

44 Jornadas Nacionales de Administración Financiera
Septiembre 19 y 20, 2024

Proyección y gestión en el tratamiento de residuos de caucho

Análisis financiero de planta recicladora de NFU

Gabriel L. Sánchez
Gustavo Tapia, Daniel Miliá,
Gabriel Feldman, Graciela Fuertes
Guillermo Monteverde,
David Ruíz Díaz, Mariel Balmaceda

Universidad de Buenos Aires

Para comentarios:
glsanchez87@gmail.com

SUMARIO

1. Introducción
2. Panorama global de la gestión de NFU.
Desafíos y oportunidades
3. Aspectos normativos en Argentina
4. Situaciones críticas. Problemas
5. Alternativas de recuperación
6. Propuesta de planta recicladora
7. Conclusiones

Resumen

Este trabajo aborda la problemática de los neumáticos fuera de uso (NFU), explorando sus impactos ambientales, las regulaciones existentes, las situaciones críticas, las propuestas de solución y las aplicaciones del caucho reciclado.

Se pretende analizar el diseño e implementación en Argentina de una planta de reciclaje de caucho vulcanizado que produzca caucho sintético molido de alta calidad a partir de neumáticos usados.

Se examina el triple impacto económico - social - ambiental del reciclado de residuos de los NFU y se evalúa las acciones estratégicas y soluciones a los problemas socioambientales.

Se comienza con un análisis del panorama global de la situación de los NFU en algunos países de Iberoamérica (como Ecuador, Uruguay, Perú, España, Chile y Argentina) resaltando las diferentes regulaciones, estrategias de gestión, iniciativas de reciclaje y empresas que operan en el sector.

Luego se estudia en profundidad la situación en Argentina. En este país los NFU superan las 130.000 toneladas anuales que se acumulan en basurales a cielo abierto o se queman liberando el famoso “humo negro” que emite mercurio, plomo y dióxido de carbono generando grandes daños a la capa de ozono. 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 unas 40.000 toneladas anuales de NFU.

Actualmente, esos NFU no reciben ningún tipo de tratamiento ni cuidados; simplemente, son arrojados a la vía y espacios públicos, basurales, desagües, cursos de agua; lo que constituye un grave problema para el ambiente y la salud pública.

En lo que respecta a la legislación vigente, en Argentina no existe una ley de responsabilidad extendida del productor (REP) específica para los NFU.

Se observa que la Argentina está atrasada en ese sentido ya que la región avanzó más en legislación: Chile, Uruguay, Ecuador y Brasil tienen leyes de responsabilidad extendida del productor en las que quien produce también debe hacerse cargo de la disposición final.

Se destaca que existe un proyecto de ley, Presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión de neumáticos fuera de uso, que tuvo su media sanción en el Senado de Argentina en el año 2021 pero luego perdió estado parlamentario en la Cámara de Diputados. 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.

Otro de los principales obstáculos consiste en que los NFU tienen diversas dificultades para su traslado y disposición final. El costo de transportar neumáticos es relativamente elevado debido a que “se traslada aire”: sólo un 35 % del volumen de los neumáticos es tangible. Por otro lado, si se depositan sin control o en basurales a cielo abierto, pueden constituirse en un refugio de animales e insectos que pueden ser vectores de enfermedades tales como el dengue, el zika, la chikungunya, la leishmaniasis y otras.

En el trabajo se exploran diferentes alternativas de recuperación de NFU, incluyendo el recapado para extender la vida útil de los neumáticos, la utilización en obras de infraestructura, la desvulcanización para recuperar el caucho (con limitaciones en la calidad), la trituración mecánica para obtener caucho granulado o polvo de caucho, la trituración criogénica (más eficiente pero con mayores costos), la pirólisis para obtener productos gaseosos, líquidos y sólidos, y el coprocesamiento en hornos cementeros.

Propuesta: El proyecto consiste en ofrecer una propuesta sustentable al tratamiento y reciclaje neumáticos fuera de uso (NFU). Brindará una solución a la problemática ambiental y sanitaria a través de la recolección, acopio y revalorización de los mismos. Se promoverá el acceso al mercado de caucho de estireno butadieno (SBR) granulado para diferentes usos y se analizará la conveniencia de contar con una planta industrial en la que se triturarán los residuos en forma mecánica.

Es importante destacar que el granulado que se produce en el país es insuficiente, y muchas veces se tiene que importar ya que hay más demanda que oferta.

Otro aspecto importante a considerar es que actualmente existe capacidad instalada para tratar NFU, pero estos no llegan a cubrir el cupo disponible para la recuperación en las plantas de tratamiento o cementeras, por lo que hay capacidad ociosa.

El proyecto tiene por finalidad promover el reciclado de residuos dando solución de triple impacto: económica, social y ambiental.

