

Documento 4/PIidISA/2021

NEUMÁTICOS FUERA DE USO Y OPCIONES DE APROVECHAMIENTO EN EL ÁMBITO MUNICIPAL



UNQ – BERNAL octubre 2021

PRESENTACION

Desde sus inicios el Programa Interdisciplinario de Ambiente (PIIdISA) de la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ) ha tenido como uno de sus temas fundamentales de estudio la problemática socioambiental de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y, fundamentalmente, su transformación en mercancías a partir de la recolección, acopio, selección, clasificación y disposición final como insumos para las actividades industriales que los reciclan para elaborar bienes diversos.

En esta línea se realizaron diversos estudios en el partido de Quilmes para analizar desde la experiencia de uno de los principales acopiadores locales¹ a otras referidas a asociaciones de cartoneros y cooperativas de recuperadores pasando por el análisis de circuitos de reciclaje y la corriente de residuos del papel y el cartón².

En 2020 a pesar de la pandemia de Covid 19 se planteó continuar con el análisis de corrientes de residuos (CdR) en relación con el ambiente: Las CdR entendidas como la descripción de las etapas del ciclo de vida de producto (CVP) y los desperdicios asociados a cada una de ellas (Producción-Consumo-Posconsumo), incluyendo el impacto medioambiental (expresado en la huella de carbono medida en masa de CO₂ equivalente) en las tres etapas: producción, utilización y destrucción o reciclado.

Durante la pandemia se realizaron algunas reuniones para explorar la posibilidad de realizar estudios sobre las corrientes de residuos en las que participaron Pablo Schamber, Osvaldo Alonso y Miguel Lacabana para identificar las situaciones ambientales generadas a lo largo del ciclo de vida de los productos que interesan a diversos organismos responsables de avanzar en políticas ambientales

En esta oportunidad se decidió abordar la corriente de residuos de los neumáticos fuera de uso (NFU) una mercancía altamente contaminante no sólo en términos cuantitativos sino cualitativos dado que, por un lado, es un residuo que ocupa amplios espacios físicos y, por otro, porque su degradación lenta genera efectos negativos diversos sobre el ambiente. Sin olvidar que su disposición a cielo abierto suele transformarlo en un reservorio

¹https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/1619/08_RCS-27_miscelaneas2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

² <https://bdigital.uncu.edu.ar/app/navegador/?idobjeto=7377>

de vectores de enfermedades transmisibles como el dengue a partir de la reproducción de los mosquitos. Un aspecto que parece no tan importante pero que influye en la percepción ambiental es el problema estético de esta acumulación a cielo abierto.

Más allá del enfoque integral con el que se aborda el tema hay una intencionalidad de poner el énfasis en las posibilidades reales de reciclaje de los NFU por empresas de la economía social y cooperativas dedicadas a su recolección y acopio. En este sentido se realizan estimaciones de la cantidad física de NFU a nivel nacional, de la Provincia de Buenos Aires y, específicamente, de municipios del Conurbano sur de la misma. Además, se exploran opciones tecnológicas disponibles para un destino final sustentable de los NFU.

El colega MgS Osvaldo Alonso, colaborador del PIIIdISA en otros trabajos sobre el tema, asumió la responsabilidad de elaborar el presente informe. Agradecemos esta colaboración del colega Alonso que nos ha permitido un intercambio fructífero sobre el tema y que servirá para alimentar otras iniciativas que se están llevando adelante desde la UNQ para agregar valor a los NFU y así colaborar tanto con la sustentabilidad económica de los diversos tipos de empresas dedicadas a su procesamiento como a la sostenibilidad ambiental de los territorios donde este residuo se desecha a cielo abierto y sin controles de ningún tipo.

