

ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO Y VALORIZACIÓN MATERIAL Y ENERGÉTICA DEL RESIDUO “NEUMÁTICO FUERA DE USO”, MUNICIPIO DE MANAGUA NICARAGUA AÑO 2015

ALTERNATIVES FOR THE USE AND MATERIAL VALUATION AND ENERGY OF THE WASTE TIRES, MUNICIPALITY OF MANAGUA NICARAGUA YEAR 2015

Sergio Enrique Álvarez García¹

(Recibido/received: 30-Septiembre-2019; aceptado/accepted: 4-Noviembre-2019)

RESUMEN: Esta investigación, se orientó a la selección de alternativas de aprovechamiento y valorización material y energética del residuo “neumático fuera de uso” en el municipio de Managua. Los resultados principales del estudio, determinaron que (1) el marco legal ambiental, actualmente en vigencia en el país, no es adecuado para la gestión integral del residuo “Neumático Fuera de Uso”, (2) la gestión actual del residuo NFU, desde el enfoque del ciclo de vida del producto, es incipiente, insuficiente e inadecuada, (3) los importadores de neumáticos y demás actores que participan en la cadena de comercialización y uso de neumáticos, no se responsabilizan de su gestión, (4) en el año 2015, se generaron 19,329 toneladas de NFU, cuyo destino final, se desconoce, (5) las propiedades físicas, químicas y tecnológicas de estos residuos, permiten su aprovechamiento como materia prima para otros productos y accesorios de la industria automovilística, eléctrica, electrónica, de la construcción, entre otras y como combustible alternativo, y fuente de hidrocarburos y gas sintético. (6) El aprovechamiento material y energético permite contribuir a la solución de la problemática técnica, económica, ambiental y de salud pública que genera la inadecuada gestión de este residuo. A partir de los hallazgos encontrados, se formularon, analizaron y seleccionaron estrategias ambientales y socio-económicas para el aprovechamiento como: materia prima en la elaboración de diversos productos a partir del caucho recuperado, en correspondencias con las jerarquías de gestión de residuos, aplicando técnicas de prevención y de minimización de generación de residuos, reciclaje y reutilización de este residuo, considerado por ahora, como tóxico y peligroso, pero que representa un potencial económico para el país.

PALABRAS CLAVE: gestión integral de residuos, ciclo de vida del producto, combustible alternativo, reciclaje, impacto ambiental.

¹ Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Química. P.O. Box 5595, Managua, Nicaragua. E-mail: sergio.alvarez@uni.edu.ni

ABSTRACT: This research was oriented to the selection of alternatives of use and material and energy recovery of the waste "tire out of use" in the municipality of Managua. The main results of the study, determined that (1) the environmental legal framework, currently in force in the country, is not suitable for the integral management of the "Tire Out of Use" waste, 2) the current management of the waste tire out of use, from the product life cycle approach, is incipient, insufficient and inadequate, (3) Tire importers and other actors involved in the tire marketing and use chain are not responsible for their management, (4) in 2015, 19,329 tons of Tire Out of Use were generated, whose final destination is unknown, (5) The physical, chemical and technological properties of these wastes allow their use as raw material for other products and accessories of the automotive, electrical, electronic, construction industry, among others and as an alternative fuel, and source of hydrocarbons and synthetic gas. (6) The material and energy use makes it possible to contribute to the solution of the technical, economic, environmental and public health problems generated by the inadequate management of this waste. Based on the findings found, environmental and socio-economic strategies for the use were formulated, analyzed and selected as: raw material in the production of various products from recovered rubber, in correspondence with the waste management hierarchies, applying techniques of prevention and minimization of waste generation, recycling and reuse of this waste, considered for now, as toxic and dangerous, but that represents an economic potential for the country.

KEYWORDS: integral waste management, product life cycle, alternative fuel, recycling, environmental impact

INTRODUCCIÓN

El Paradigma Desarrollo Sostenible surge como respuesta al preocupante deterioro del ambiente, causado por las características del modelo de desarrollo social, técnico y económico que se sigue actualmente y que puede calificarse de insostenible a mediano plazo.

Brundtland (1992), ha definido el desarrollo sostenible como "un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades". Romero (2012), establece la necesidad de considerar el "impacto ambiental que se genera en todo el ciclo de vida del producto, abarcando los residuos que se generan en cada una de estas etapas, hasta su disposición final".