La planta se ubicará estratégicamente en una zona equidistante al área del AMBA. Su estructura modular y escalable le permite adaptarse a la demanda y las normativas cambiantes, mientras que la tecnología avanzada garantiza un proceso eficiente. La logística se basa en una flota de vehículos para la recolección de NFU y la entrega de productos.

En el trabajo se realiza un análisis financiero detallado que demuestra la viabilidad del proyecto. Los ingresos provienen de la venta de caucho granulado, acero reciclado y fibras textiles, mientras que los costos incluyen materias primas, mano de obra, energía, logística y gastos generales. La inversión inicial es de USD 1.344.892, con una tasa de costo de capital (wacc) del 13,76 %. El proyecto presenta una TIR del 38,37 %, un VAN de 1.621.873 USD y un plazo de recuperación de 5,72 años, lo que demuestra la rentabilidad y viabilidad de la inversión.

Con la implementación de esta planta de reciclaje se estaría dando tratamiento a 5.756 TN de NFU en el año 5, es decir, una tasa del 4,4 %. Se debe destacar que la capacidad de la planta es de 10.000 TN por lo que la tasa máxima sería de 7,7 %. No obstante, esta planta, por sus características, superficie, tipo de actividad, equipamiento y de proceso productivo, es replicable en la mayoría de los centros urbanos de nuestro país, razón por la cual la tasa de contribución podría ser aún mayor en caso de que se replique en otras zonas.

1. Introducción

Los neumáticos son elementos esenciales para la movilidad, permitiendo a los vehículos desplazarse de forma segura y eficiente sobre diversas superficies. Consisten en una cubierta de caucho que contiene aire a presión, soportando el peso del vehículo y su carga. Su invención se atribuye a Charles Goodyear, quien descubrió el proceso de vulcanización en 1880, otorgando al caucho la resistencia y flexibilidad necesarias para la fabricación de neumáticos (Díaz, 2008). Sin embargo, al finalizar su vida útil, los neumáticos se convierten en un residuo complejo que presenta un desafío para la gestión ambiental. Los neumáticos fuera de uso (NFU), aquellos que ya no cumplen con los estándares de seguridad y rendimiento para su uso en vehículos, constituyen un problema ambiental creciente debido a su baja biodegradabilidad, que puede tardar más de 600 años en descomponerse (Mobilio, 2020). Además de la ocupación de espacio en vertederos, los NFU generan diversos riesgos, como la contaminación del suelo y las aguas subterráneas, la proliferación de vectores de enfermedades como los mosquitos, y la posibilidad de incendios con la emisión de gases tóxicos (Díaz, 2008; Mobilio, 2020).

La acumulación de NFU genera un problema ambiental global, con cifras alarmantes que superan los 250 millones de neumáticos al año en Estados Unidos, 25 millones en el Reino Unido, y entre 250.000 y 300.000 toneladas en España (Díaz, 2008). En Argentina, se desechan más de 130.000 toneladas de NFU anualmente, de las cuales el 90 % no recibe un tratamiento adecuado, terminando en basurales o incinerados, liberando sustancias tóxicas al medio ambiente (Mobilio, 2020; Utopiaurbana, 2022). Estos datos ponen de manifiesto la necesidad urgente de abordar la problemática de los NFU, impulsando la búsqueda de soluciones que promuevan su reutilización, reciclaje y valorización, contribuyendo así a la construcción de un modelo de economía circular más sostenible.

En este contexto, este trabajo de investigación ofrece una propuesta sustentable al tratamiento y reciclaje Neumáticos Fuera de Uso (NFU) a través de una planta industrial en la que se triturarán los residuos en forma mecánica. Brindará una solución a la problemática ambiental y sanitaria a través de la recolección, acopio y revalorización de los mismos. Se promoverá el acceso al mercado de caucho de estireno butadieno (*SBR*) granulado para diferentes usos dando solución que tiene triple impacto: económica, social y ambiental.

2. Panorama global de la gestión de NFU.

Desafíos y oportunidades

A continuación se presenta un análisis de la situación en España, Uruguay, Chile, Ecuador, Perú y Argentina, destacando las regulaciones, estrategias de gestión y desafíos que enfrenta cada país.

España. 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).

Este Real Decreto se desarrolló con la participación de los principales fabricantes de neumáticos, distribuidores, gestores y otros sectores, creando la entidad sin ánimo de lucro SIGNUS Ecovalor quien gestiona aproximadamente dos tercios de las 300.000 toneladas de neumáticos fuera de uso que se generan anualmente en España, destinando un 12 % a la reutilización y el resto al reciclaje y la valorización (Ecogestionar, 2022). Sin embargo, el principal destino del granulado de caucho reciclado (50 %) -el relleno de campos de fútbol de césped artificial- se encuentra en riesgo de prohibición debido a las restricciones impuestas por la Comisión Europea sobre los microplásticos (Ecogestionar, 2022).