Miguel Lacabana
Director del PIIIdISA

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	2
1. DEFINICION DE NFU Y SU PROBLEMÁTICA.....	3
1.1. Obstáculos vinculados con aspectos regulatorios.....	4
1.2. Obstáculos vinculados con aspectos logísticos	5
2. CÁLCULO DE LA GENERACIÓN ANUAL DE NFU EN LOS MUNICIPIOS DE ALMIRANTE BROWN, QUILMES Y BERAZATEGUI	6
3. LAS OPCIONES DE APROVECHAMIENTO DE LOS NFU DESDE LA LÓGICA DEL CUIDADO AMBIENTAL: LA PIRÁMIDE DE JERARQUIZACIÓN TECNOLÓGICA	7
3.1. Reciclaje	8
3.2. Recuperación híbrida.....	8
3.3. Recuperación de energía	9
4. DESCRIPCIÓN DE OPCIONES DE RECICLADO, CARACTERÍSTICAS, OPORTUNIDADES Y BARRERAS A LA ENTRADA	10
4.1. Aplicaciones de los neumáticos enteros	10
4.2. Aplicaciones de los neumáticos triturados	12
4.3. Aplicaciones en materiales bituminosos	15
5. LAS OPCIONES DE RECICLADO DE NFU PARA ORGANIZACIONES COMO LAS COOPERATIVAS: MATRIZ DE OPORTUNIDADES	18
REFLEXIONES FINALES.....	20
ANEXO I Soluciones relacionadas con el uso de geoceldas	22
ANEXO II Links de Interés	24
BIBLIOGRAFÍA.....	26

INTRODUCCIÓN

Este documento resume brevemente la problemática de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) en el país. Se describen las distintas posibilidades de aprovechamiento – reciclaje de los mismos, en el marco de un ordenamiento jerárquico de dichas opciones, según su mayor o menor contribución al sostenimiento ambiental³.

Se detallan las oportunidades de aprovechamiento de NFU, dando mayor atención a aquellas más accesibles para su desarrollo por sectores de la economía social, tanto desde el punto de vista de la complejidad tecnológica y *know how* requerido para su despliegue, como por su costo de implantación y funcionamiento.

Se presenta asimismo un cálculo de la generación anual de NFU estimada para tres municipios: Almirante Brown, Quilmes y Berazategui, que permita formarse una idea del problema ambiental por la acumulación de neumáticos fuera de uso y de la potencialidad de cada uno de ellos para aprovecharlos.

Finalmente, en anexos se documentan algunas opciones de actividades y productos que pudieran ser desarrollados en el ámbito de estos municipios, así como referencias de organizaciones para consulta técnica y de disponibilidad así como especificaciones técnicas y costos de equipos especializados.

³ Este documento se basa en un informe de investigación sobre el ciclo de vida del neumático y la generación y aprovechamiento/disposición de NFU, producido por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible y la Universidad Nacional General Sarmiento, actualmente en edición (OPDS-UNGS; 2021).

1. DEFINICION DE NFU Y SU PROBLEMÁTICA

Un NFU es un neumático que ya no puede ser recuperado para su uso original. De tal modo que son aquéllos que salen de uso y no pueden ser reconstruidos para una vida adicional.

La reconstrucción está reservada para neumáticos de transporte de carga o pasajeros, maquinaria vial, minera y del agro. De tal modo que todos los neumáticos de estas categorías que ya no pueden ser reconstruidos (después de dos o tres procesos de reconstrucción), sumados a los neumáticos de vehículos de pasajeros (autos, camionetas) reemplazados, constituyen el total de NFU que se genera año a año.

El principal problema asociado a los NFU en el país es la disparidad entre la generación de los mismos y la carencia de estímulos regulatorios y económicos que faciliten su aprovechamiento de un modo ambientalmente deseable.

En Argentina se generan más de 178.000 toneladas de NFU al año (casi 66.000 toneladas en la PBA), residuo que en gran parte no recibe un destino ambientalmente adecuado.

En la PBA, a pesar de contar con una capacidad para provechar más de 100.000 ton/año de NFU, ya sea a través de su transformación en gránulos para la producción de otros productos finales, coprocesamiento en hornos cementeros o uso para la producción de asfaltos modificados, tan sólo se aprovecha alrededor del 17% del volumen generado, mientras que otro 83% es objeto de acopio municipal, termina en basurales a cielo abierto, o como desecho en rellenos sanitarios y otros destinos no identificados con precisión.