Tradicionalmente solo se han considerado los impactos ambientales causados durante la fabricación del producto o durante su uso. Por tanto, si se pretende evaluar el perfil ambiental de un determinado producto este habrá de ser analizado desde la obtención de las materias primas que lo componen hasta su eliminación al final. Así desde el enfoque de la gestión integral de residuos, se priorizaran aquellas acciones que garanticen la menor cantidad de residuos que se destinen a la disposición final. Es decir, prevalecerá la realización de actividades de prevención, seguida de las actividades de aprovechamiento, valorización material y energética del residuo

ante su disposición final, de tal forma que se prevengan y minimicen las afectaciones al ambiente y a la salud humana EPA (1976).

El residuo “Neumático fuera de uso”, en lo sucesivo NFU, se genera a partir de una actividad de consumo particular por parte de personas físicas y jurídicas que utilizan los neumáticos en sus vehículos, por lo que deben, como generadores de tal residuo, entregarlos al productor o a quien en su defecto funge como tal, cuando los han sustituido por otros nuevos o por neumáticos de segunda, para hacerse cargo de la gestión adecuada de estos residuos.

La gestión actual del residuo NFU, inicia con la generación y continúa con las operaciones de recolección, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final. En la actualidad representa un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública ya que los neumáticos son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo este proceso costoso y presentando además el inconveniente de que ocupan mucho espacio. Su almacenamiento en grandes cantidades provoca problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir. Su uso como combustible en hornos que no cuentan con la tecnología de control adecuada genera graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Desde hace varios años, Nicaragua, implementa procesos de adecuación y actualización de los instrumentos jurídicos que regulan y protegen al ambiente. No obstante la problemática ambiental generada por los residuos sean estos peligrosos o no peligrosos, no ha sido considerada de forma específica, sino de manera general, como muchos residuos, tanto en la ley general del medio ambiente y su reglamento, como en la política nacional de residuos sólidos.

Formalmente, ninguna institución ya sea de carácter estatal o privado han realizados estudios e investigaciones relacionadas con la gestión integral para el aprovechamiento, valorización material y energética del residuo NFU, en el país. En algunas ocasiones y en casos particulares, este residuo, ha formado parte de la agenda de discusión en los eventos nacionales y/o regionales de reciclaje. En este trabajo, la experiencia internacional de países del continente europeo y americano relacionadas con la gestión integral y aprovechamiento, valorización material y energética de NFU, se ha considerado como antecedentes de esta problemática.

Aplicando las normativas ambientales nicaragüense relacionada con los residuos y su gestión, se clasifican los NFU como residuos especial, que en determinadas condiciones de almacenamiento, combustión no controlada y disposición final inadecuada se transforma en un residuo peligroso, con propiedades tóxicas, con un alto poder calorífico, que dificulta su extinción en caso de incendios, y no es degradable, difícil de eliminar en rellenos sanitarios por ser no compactable, acumulando lixiviado de sustancias peligrosas, gases y refugio de vectores biológicos. Estas características, constituyen factores que aconsejan la adopción de una norma que los regule teniendo en cuenta esas particularidades propias.

La eliminación de los residuos NFUs, de manera inapropiada o su generación sin control en grandes cantidades, es causa de grave contaminación al ambiente. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras, son resistentes

al ozono, a la luz y a las bacterias, lo que les hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo. Su lanzamiento en los vertederos no permite aprovechar su poder calorífico como energía térmica, ni reutilizar y reciclar los diversos componentes de los cuales se ha elaborado.

Los neumáticos enteros son flexibles, por su forma y tamaño limitan la rehabilitación del vertedero al ser difícilmente compactable, acumulan gases, aguas putrefactas y lixiviados en basureros, sustancias que son altamente contaminantes del ambiente, siendo además refugio ideal de insectos y roedores, que son vectores transmisores de enfermedades graves para la salud.

En la actualidad no existe legislación específica, que obligue a los productores de neumáticos a realizar una gestión integral adecuada de este residuo, que incluya tanto su aprovechamiento como su valorización material y energética, de tal forma, que contribuya al desarrollo sostenible del país, por el contrario son considerados un pasivo ambiental. Los pocos intentos de aprovechamiento de este residuo no tienen impactos significativos, ya que son emprendimientos aislados, que consumen temporalmente cantidades mínimas y no de manera sostenida, a nivel artesanal y de poco capital de trabajo.