Uruguay. Uruguay ha implementado el Plan Geneu (Gestión de Neumáticos Usados), un Plan Maestro de Gestión de Neumáticos y Cámaras Fuera de Uso aprobado por DINAMA a través de la resolución 451/2016. El plan busca el tratamiento y la valorización de los NCFU, cumpliendo con los requisitos del decreto 358/2015 de DINAMA y generando un proceso eficiente de planificación, implementación y control del flujo de los NFU, desde el punto de eliminación al punto de procesamiento, resolviendo la problemática ambiental y sanitaria que generan.

Chile. Chile enfrenta el desafío de gestionar aproximadamente 180.000 toneladas de neumáticos fuera de uso al año, de las cuales sólo se recicla el 17 %. La Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) ha incluido a los neumáticos como producto prioritario, lo que ha impulsado la creación de empresas como Resur S.A. (LinkedIn, 2024). Resur S.A. se enfoca en la valorización de los NFU a través de procesos responsables y sostenibles, implementando un modelo de economía circular que procesa los materiales recopilados para reintegrarlos como nuevas materias primas.

Ecuador. La problemática de los NFU en Ecuador se caracteriza por una generación anual de 2.4 millones de neumáticos, los cuales contaminan fuentes hídricas, márgenes de vías y terrenos baldíos (Cárdenas Peralta y Guncay Bustos, 2023). En respuesta a esta situación, en el cantón Rumiñahui (Provincia de Pichincha) se han implementado rutas de recolección para todos los generadores de llantas usadas, almacenándolas temporalmente en un centro de acopio para su posterior separación y gestión. Las llantas en buen estado se destinan al reencauche, mientras que las que no son aptas para este proceso se utilizan en obras civiles, la elaboración de productos artesanales y su aprovechamiento energético (Carrillo Flor y Córdova Tafur, 2012). El Ministerio del Ambiente del Ecuador (2013) ha establecido normas para la gestión de NFU a través de un Plan para Neumáticos Usados, basado en la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que obliga a los productores e importadores a gestionar los neumáticos al final de su vida útil. El Acuerdo Ministerial 098 (2015) fortalece este principio, estableciendo la responsabilidad de los productores e importadores durante todo el ciclo de vida del neumático, incluyendo su disposición final (Mayorga Cárdenas et al., 2020, pág. 45).

Perú. Perú enfrenta un incremento significativo en la generación de NFU, con un crecimiento de las importaciones de neumáticos de 55.673 toneladas en 2014 a 92.659 toneladas en 2018 (Ministerio del Ambiente, 2024). La problemática se caracteriza por la falta de infraestructura, la presencia de actividades informales de reciclaje y la inadecuada disposición de los NFU.

El Ministerio del Ambiente (2024) ha definido un Régimen Especial de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) que busca priorizar la valorización de los neumáticos a través del reciclaje, la trituración, el picado, el reencauche, la reparación, el coprocesamiento y otras alternativas disponibles en el mercado. Para asegurar una gestión responsable y evitar posibles afectaciones al ambiente y la salud, el régimen promueve el manejo diferenciado de los NFU bajo el principio de REP.

Argentina. 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 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 (Utopía Urbana, 2022). Solo hay tres plantas especializadas en reciclaje de neumáticos en el país y no funcionan a pleno porque no les llega suficiente material (iProfesional, 2024).

3. Aspectos normativos en Argentina

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. (iProfesional, 2024)

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 (iProfesional, 2024).

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, perdiendo estado parlamentario en la Cámara de Diputados. (Futurosustentable, 2022)

En lo que respecta a la legislación vigente, en Argentina no existe una ley de responsabilidad extendida del productor (REP) específica para los NFU. Se observa que la Argentina está atrasada en ese sentido ya que la región avanzó más en legislación: Chile, Uruguay, Ecuador y Brasil tienen leyes de responsabilidad extendida del productor en las que quien produce también debe hacerse cargo de la disposición final.

4. Situaciones críticas. Problemas

La problemática de los neumáticos fuera de uso (NFU) en Argentina se presenta como una situación crítica con implicaciones ambientales y sanitarias de gran magnitud. La generación de NFU supera las 130.000 toneladas anuales, y el 90 % de estos neumáticos terminan en basurales a cielo abierto, terrenos periurbanos, cauces de agua o se queman, contaminando el suelo, el aire y el agua, y facilitando la proliferación de vectores transmisores de enfermedades zoonóticas (iProfesional, 2024). 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 (iProfesional, 2024).