Como contraste y en el cercano caso de Brasil, bajo una ley de Responsabilidad Extendida del Productor -REP-, la tasa de recuperación de los NFU generados es del 92%.

Concurren a explicar esta disparidad en el caso local dos aspectos centrales y relacionados:

1.1. 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).

1.2. 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.

2. CÁLCULO DE LA GENERACIÓN ANUAL DE NFU EN LOS MUNICIPIOS DE ALMIRANTE BROWN, QUILMES Y BERAZATEGUI

A los efectos de una mayor precisión en el análisis y diseño de propuesta de política, interesa conocer adicionalmente la distribución de los NFU generados en la PBA por cada municipio de interés. Para ello:

- Se tomó la estadística del parque automotor para cada uno de los 135 municipios de la PBA, lo que permitió establecer el porcentaje de vehículos que corresponde a cada municipio. Se asume que la tasa de reemplazo de neumáticos al fin de su vida por otros nuevos es similar para todos los vehículos y, por lo tanto, también lo son los NFU generados periódicamente⁴.
- Se aplicó ese porcentaje de vehículos al total de generación de NFU que se estima para toda la PBA de casi 66.000 toneladas/año.
- Se obtuvieron los valores estimados de generación anual de NFU en toneladas para cada uno de los tres municipios de interés.

Estimado de NFU generados al año

En toneladas

Municipio	Autos (% del total)	NFU (TON)
ALMIRANTE BROWN	2,5%	1.641
BERAZATEGUI	1,6%	1.050
QUILMES	3%	2.202
TOTAL PBA	100%	65.945

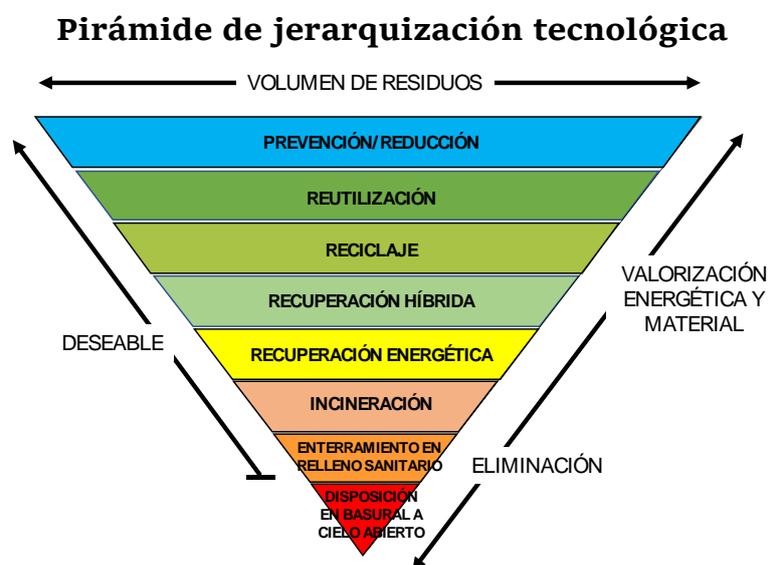
Fuentes: ADEFA (2020) /ARBA; cálculos propios

⁴ Si bien los vehículos de carga tienen un mayor número de neumáticos que los vehículos de pasajeros, en los primeros sólo una porción de aquéllos es reemplazada por nuevos, ya que la tasa de reconstrucción es muy elevada. De tal modo que se asume el reemplazo anual (y por lo tanto la generación correspondiente de NFU) de 1 neumático por vehículo con independencia de su tipo FADEEAC (2020)

3. 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.

3.1. 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 tecnificación⁵.

3.2. 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.