En este estudio se analizaron distintas alternativas de aprovechamiento y valorización material y energética del residuo neumático fuera de uso en el Municipio de Managua, Nicaragua, seleccionando la alternativa técnico-económica que optimiza la gestión integral de este residuo y su aprovechamiento como materia prima para otros productos a partir de caucho granulado. Se estableció el nivel de adecuación, aplicación y cumplimiento del marco legal ambiental del país que regula la gestión del residuo, en el Municipio de Managua. Se realizó el diagnóstico de la gestión actual del residuo, en el Municipio de Managua. Se caracterizaron las tecnologías utilizadas para el aprovechamiento, valorización material y energética del residuo.

Se recomienda la organización de un sistema de gestión integral de NFU, basado en la responsabilidad extendida del productor, creando compromisos y distribución de responsabilidades en todos los actores y sectores involucrados en los procesos de gestión, en los que el Estado de Nicaragua, debiendo fortalecerse el marco legal actual, estructurándolo y definiéndolo con atribuciones y competencias perfectamente definidas y con una fuerza coercitiva para velar por la correcta aplicación y cumplimiento de las normas correspondientes, para lograr un manejo ambientalmente racional de los residuos NFU.

METODOLOGÍA

El presente estudio se caracterizó por ser una investigación aplicada, combinada con elementos de las investigaciones descriptiva y explicativa, de corte transversal. El universo de estudio de la investigación fueron: a) municipio de Managua con su población, b) sus ecosistemas, c) sus compartimientos ambientales y demás componentes susceptibles de alteración por impactos al ambiente y la salud, d) los actores que participan en la gestión del residuo, que incluye: 1) productores-importadores, comercializadores, consumidores-generadores y gestores del residuo, antes de los gobiernos central y local, encargados de regular y fiscalizar la gestión del

residuo 2) las tecnologías de tratamiento y procesamiento del residuo, 3) las aplicaciones y productos obtenido del aprovechamiento, valorización material y energética del residuo.

Para la evaluación del nivel de aplicación y cumplimiento del marco legal ambiental del país que regula la gestión del residuo NFU, se aplicaron técnicas de la investigación documental al conjunto de códigos, leyes y normativas que regulan la gestión de residuos y se realizaron entrevistas a funcionarios públicos, importadores/distribuidores, funcionarios de cooperativas de transporte urbano colectivo y taxis. Con el trabajo de gabinete se sistematizó, analizó y procesó la información obtenida, sintetizando los hallazgos y resultados encontrados.

El diagnóstico de la gestión actual del residuo “neumático fuera de uso”, se realizó desde el enfoque del ciclo de vida del producto, caracterizando las propiedades por medio de la caracterización de las propiedades físicas, químicas y tecnológicas del residuo. Se cuantifico la generación anual del residuo en el Municipio de Managua, en el periodo 2010-2015.

Así mismo se estableció la situación actual del manejo, aprovechamiento, valorización, tratamiento y disposición final del residuo NFU, en el Municipio de Managua, se identificaron y evaluaron los potenciales impactos al ambiente las afectaciones a la salud de los pobladores del Municipio de Managua, utilizando la Matriz de Leopold Milán (2010).

En el proceso de caracterización de las tecnologías y definición de las aplicaciones para el aprovechamiento, valorización material y energética del residuo “neumáticos fuera de uso”, se aplicaron los procedimientos técnicas y herramientas de la vigilancia tecnológica.

Se analizó el estado del arte de las tecnologías y aplicaciones para del aprovechamiento y valorización material y energética del residuo NFU. Para ello se consultó a proveedores nacionales y extranjeros de este tipo de tecnología para determinar principios de funcionamiento, parámetros de operación, capacidades de producción, consumo energético, costos de adquisición, condiciones de mantenimiento, tiempo de vida útil, generación de residuos, afectaciones ambientales, ventajas y desventajas entre las distintas tecnologías.