La acumulación de NFU presenta un peligro de incendio latente debido a su alta combustibilidad. Los neumáticos pueden arder durante meses, incluso años, generando residuos tóxicos y dificultando la limpieza. La acumulación de neumáticos enteros incrementa este riesgo, ya que atrapan metano, exacerbando el peligro de incendio (Ecogreen Equipment, 2023).

Los NFU también representan una amenaza para la salud pública. La falta de gestión adecuada de residuos, incluyendo los NFU, crea condiciones propicias para la proliferación de plagas y enfermedades. Los neumáticos abandonados, al acumular agua, se transforman en criaderos ideales para mosquitos como el *Aedes aegypti*, vector del dengue. La rápida reproducción de estos mosquitos, con ciclos de desarrollo de 10 a 14 días, incrementa el riesgo de enfermedades como dengue, chikungunya, fiebre amarilla y encefalitis (Ecogreen Equipment, 2023).

Uno de los principales obstáculos para la gestión adecuada de los NFU en Argentina radica en la logística inversa necesaria para recolectarlos y transportarlos a las plantas de procesamiento. La coordinación entre consumidores finales, gobiernos y empresas privadas para la recolección eficiente de los neumáticos se convierte en un cuello de botella (Fagundes et al., 2017). Se requiere una acción conjunta para implementar sistemas de recolección regulares y sin costo inicial para los comercios participantes. Además, es fundamental que el sector público establezca un control y exija el cumplimiento de la normativa vigente por parte de los comercializadores (Martínez Gallego, 2019).

La falta de una legislación específica que regule la Responsabilidad Extendida del Productor (REP) para los neumáticos en Argentina genera otro obstáculo importante. La ausencia de una

ley de REP dificulta la organización de un sistema de gestión ordenado de los NFU a nivel nacional, con asignación precisa de los costos y responsabilidades (Alonso, 2022).

En cuanto a la logística, la distancia entre los puntos de generación de NFU y las plantas de procesamiento genera costos de transporte elevados, lo que desalienta la recolección por parte de los municipios y afecta la rentabilidad de los transformadores (Alonso, 2022).

La dependencia de grandes generadores como los fabricantes de neumáticos, las empresas de transporte y los municipios crea inestabilidad en el suministro, mientras que la recolección de particulares y pequeñas empresas resulta costosa y compleja (Alonso, 2022). Además, el costo de los equipos de triturado y granulado representa una barrera importante para la entrada de nuevas empresas al sector (Alonso, 2022).

5. Alternativas de recuperación

5.1 Reconstrucción

Los neumáticos pueden ser reacondicionados, permitiendo la reutilización, colocándose una nueva capa de rodamiento, lo que permite extender su vida útil y evita que se conviertan en NFU (Saidón y Sorroche, 2024).

De acuerdo con las definiciones de la norma conjunta Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) 113323 y Mercado Común 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: el neumático es reconstruido por sustitución de su banda de rodamiento
- 2) Recauchutado: el neumático es reconstruido por sustitución de su banda de rodamiento y de sus hombros.
- 3) Remoldeado: el 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

En Argentina, la Disposición 352/06 de la Agencia de Seguridad Vial y sus sucesivas modificatorias prohíben el recapado en los vehículos de menor envergadura (autos y camionetas).

Los neumáticos que pueden ser reconstruidos son los neumáticos de camión, micros, colectivos, tractores o maquinaria agrícola, industrial o minera debido a que estos neumáticos suelen ser más grandes y robustos. En cambio, las empresas de transporte de petróleo y combustibles no reconstruyen sus neumáticos (por razones de seguridad), y el sector público (bomberos, gendarmería, ejército y prefectura) también suele optar por neumáticos nuevos (Alonso, 2022).

A la reconstrucción la suelen realizar las propias empresas que fabrican o importan los neumáticos, y es recomendable, por razones técnicas, no hacerlo más de tres o cuatro veces, aun cuando la legislación no establece limitantes sobre cuántas veces pueden reconstituirse (Saidón y Sorroche, 2024).

5.2 Recuperación-ingeniería civil

En la recuperación para usos en ingeniería civil se utilizan NFU enteros o triturados, granulado de caucho, miga y polvo de caucho.

Entre las principales aplicaciones están (Alonso, 2022):

- Uso en agricultura (sostén de silopuentes, geoceldas para accesos de instalaciones y otros usos, etc.).
- Rompeolas, Barreras de erosión, Protección de costas, Construcción de vertederos, etc.

5.3 Desvulcanización

La desvulcanización es un proceso químico o físico que busca revertir la vulcanización del caucho. Se trata de romper los enlaces que dan al caucho su resistencia y flexibilidad, para poder volver a procesarlo y utilizarlo en otras aplicaciones.