⁵ Referencia: Gerardo Botasso, director del Centro de Investigaciones Viales -LEMAC- (CIC-UTN)

LEMAC, Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP - CIC PBA. <https://lemac.frlp.utn.edu.ar/>
Tlf. 0221 489-0413 / centrolemac.adm@gmail.com /
<https://www.cic.gba.gob.ar/2021/05/27/reciclado-de-neumaticos-aporte-de-la-ciencia-bo-naerense-a-una-problematika-ambiental/>

- 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

3.3. 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

4. DESCRIPCIÓN DE OPCIONES DE RECICLADO, CARACTERÍSTICAS, OPORTUNIDADES Y BARRERAS A LA ENTRADA⁶

En esta sección se describirán las principales aplicaciones y productos generables a lo largo de los tres tramos especificados antes, evaluando la complejidad tecnológica y barreras a la entrada para organizaciones como una cooperativa.

4.1. Aplicaciones de los neumáticos enteros

- **Arrecifes Artificiales**, se espera que los neumáticos usados en la creación de arrecifes artificiales puedan perdurar más de 30 años porque los neumáticos sumergidos en agua marina se encuentran en un medio estable químicamente y protegidos de la radiación ultravioleta.
- **Balas de Neumáticos**, Las balas prismáticas de 1 tonelada de peso se fabrican con prensas hidráulicas, que compactan entre 100 y 125 neumáticos por unidad. Las dimensiones habituales son 75 cm x 150cm x 135 cm. Son una buena alternativa a los gaviones metálicos en la construcción de estructuras de contención y presas. Se han utilizado con éxito en la estabilización de márgenes fluviales degradados por la erosión del agua. Por su forma geométrica e instalación modular se adaptan muy bien a ser recubiertas con hormigón o fábrica para la formación de muros.
- **Barreras Acústicas**, los neumáticos constituyen la base de la estructura y se recubren con tierra, de esta forma no les afecta la luz. Como la estructura es inmóvil, el desgaste del material es mínimo.

⁶ La mayor parte de esta sección se tomó de un informe de Vigilancia Tecnológica referido a valorización material y energética de NFU (Cano Serrano, Encarnación y otras ; 2007

- **Pistas Provisionales**, para la circulación de vehículos sobre terrenos poco estables en explotaciones forestales, accesos a canteras, etc.
- **Macizos de suelo reforzado**, los NFU agrupados en sistemas de tipo geomalla permiten la formación de macizos de suelo reforzado mediante la interposición de capas superpuestas de neumáticos enteros rellenos de material granular compactado. Las estructuras neumático-suelo muestran propiedades mecánicas superiores a los suelos de origen y pueden presentar diferentes aplicaciones específicas: como muros de sostenimiento de tierras, muros de estabilización en pie de taludes, muros anti erosión en márgenes de cauces fluviales, rellenos ligeros.
- **Geoceldas**. Constituyen una variedad del punto anterior, donde se separa la banda de rodamiento de los laterales del neumático. Usados para construcción de muros, control de erosión, caminos. La banda de rodamiento (un aro) se coloca uno al lado de otro como “panal”. En este sentido, forman un sistema celular, tridimensional. Se trata de estructuras tridimensionales con forma de panal de abeja y que se rellenan con tierra, grava tierra vegetal.

Se utilizan en accesos a plantas industriales o explotaciones agropecuarias, construcción de muros, control de erosión, caminos. Es permeable, transitable, admite cargas elevadas y compite favorablemente en precio con celdas industrializadas. Se requiere un equipo para cortar y separar la banda de rodamiento del lateral del neumático⁷

⁷ Referencia: Producto sustituto: geoceldas industrializadas (ej: Coripa S.A.). Resultan más competitivos en precio, aún sin validación comercial en escala. Esto es una geocelda industrializada: Coripa S.A. (<http://www.coripa.com.ar>)

- **Soporte de silopuentes.** Los silopuentes, se usan para almacenar y preservar el alimento para animales. En este caso se distribuyen los NFU sobre los silopuentes, ejerciendo presión sobre los mismos y evitando la filtración de aire por debajo que descompone el contenido. Habitualmente se utilizan NFU de autos y camionetas. Los de mayor dimensión resultan demasiado pesados para los silopuentes y requieren una logística más costosa.