Se aplicaron también los métodos, procedimientos, técnicas y herramientas de la vigilancia tecnológica, realizando búsqueda de tecnologías nuevas, patentes, investigaciones terminadas y en proceso para el caso de una vigilancia ocasional, consultando diversas bases de datos internacionales e información en sitios web especializadas destinadas para este fin. Los resultados de las búsquedas y consultas, utilizando las sentencias de búsqueda: (tyre* OR tire*) AND recycl*, entre los años 2005 al 2015, para los distintas bases de datos, se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de búsquedas y consultas de tecnologías y aplicaciones para el aprovechamiento y valorización material y energética del residuo NFU

Base de Datos	Documento	No	Sentencias de búsqueda
Current Contents Wok	Artículos	142	(Tire*OR Tyre*) AND recycl*
Science	Artículos	122	(Tire*OR Tyre*) AND recycl*
PATLIB-Espacenet	Patentes	120	(Tire*OR Tyre*) AND recycl*
Derwent Innovation Index WoK	Patentes	154	(Tire*OR Tyre*) AND recycling AND apparatus OR Machine AND (asphalt OR cement).
Coaster	Tesis Doctorales	3	(Tire OR Tyre) AND recycl*
BOE	Ley, Plan Nacional, Real Decreto	4	Neumáticos
Europa.eu.int	Directivas	2	Neumáticos
CORDIS	Proyectos I+D	13	(Tire OR Tyre) AND recycl*

Trabajo de campo y de gabinete: tanto de la parte preparatoria como de la ejecución de esta investigación, consistió en la: a) elaboración de guía de revisión de normas legales, decretos, disposiciones ministeriales, ordenanzas municipales y convenios internacionales que regulan la gestión de residuos peligrosos y no peligrosos en el país, b) elaboración de guía de entrevistas, formularios y listas de chequeo para la identificación y valoración de las afectaciones ambientales, todos estos instrumentos fueron aplicados en el trabajo de campo, elaborándose y aplicándose conforme la planificación de actividades de ejecución de la presente investigación, c) sistematización, análisis y procesamiento de la información obtenida.

El trabajo de campo, incluyó a) visitas e inspecciones in situ a los vertederos de residuos urbanos en el Municipio de Managua con el propósito de establecer procedimientos de la gestión del residuo NFU, aplicados por la administración municipal, b) visitas a los lugares de almacenamiento, tratamiento y disposición final de NFU, empleados por empresas importadoras, distribuidoras y comercializadoras de neumáticos, instituciones del estado, cooperativas de transporte y otras empresas consideradas como grandes generadoras del residuo. c) La aplicación del cuestionario para entrevistas personales a los distintos actores que participan en las distintas etapas de la gestión del residuo: generación, manejo, tratamiento y disposición final del residuo en el Municipio de Managua. La entrevista personal se realizó en un solo acto, indagando sobre todos los aspectos de interés para la presente investigación.

Las alternativas de aprovechamiento y de valorización material y energética del residuo, sometidas a análisis y evaluación fueron las siguientes: i) En calidad de combustible alterno para la producción de cemento y en plantas térmicas, tanto para la generación de energía térmica como energía eléctrica Marco (2002). ii) En calidad de materia prima para la producción de asfalto en el Municipio de Managua. iii) En calidad de materia prima para la elaboración de productos de cauchos, empleando procesos de trituración y molienda de los NFU Elías (2000). Estas fueron evaluadas aplicando el método de los factores ponderados y con los

indicadores económicos del valor presente neto, tasa interna de retorno y periodo de recuperación, seleccionado la alternativa que optimiza la gestión del residuo “neumático fuera de uso” considerando los aspectos tecnológicos, ambientales, económico-financieros y sociales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel de adecuación, aplicación y cumplimiento del marco legal ambiental del país que regula la gestión del residuo NFU, en el Municipio de Managua.

Para lograr la correcta eliminación de NFU muchos países europeos como España, Alemania, Inglaterra, Suecia, Finlandia, Holanda, entre otros cuentan con legislación específica en la materia. Costa Rica, Brasil y México se encuentran en etapa de generar leyes y reglamentos específicos. La principal dificultad que hoy en día presenta Nicaragua, para lograr una buena gestión y valorización del residuo NFU, es la falta de una legislación especial para este tipo de residuos, como también la inexistencia actual de empresas dedicadas al tratamiento y coincineración.

También se encontró una carencia de leyes y normativas orientadas a controlar la calidad del neumático que hoy se vende en el mercado, siendo las regulaciones claves para poner en marcha un sistema de gestión integral de neumáticos fuera de uso. Por otra parte, también falta crear conciencia ambiental y de calidad en los distintos niveles de la cadena de intermediarios y generadores. El concepto rector del futuro sistema, obligatoriamente debe estar basado en el principio de que “quien contamina paga”, el cual constituye un principio fundamental en la asignación de los costos de las medidas de prevención y lucha contra la contaminación, manifestando su materialización en la “responsabilidad extendida del productor”. La responsabilidad extendida del productor es un intento de protección del ambiente que se centra principalmente en el ciclo de vida del producto e intenta que fabricantes, distribuidores, intermediarios, usuarios, y empresas compartan la responsabilidad de reducir los impactos que el producto ocasiona al medioambiente.