Puede llevarse a cabo por medio de procesos:

- Físicos: aplicación de altas temperaturas y ultrasonidos
- Químicos: agentes químicos en un proceso de catálisis.

El caucho que se obtiene es de menor calidad que el caucho original, por lo que todavía no puede utilizarse para la fabricación de nuevos neumáticos.

A pesar de ello, en 2018 la empresa Pirelli presentó un nuevo neumático fabricado a partir de caucho reciclado. Estos neumáticos, por sus características, solo pueden ser utilizados en bicicletas. Pese a ello, el objetivo es lograr que este tipo de neumáticos puedan utilizarse en automóviles (Saidón y Sorroche, 2024).

5.4 Trituración mecánica

Este proceso consiste en reducir el volumen de los neumáticos. Según el tipo de tecnología con la que se cuente, será el producto obtenido (PAGE 2021):

- Plantas procesadoras sencillas: permiten triturar los neumáticos generando como producto final placas de 5 cm de lado. (Reducen el volumen que ocupan los neumáticos en el transporte, facilitando su traslado).
- Planta de complejidad intermedia: permiten obtener granulado de caucho (2,4 mm), separando también la mayor cantidad de acero y fibras textiles mediante procesos magnéticos.
- Planta mayor complejidad: se puede obtener polvo de caucho (0.5-0.6 mm).

Se aclara que el granulado de caucho (2.4 mm) se utiliza para la elaboración de material sintético para canchas deportivas (de fútbol, rugby, hockey, etc.), para relleno de distintos elementos (bolsas de boxeo, algunos tipos de pelotas, etc.) y para la fabricación de baldosas de caucho, plazas infantiles y pistas de atletismo.

En cambio, el polvo de caucho (0.5-0.6 mm) se usa como ligante hidrocarbonado para la fabricación de asfalto modificado, mientras que en combinación con propileno y polietileno se puede usar para elaborar tuberías, materiales de almacenamiento y componentes de automóviles.

En la actualidad, en Argentina se obtiene un granulado de 2.4 mm, mientras que el polvo de caucho obtenido es el residual del proceso de trituración, no contando con la calidad óptima para poder ser incorporado al asfalto. (PAGE 2021).

El acero recuperado se envía a fundidoras y vuelve al circuito productivo. Las fibras textiles se suelen utilizar para termovalorización, ya que no existe tecnología disponible para que puedan ser recicladas.

5.5 Trituración criogénica

La trituración criogénica es una tecnología de trituración que consiste en congelar el material a bajas temperaturas, típicamente con nitrógeno líquido, antes de triturar. Esto hace que el material sea más frágil y más fácil de triturar, lo que permite obtener un producto final más fino y homogéneo.

La trituración criogénica tiene varias ventajas sobre la trituración mecánica:

- Reducción del tamaño de partícula debido a que permite obtener un producto final más fino y homogéneo que la trituración mecánica.
- Mejor calidad del producto ya que produce un producto más limpio y con menos impurezas.
- Mayor eficiencia ya que es más eficiente en términos de energía consumida y tiempo de procesamiento.

Sin embargo, la trituración criogénica también tiene algunas desventajas:

- Es más costosa que la trituración mecánica.
- Requiere un equipamiento más complejo y costoso.

En la actualidad no se encuentra disponible en ningún país de América Latina (Alonso, 2022).

5.6 Pirólisis

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).

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 pirólisis 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, pág. 38).

Esta tecnología no existe en Argentina, mientras que hay algunos proyectos en Chile y México para implementarla. Un ejemplo de cómo puede implementarse lo da Michelin, que afirmó estar construyendo una planta de reciclaje en Antofagasta (Chile) para recuperar el negro de humo, el acero, el gas y aceite de pirólisis (Pereyra, 2021).

5.7 Coprocesamiento en hornos cementeros

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 (Clarín, 2022).

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 (Clarín, 2022).

El problema que se presenta es que la quema de residuos genera escorias y cenizas durante la combustión, las que, luego, si no existen adecuados procesos de filtración, son liberadas al ambiente, a la vez que se desaprovecha parte de los materiales. (Saidón y Sorroche, 2024).

De todas las alternativas desarrolladas anteriormente, la que presenta mayores potencialidades para Argentina y se adapta más a las realidades socioeconómicas del país es la de trituración mecánica. Esto se debe a que es un proceso eficiente de recuperación del material, compatible con los estándares ambientales, incluso en ámbitos urbanos, y que implica costos de inversión y de mantenimiento de la maquinaria relativamente bajos en relación con los demás procesos (Chimborazo Azogue *et al.*, 2010).