Una opción es negociar el envío a los campos a través de camiones jaula que regresan vacíos a su punto de origen. Este proceso de logística inversa permite un traslado a un costo sensiblemente menor al habitual.

4.2. Aplicaciones de los neumáticos triturados

- **Rellenos ligeros**, empleados como relleno de terraplenes se utilizan fundamentalmente sobre cimientos compresibles o de baja capacidad portante para limitar las cargas transmitidas al cimiento y los asentamientos totales. Pueden realizar también mezclas de suelo o material granular con neumáticos troceados en aquellas situaciones donde la necesidad de una menor compresibilidad del relleno compense el aumento de peso frente al uso de neumáticos troceados en exclusiva. Los rellenos ligeros también pueden utilizarse sobre estructuras o tuberías enterradas, para limitar las cargas sobre la estructura y la concentración de tensiones por consolidación diferencial, ya que su deformabilidad permite la generación de un efecto bóveda sobre la estructura.
- En zonas con problemas de inestabilidad, su baja densidad y suficiente resistencia al corte permite su empleo para la formación de taludes o bermas. Resulta un material especialmente adecuado como relleno ligero en trasdós de muros (estribos de puentes, muros de sostenimiento...).

- **Pistas de atletismo**, los gránulos de caucho procedentes de NFU son una materia prima básica en la composición de los distintos revestimientos sintéticos, que podemos clasificarlos en revestimientos realizados “in situ”, mixtos y prefabricados, atendiendo a su puesta en obra, que a su vez pueden ser compactos o multicapas si el tipo de mezclas que lo componen es homogéneo o compuesto por capas de distintas calidades. En la construcción de una pista de atletismo se emplean aproximadamente de setenta a ochenta toneladas de gránulos de caucho, según el sistema que se instale y de la superficie de la pista, siendo las partículas de caucho de un tamaño comprendido entre 1 y 4 mm.
- **Aislamiento térmico**, los neumáticos triturados son materiales física y químicamente resistentes. Presentan una capacidad de aislamiento térmico 8 veces superior a la de un suelo. La utilización de rellenos de NFU en terraplenes de carreteras proporciona una protección eficaz frente a la penetración de la helada en el suelo subyacente. El problema de la pérdida de capacidad portante de los suelos durante el deshielo primaveral es un factor primordial de diseño de carreteras en zonas frías. Las propiedades de protección frente a la penetración de la helada pueden aplicarse también a otras situaciones tales como la construcción de vertederos, de zanjas drenantes, etc.
- **Aislamiento acústico**, el caucho es un material con buena absorción acústica, por lo que resulta adecuado para la fabricación de pantallas antirruído en carreteras. Los NFU troceados, así como enteros o embalados, han sido utilizados como material de relleno de terraplenes longitudinales utilizados como barreras antirruído. Paneles de caucho granulados, aglomerado con resinas de poliuretano, se ha utilizado como capa de aislamiento en barreras acústicas prefabricadas.

- **Pistas multiuso**, las características generales que deben cumplir todos los pavimentos deportivos son: elasticidad, resistencia al deslizamiento y durabilidad. La elasticidad permite que el pavimento juegue un papel importante absorbiendo parte de la energía que el deportista transmite en sus impactos con el pavimento evitando así lesiones en sus articulaciones y en sus caídas. Las capas elásticas de mejor calidad se fabrican con gránulos de caucho procedentes de la trituración de neumáticos usados, utilizando generalmente como aglomerante una resina de poliuretano, se fabrican en distintos espesores a pie de obra o se suministran prefabricadas en forma de rollos. La capa final de acabado debe garantizar la correcta estabilidad del deportista en contacto con el pavimento, así como el bote de la pelota por lo que la textura y calidad de ésta capa varía en función de distintos factores como son, la ubicación de la pista, en interior o al aire libre y el tipo de deporte.
- **Campos de hierba artificial**, existen en el mercado alfombras de hierba artificial, iniciadas para los campos de hockey, para la práctica del fútbol que consisten en una base asfáltica, seguidas de una capa de arena y otra de gránulos de caucho de NFU y por ultimo las fibras.
- **Colchonetas para animales**, recubiertas por 2 capas de tela sintética la cual protege al granulado contra los rayos ultravioleta. La capa interior es impermeable y puede lavarse y desinfectarse fácilmente.
- **Pavimentos de seguridad**, se utilizan principalmente en parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos para evitar posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico. Su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano. Una variante puede ser como protector de guardarrailes.

