		-332.756	-345.279	-359.672	-374.609	-386.656	
Variación de Capital de Trabajo		-	-9.953	-7.760	-8.319	-7.555	
Impuesto a las Ganancias		-21.295	-51.480	-51.013	-75.455	-87.369	
FF neto de la Inversión	-1.344.892	283.840	344.318	265.422	417.547	466.111	466.111
Perpetuidad						3.386.383	Perpetuidad
Flujo de fondos libre	-1.344.892	283.840	344.318	265.422	417.547	3.852.494	

En el año 3 se incorpora un camión

Perpetuidad $\frac{FCF(n+1)}{WACC-g}$
 tasa de crecimiento 0,0%

WACC: Weigtghted Average Cost of Capital, costo promedio ponderado de capital.

Tasa de reinversión -WACC 13,76%

Con perpetuidad

TIR	38,7%	Se acepta
TIR Modificada	33,3%	Se acepta
VAN	1.621.873	Se acepta

1.777.078	Perpetuidad Actualizada
1.621.873	VAN
110%	Perpetuidad / VAN

Payback descontado	5,72
--------------------	------

	0
TIR	9,24%
TIR Modificada	11,01%
VAN	-155.205

6,04	Perpetuidad / EBITDA (año 5)
2,08	Perpetuidad / Ventas año 5

Coefficiente sobre Inversión Inicial 1,309 **Se acepta** El coeficiente es mayor a 1 => se acepta el proyecto.
Relación Costo Beneficio 0,309
Indice Ingresos - Egresos 131%

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
FF neto de la Inversión	-1.344.892	283.840	344.318	265.422	417.547	466.111	466.111	466.111	466.111
FF neto descontado	-1.344.892	249.499	266.040	180.268	249.277	244.602	215.008	188.994	166.128
FF acumulado neto descontado	-1.344.892	-1.095.393	-829.353	-649.084	-399.807	-155.205	59.802	248.796	414.924
		1	1	1	1	1	0,722	-	-

Ingresos al momento 0 1.759.816
 Egresos al momento 0 -1.344.892

PayBack descontado 5,72 años

Cuadro de marcha y flujo de fondos de la deuda

Solicitud de prestamo	672.446		
Amortizacion	Sistema Frances		
Plazo años	5		
Cantidad de cuotas	60		
Tasa anual	9,0%	0,75%	

Cuadro de Marcha

N° de cuota	Capital al inicio de pei	Amortización	Intereses del período	Cuota
1	672.446	8.916	5.043	13.959
2	663.530	8.982	4.976	13.959
3	654.548	9.050	4.909	13.959
4	645.498	9.118	4.841	13.959
5	636.381	9.186	4.773	13.959
6	627.195	9.255	4.704	13.959
7	617.940	9.324	4.635	13.959
8	608.615	9.394	4.565	13.959
9	599.221	9.465	4.494	13.959
10	589.756	9.536	4.423	13.959
11	580.221	9.607	4.352	13.959
12	570.614	9.679	4.280	13.959
13	560.934	9.752	4.207	13.959
14	551.182	9.825	4.134	13.959
15	541.357	9.899	4.060	13.959
16	531.459	9.973	3.986	13.959
17	521.486	10.048	3.911	13.959
18	511.438	10.123	3.836	13.959
19	501.315	10.199	3.760	13.959
20	491.116	10.276	3.683	13.959
21	480.840	10.353	3.606	13.959
22	470.488	10.430	3.529	13.959
23	460.058	10.508	3.450	13.959
24	449.549	10.587	3.372	13.959
25	438.962	10.667	3.292	13.959
26	428.295	10.747	3.212	13.959
27	417.549	10.827	3.132	13.959
28	406.721	10.908	3.050	13.959
29	395.813	10.990	2.969	13.959
30	384.823	11.073	2.886	13.959
31	373.750	11.156	2.803	13.959
32	362.594	11.239	2.719	13.959
33	351.355	11.324	2.635	13.959
34	340.031	11.409	2.550	13.959
35	328.622	11.494	2.465	13.959
36	317.128	11.580	2.378	13.959
37	305.548	11.667	2.292	13.959
38	293.881	11.755	2.204	13.959
39	282.126	11.843	2.116	13.959
40	270.283	11.932	2.027	13.959
41	258.351	12.021	1.938	13.959
42	246.330	12.111	1.847	13.959
43	234.218	12.202	1.757	13.959
44	222.016	12.294	1.665	13.959
45	209.722	12.386	1.573	13.959
46	197.337	12.479	1.480	13.959
47	184.858	12.572	1.386	13.959
48	172.285	12.667	1.292	13.959
49	159.618	12.762	1.197	13.959
50	146.857	12.857	1.101	13.959
51	133.999	12.954	1.005	13.959
52	121.045	13.051	908	13.959
53	107.994	13.149	810	13.959
54	94.845	13.248	711	13.959
55	81.598	13.347	612	13.959
56	68.251	13.447	512	13.959
57	54.804	13.548	411	13.959
58	41.256	13.649	309	13.959
59	27.607	13.752	207	13.959
60	13.855	13.855	104	13.959

Flujo de fondos de la deuda

	1	2	3	4	5
Intereses	55.995	45.534	34.092	21.577	7.888
Amortización de capital	111.512	121.972	133.414	145.929	159.618

Cálculo del WACC

Estructura de Capital	D/E Target	1	
	Financiación de terceros	50%	
	Financiación propia	50%	
Costo de deuda	Kd	9,0%	O.N. YPF CLASE XVII 2029 cupón 9%
	t	30%	
	Kd*(1-t)	6,3%	
Costo Equity	Rf (22/08/2024)	3,86%	https://www.cnbc.com/quotes/US10Y
	Riesgo país p.b.	1,560	https://www.rava.com/perfil/riesgo%20pais
	Prima por riesgo país Argentina	15,60%	
	Beta	0,43	
	Equity Risk Premium		https://media.licdn.com/dms/image/D5622AQEolG6AzLaOIA/feedshare-shrink_2048_1536/0/1719875054733?e=1726704000&v=beta&t=RIIdLfoGXl33yAoISmr56yTci2ceOCZFI8Dcmi7d5N4
	Ke	4,11%	https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7213678824704630785/
	Beta		
	Beta Levered	0,67	https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/Betas.html
	D/E (asociado al Beta)	2,35	
	Beta Unlevered (β_u)	0,25	Unlevered beta corrected for cash 0,26 Rubber& Tires sector
Target D/E	1		
Beta Re-levered (β_e)	0,43		
WACC	Tasa de Descuento	13,76%	

El promedio de los últimos 10 años es de 1394

https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7213678824704630785/

Rubber& Tires