6. Propuesta de planta recicladora

En Argentina existen plantas de achique y plantas de granulado de caucho de 2,4 mm, mientras que solo se obtiene polvo de caucho de forma residual. Existen siete grandes empresas que realizan procesamiento de caucho para obtener granulado: Regomax, Eco-Lauda, ReNFU y Tricaucho en la provincia de Buenos Aires; Kumén-Co y Worms en Santa Fe; y Eco-Cuyum en Mendoza. (Saidón y Sorroche, 2024).

En 2022, varias de las empresas consultadas declararon que trabajan con capacidad ociosa, ya que no reciben la suficiente cantidad de NFU para procesar. Incluso, se da el caso de que

eventualmente se importa granulado de caucho, porque las empresas no pueden satisfacer la demanda interna. Esto nos da una idea de que no solo hay una baja cantidad de trituración, sino que también existe un mercado potencial para los NFU (Saidón y Sorroche, 2024).

En ese sentido se propone crear una planta industrial en la que se triturarán los residuos en forma mecánica. Brindará una solución a la problemática ambiental y sanitaria a través de la recolección, acopio y revalorización de los mismos generando un triple impacto: ambiental, social y económico.

6.1 Ubicación

Se considera adecuado ubicar la planta en una zona equidistante al área del AMBA, La Plata y alrededores, tal vez fuera de Capital Federal pero no demasiado lejos de la Avenida General Paz o de otras vías centrales de comunicación.

Sin perjuicio de esto, esta planta, por sus características, 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.

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.

6.2 Triple impacto

El proyecto tiene por finalidad promover el reciclado de residuos dando solución de triple impacto: ambiental, social y económico.

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 tendrá una capacidad de procesar 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.

Impacto social. La gestión adecuada de NFU reduce la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores como mosquitos y roedores, mejorando la salud pública. Además, un manejo eficiente de los NFU contribuye a un ambiente más limpio y saludable, lo que mejora la calidad de vida de las personas.

Impacto económico. La creación de empresas de reciclaje y la expansión del sector formal generan nuevas oportunidades laborales, aumentando la productividad y el desarrollo económico.

El reciclaje de NFU permite la creación de productos con valor agregado, como caucho triturado para canchas deportivas, polvo de caucho para asfalto, y acero para otras industrias. Además, la utilización de materiales reciclados en lugar de materias primas vírgenes puede reducir los costos de producción en diferentes sectores.

6.3 Fuentes de ingresos

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.

6.4 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 total asciende a USD 1.344.892, distribuidos en la línea de trituración y separación de neumáticos usados, instalada y nacionalizada, por un valor de USD 626.197, equipos secundarios por USD 620.870, e 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.

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.

6.5 Recursos clave

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 eficientes de carga y descarga 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.

6.6 Supuestos

Los neumáticos serán recogidos de las empresas de transportes, entidades gubernamentales, empresas de venta de neumáticos nuevos, talleres, distribuidores, vertederos municipales y fábricas de neumáticos (scrap), con una flota de camiones propios de tamaño mediano que puede transitar sin problemas por las calles de CABA y gran Buenos Aires. No se paga por dichos neumáticos, sino que se ofrece el servicio gratuito de tratamiento de dichos residuos con la recolección de estos en la fuente.

También se acepta que dichas empresas o entidades remitan sus neumáticos a la planta recicladora con flete a su cargo. En los viajes de ida a la recolección de los NFU se aprovecha a realizar las entregas a clientes del producto terminado, con flete ya incluido en el precio final a partir de ciertas cantidades mínimas; o para la venta de los subproductos (acero y textil).

Para la extensión de un certificado de disposición final sólo se cobrará el costo del mismo a las empresas o municipios que lo requieran, de manera que esto no generaría ingresos ni costos para el proyecto.

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 enteros 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, si bien la trituradora puede procesar el neumático entero, se contempla la alternativa de incluir una destalonadora, una guillotina y máquina para quitar el fleje de acero del neumático como pasos previos a dicha máquina lo que, si bien requiere de 3 operarios adicionales, alarga significativamente la vida útil de la trituradora y reduce los repuestos y mantenimiento necesarios.

Para no reducir el ritmo de trabajo de la trituradora se puede alternar entre neumáticos enteros y pretratados.

Ese pretratamiento es recomendado para los neumáticos de más de 85 cm de alto y necesario para los que superan el metro de altura (vehículos de ingeniería).

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. En el caso de que se trabaje los 3 turnos, dicha capacidad instalada asciende a 10.000 toneladas.

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 consideró 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 quinto 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.