- **Capas drenante en vertederos**, para la recolección de lixiviados se establece la instalación de una capa de drenaje de espesor superior a 0.5 mm. Esta capa requiere una permeabilidad superior a 10^{-3} m/s y los rellenos de NFU troceados superan este requisito (10-2-10-1). Este material también es utilizado como relleno de las zanjas o pozos drenantes de recolección, protegido de la contaminación mediante una envuelta geotextil.
- **Sistemas de drenaje en carreteras**, se emplean los NFU troceados como material de relleno de capas y zanjas drenantes en carreteras, las propiedades elásticas del relleno proporcionan una protección mecánica a las tuberías. Las propiedades aislantes del caucho hacen que sea un material de relleno idóneo en zonas sometidas a temperaturas bajas, impidiendo la congelación del agua contenida en él.
- **Calzado**, las suelas de los zapatos fabricadas con polvo o granulado son muy duraderas y a menudo duran más que el cuerpo del zapato.
- **Equipamientos viales y ferroviarios**, se han utilizado productos reciclados en equipamientos viales prefabricados. En los equipamientos ferroviarios destaca la utilización de losetas flexibles en pasos a nivel, aunque también se ha empleado en la fabricación de traviesas compuestas.

4.3. Aplicaciones en materiales bituminosos

- **En carreteras**: una de las aplicaciones de los NFU es en la red vial, lo que supone un gran mercado potencial capaz de consumir por sí solo todo el neumático que se recicle. Las exigencias actuales en las carreteras hacen que sustituyamos el betún convencional por betunes modificados con polímeros.

La aplicación en la red de carreteras tiene grandes ventajas para el empleo del caucho reciclado; se están utilizando productos elásticos a los que el caucho reciclado podría sustituir o complementar, pueden utilizar grandes volúmenes en cada obra y dado que la construcción de carreteras se da en todo el territorio nacional, no se necesita transportarlo a grandes distancias.

- **En construcción:** existen estudios sobre la adición de granulado de caucho procedente de NFU en cemento u hormigón, encontrándose los mejores resultados sobre cemento autocompactante o Pórtland. Su uso se hace importante porque mejora la fragilidad del cemento, evitando el colapso. Lo que le confiere la posibilidad de la aplicación antisísmica y para usos no estructurales, donde la elevada resistencia no es una consideración importante.

El cuadro siguiente lista algunos de los procesos más comunes descritos antes y señala las ventajas y desventajas de cada uno.

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

FUENTE: Cano Serrano, Encarnación y otras (2007)

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

Finalmente, y a la vista de lo presentado en las secciones anteriores, 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 Jerarquiza- ción 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. 		

REFLEXIONES FINALES

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. En este informe se estimó una generación anual cercana a las 4.900 toneladas/año de NFU en los municipios de Quilmes, Berazategui y Almirante Brown.

Esto abre paso a la opción de utilizar/transformar esos NFU localmente, donde 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, alternatively, 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 además 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 silopuentes 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

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.

ANEXO I Soluciones relacionadas con el uso de geoceldas

 <p><i>Erosión de Taludes y Laderas</i></p>	 <p><i>Estabilización de caminos</i></p>	 <p><i>Impermeabilización de Diques y Presas</i></p>
 <p><i>Muros de contención</i></p>	 <p><i>Protección de Estribos de Puentes</i></p>	 <p><i>Refuerzo de Taludes</i></p>
 <p><i>Revestimiento de Canales</i></p>	 <p><i>Protección de Márgenes</i></p>	 <p><i>Rellenos Sanitarios e Industriales</i></p>
 <p><i>Impermeabilización de Tanks Farm</i></p>	 <p><i>Refuerzo de Subbases</i></p>	 <p><i>Impermeabilización de Lagos Recreativos</i></p>
 <p><i>Lagunas de Tratamiento</i></p>	 <p><i>Vegetalización</i></p>	 <p><i>Erosión de Cauces y Riberas</i></p>
 <p><i>Terrazas y techos verdes</i></p>	<p>http://www.coripa.com.ar/productos/33-geoceldas</p>	

*SOLUCIONES RELACIONADAS CON EL USO DE SOPORTES PARA SI-
LOPUENTES*



ANEXO II Links de Interés

LINKS DE INTERÉS: Producción de pisos de caucho reciclado para plazas, parques, escuelas, hospitales y cárceles.

Gerardo Botasso, director del Centro de Investigaciones Viales -LEMAC- (CIC-UTN)
LEMaC, Centro de Investigaciones Viales UTN FRLP
- CIC PBA. Tlf. 0221 489-0413
centrolemac.adm@gmail.com

<https://www.cic.gba.gob.ar/2021/05/27/reciclado-de-neumaticos-aporte-de-la-ciencia-bonaerense-a-una-problematika-ambiental/>

Diseño de sistema de moldeo de baja complejidad tecnológica

LINKS DE INTERÉS: Máquina de corte de laterales de neumáticos

https://spanish.alibaba.com/product-detail/big-old-tire-cutting-machine-tire-sidewall-cutter-waste-tyre-recycling-rubber-powder-machine-62164339457.html?spm=a2700.7724857.normal_offer.d_image.161677bdPgbC4i

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/big-old-tire-cutting-machine-tire-sidewall-cutter-waste-tyre-recycling-rubber-powder-machine-1600086349895.html?spm=a2700.details.maylikeexp.1.7a6d4102koiffe>



LINKS DE INTERÉS: Equipamiento para corte y separación materiales de NFU

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/double-hook-tire-debeader-for-tire-recycling-60753405822.html?spm=a2700.wholesale.o.o.62c01f7f4gUsZ1>



LINKS DE INTERÉS: Producción tejas de caucho reciclado

<http://www.oyp.com.ar/nueva/revistas/243/1.php?con=2>

<https://www.conicet.gov.ar/cientificos-del-conicet-fabrican-tejas-con-caucho-reciclado/>



<https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos-digitales/13043/proyecto-final.pdf>



BIBLIOGRAFÍA

AFCP (2021): NEUMÁTICOS FUERA DE USO COPROCESAMIENTO EN LA INDUSTRIA CEMENTERA, julio 2021, Asociación de Fabricantes de Cemento Portland. Disponible en AFCP

ADEFA (2020): ANUARIO 2020, Asociación de Fabricantes de Automóviles, En Internet: <http://www.adefa.org.ar/es/estadisticas-anuarios-interno?id=54>

Cano Serrano, Encarnación y otras (2007): “Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso”, en **Informe de Vigilancia Tecnológica** – VT10, 98 pág. www.madrimasd.org

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 Berger y Gaspar Contrini**. Consultado en Internet el 07/10/2021: <https://www.youtube.com/watch?v=tZe5Umk3K8g>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020): “Economía circular aplicada a los neumáticos fuera de uso”, presentado en la JORNADA TÉCNICA CONEXIÓN RECICLADO por Florencia Lanzillota; 12/08/20, Consultado en Internet el 07/10/2021: <https://www.youtube.com/watch?v=tZe5Umk3K8g>

OPDS-UNGS (2021): “Informe de investigación: neumáticos fuera de uso en la provincia de Buenos Aires, girando hacia una economía circular”. En Edición

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.