6.7 Análisis financiero

Cash flow del proyecto. En base a los supuestos, hipótesis, llave y enunciados planteados se obtuvo el flujo de fondos que se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Flujo de fondos del proyecto

	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
Var. de Cap. de Trabajo		0	-9.953	-7.760	-8.319	-7.555
IIGG		-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
Perpetuidad						3.386.383
<i>Flujo de fondos libre</i>	<i>-1.344.892</i>	<i>283.840</i>	<i>344.318</i>	<i>265.422</i>	<i>417.547</i>	<i>3.852.494</i>

TIR del Proyecto. La rentabilidad es 38,37 %, mayor que wacc (13,76 %), por lo que el proyecto es aceptable aplicando esta metodología. Si los flujos que libera el proyecto se reinvierten al wacc en lugar de la TIR, se obtiene una TIR modificada de 33,3 %.

VAN del proyecto. El proyecto agrega valor a la organización, con VAN = 1.621.873 USD.

Payback descontado: El plazo de recupero de 5,72 años es razonable considerando el valor de mercado de la inversión y liquidez de operaciones.

Riesgo país. El proyecto resulta viable aun considerando el riesgo país actual de 1.560 puntos básicos o el promedio de los últimos 10 años de 1.394 puntos, lo que significa que se ha considerado un criterio conservador habida cuenta que es esperable un guarismo de riesgo país sensiblemente inferior durante la vida económica de la inversión de los próximos períodos.

Capacidad. En la evaluación del proyecto el escenario principal considerado contempló que las actividades se llevan a cabo en dos turnos diarios durante cinco días y medio por semana. Esta hipótesis conservadora también da cuenta de la posibilidad real de incrementar los ingresos netos emergentes de la inversión en NFU, ya que sería factible agregar un nuevo turno o extender el plazo en la semana.

Para el año 5 se está operando al 57,56 % de la capacidad máxima comparado con la posibilidad de tres turnos y al 85 % de la capacidad máxima de trabajar con 2 turnos.

Perpetuidad. La perpetuidad representa 6,04 EBITDA y 2,08 Ventas (al año quinto). Valuada al momento 0 representa un 110 % del VAN.

Si no se toma en cuenta la perpetuidad, la TIR del proyecto es 9,24 % y el VAN es -155.205 USD, lo que supone la no inclusión del valor del negocio a valores de mercado o en marcha.

Impacto ambiental. En Argentina se generan 130.000 NFU por año. En el año 5 se estaría dando tratamiento a 5.756 TN, es decir, estaríamos colaborando con una tasa del 4,4 %. La capacidad de la planta es de 10.000 TN por lo que la tasa máxima sería de 7,7 %.

No obstante, esta planta, por sus características, superficie, tipo de actividad, equipamiento y de proceso productivo, es replicable en la mayoría de los centros urbanos de nuestro país, razón por la cual la tasa de contribución podría ser aún mayor en caso de que se replique en otras zonas.

Repercusión laboral. El proyecto genera mínimamente 42 puestos laborales en forma directa en el año 1 dicho número se incrementa a 49 en el año 5. Hay un efecto adicional sobre el empleo indirecto no medido en esta evaluación.

Logística – Insumos. El problema para resolver en el proyecto no es de índole tecnológica, dado que la existente es viable y eficiente, sino la cuestión logística para generar un ahorro de costos a partir de la recolección de los neumáticos para su tratamiento.

Acuerdos con generadores – acopiadores. Resulta recomendable establecer acuerdos con los principales generadores o acopiadores de estos residuos para garantizar el abastecimiento.

Sería oportuno fortalecer la responsabilidad social empresarial de los fabricantes y distribuidores de neumáticos para que colaboren en la recolección de los NFU aprovechando la logística inversa al realizar las entregas de productos nuevos y de este modo concentrar los puntos de acopio de NFU y facilitar su recolección.

Una vez que el proyecto se estabiliza resulta viable establecer una cuota de NFU que pueda ser adquirida a las cooperativas de recolectores urbanos realizando acuerdos con las mismas mediante apoyo de distintos programas gubernamentales para que las mismas puedan realizar un tratamiento previo (destalonado y guillotinado) lo que reduce significativamente el costo del flete para retirar los mismos.

NFU Trozamiento en diferentes tamaños. Existe la posibilidad de vender el caucho del NFU trozado en distintos tamaños (por ejemplo 5 x 5 cm) para su uso como combustible en la industria cementera. Este es un producto que solo requiere realizar parte del tratamiento. Las piezas seleccionadas se apartan del proceso antes de su ingreso a la trituradora de alta velocidad lo que abarata su costo ya que es un proceso más rápido y de menor consumo de energía. Para su almacenamiento y transporte pueden reutilizarse las big bags y pallets que los clientes regulares del SBR granulado devuelvan, abaratando costos de este modo.

7. Conclusiones

La gestión de neumáticos fuera de uso (NFU) en Argentina presenta un desafío complejo con un gran potencial para la transformación hacia un modelo de economía circular. La actual acumulación incontrolada de NFU en basurales, terrenos baldíos y vertederos genera graves impactos ambientales y sanitarios, siendo fundamental la implementación de soluciones que promuevan la reutilización, el reciclaje y la valorización de estos residuos.

La propuesta de una planta recicladora de NFU en Argentina con una inversión de 1.344.892 USD, con capacidad de procesamiento de 10.000 toneladas anuales, ofrece una solución integral y viable a este problema. La planta, con un enfoque de triple impacto, reduce la contaminación ambiental, crea nuevas oportunidades de empleo y genera productos con valor agregado. El análisis financiero proyectado muestra un alto rendimiento del proyecto, con una TIR del 38,37 %, un VAN de 1.621.873 USD y un plazo de recuperación de 5,72 años, lo que demuestra la rentabilidad y viabilidad de la inversión.

En Argentina se generan 130.000 TN de NFU por año. Con la implementación de esta planta de reciclaje se estaría dando tratamiento a 5.756 TN en el año 5, es decir, una tasa del 4,4 %. Se debe destacar que la capacidad de la planta es de 10.000 TN por lo que la tasa máxima sería de 7,7 %. No obstante, esta planta, por sus características, superficie, tipo de actividad, equipamiento y de proceso productivo, es replicable en la mayoría de los centros urbanos de nuestro país, razón por la cual la tasa de contribución podría ser aún mayor en caso de que se replique en otras zonas.

La creación de una red de plantas recicladoras de NFU, con un enfoque coordinado entre el sector público y privado, sería crucial para la gestión integral de este residuo a nivel nacional, contribuyendo a la construcción de una economía circular más eficiente y sostenible.

REFERENCIAS

- Alonso, O. (2022). *Neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires. Hacia una economía circular*. Universidad Nacional de General Sarmiento
- Cárdenas Peralta, J. & Guncay Bustos, P. (2023). *Gestión de residuos sólidos en el Cantón Rumiñahui*. Universidad de las Américas
- Carrillo Flor, J. C. & Córdova Tafur, J. P. (2012). *Propuesta de gestión de llantas usadas en el cantón Rumiñahui*. Tesis de grado Escuela Politécnica Nacional

- Chimborazo Azogue, C. Y. y López, M. (2017). *Trituración de neumáticos reciclados como desentrañante en los procesos industriales en la Provincia de Tungurahua*. Revista Publicando, 4 (12): 427-439
- Clarín (2022). *Recuperación de neumáticos en desuso: una acción clave para la protección ambiental*. Agosto 5
- Díaz, P. A. D. (2008). *Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción*. Universidad Austral de Chile
- Ecogestionar (2022). *En riesgo el principal destino del caucho reciclado del neumático al final de su vida útil*. Sitio ecogestionar.com.ar Jun 27
- Fagundes, C., Gomes, R. & Costa, R. (2017). *Implementación de un sistema de recolección de neumáticos fuera de uso en un municipio de Brasil*. Revista de Gestión Ambiental, 12 (1): 15-28
- Futurosustentable (2022). *La mala gestión de los neumáticos fuera de uso: un problema alarmante*. Sitio futurosustentable.com.ar Nov 17
- iProfesional (2024). *Qué hacer con los neumáticos viejos: paso a paso para deshacerse de ellos*. Sitio iProfesional Feb 25
- LinkedIn (2024). *Valorizando los neumáticos fuera de uso (NFU)*.
- Martínez Gallego, J. (2019). *El problema de los neumáticos fuera de uso: Un análisis desde la perspectiva social y ambiental*. Revista de Derecho Ambiental, 10 (2): 95-110
- Mayorga Cárdenas, F. J., Arévalo, S. & Moreno, R. (2020). *Análisis de los residuos sólidos en el cantón Rumiñahui y su gestión: Aplicación del modelo de la economía circular*. Universidad de las Américas
- Ministerio del Ambiente (Perú) (2024). *Régimen especial neumáticos fuera de uso (NFU)*.
- Mobillo, F. (2020). *Neumáticos fuera de uso: Oportunidad para una nueva industria*. Retema Revista Técnica de Medio Ambiente
- Pérez Aparicio, A. J. & Saiz Rodríguez, A. (2018). *Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso*. Revista de Plásticos Modernos, v1115, N° 730: 11-18
- PAGE (2021). *Informe final del impacto fiscal de la ejecución del plan nacional de economía circular y hoja de ruta*.
- Pereyra, C. A. (2021). *Michelin anuncia que sus neumáticos serán 100 % sostenibles en 2050*. Autoblog Motor 1, Mar 8
- Saidón, M. y Sorroche, S. (2024). *¿Qué hacer con los residuos?* Teseo
- Utopia Urbana (2022). *Argentina: se encamina la sanción del proyecto de Ley de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)*. Sitio utopiaurbana.city Julio 14.