La responsabilidad extendida del productor reconoce que éste puede asumir nuevas responsabilidades para reducir el impacto medioambiental de sus productos. Sin el compromiso serio del productor, no es posible, como país, hacer progresos significativos en la óptima conservación sustentable de recursos. Por otra parte, una mejora sustantiva no siempre puede ser lograda exclusivamente por los productores; además de ellos, tanto intermediarios como consumidores, así como las tecnologías de tratamiento existentes, deben concertarse para encontrar la solución más apropiada y rentable.

Diagnóstico de la gestión actual del residuo “Neumático Fuera de Uso”, en el municipio de Managua. Al finalizar el año 2015, el parque vehicular en el municipio de Managua, alcanzó un total de 218,311 vehículos, los cuales generaban 1,697, 575 unidades de NFU, que equivalen en peso a 19,329 toneladas anuales y de las cuales se desconoce su destino final. La gestión del residuo, es incipiente, informal e inadecuada. Los usos y destinos aplicados en el año 2015 a este residuo se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Estimaciones de usos y destino de NFU en el año 2015, municipio de Managua

Usos y destino de los NFU	Unidades	Ton/año	Porcentaje, %
Neumáticos sustituidos	1695,790	20145.83	
Reencauche	84,790	1007.29	5
Total NFU	1611,000	19329.07	
a) Uso directo en obras de Ingeniería Civil	48,300	386.58	2
1. Muros de contención		193.29	1
2. Estabilización de caminos		48.32	0.25
3. Construcción de Parques Infantiles		144.97	0.75
b) Usos agrícolas	16,110	193.29	1
1. Recipiente para alimentación de animales.		48.32	0.25
2. Bebederos		38.66	0.2
3. Siembra de almácigos		106.31	0.55
c) Usos artesanales	32,220	386.58	2
1. Elaboración de muebles,		19.33	0.1
2. Elaboración de accesorios eléctricos		11.60	0.06
3. Elaboración de adornos		77.32	0.4
4. Elaboración de juguetes		96.65	0.5
5. Fabricación de Calzado: Sandalias y suelas		77.32	0.4
6. Elaboración de maceteras		57.99	0.3
1. Elaboración de sellos y elementos amortiguadores para vehículos pesados.		46.39	0.24
d) Exportación de NFU	241,650	2899.36	15
1. NFU entero individuales		869.81	4.5
2. En pacas		2029.55	10.5
e) Almacenamientos inadecuados	563,850	6765.17	35
f) Combustión no controlada	80,550	966.45	5
1. Combustible para hornos de panadería		96.65	0.5
2. Combustible para hornos de cerámica		386.58	2
3. Combustión a cielo abierto		96.65	0.5
4. ro		386.58	2
g) Disposición final inadecuada	644,400	7731.63	40
1. Lanzamiento en cauces,		1449.68	7.5
2. Lanzamiento en terrenos baldíos,		1449.68	7.5
3. Lanzamiento en basureros ilegales		3865.81	20
4. Lanzamiento en la vía pública		966.45	5

Existen tres actividades de la cadena de manejo del residuo que generan afectaciones e impactos potenciales al ambiente y la salud siendo estos: (i) el almacenamiento inadecuado de los NFU; (ii) la combustión no controlada de NFU y (iii) la disposición final inadecuada.

Los usos actuales que se le da a los NFU en el país, no inciden significativamente en los volúmenes que se generan, no aprovechando el potencial que tiene este residuo como recurso material y energético para el país. De lo anterior, se hace necesario la organización de un sistema de gestión integral de los residuos NFU, basada en las mejores prácticas y experiencias internacionales de la gestión de este residuo, pero considerando las singularidades económicas, sociales, ambientales y culturales del país.

Es necesario, enfatizar, que para que este sistema funcione deben establecerse o crearse algunos elementos que hoy no existen como: leyes y regulaciones específicas, fiscalización necesaria de las mismas y centros específicos de tratamiento con variedad de opciones de valorización.

Además, deben establecerse al menos los siguientes aspectos: i) compromiso de los productores o de quienes en su defecto fungen como tales en el sistema, incentivar a los consumidores de disponer en forma limpia sus NFU, establecer control sobre los respectivos distribuidores para limitar y eliminar la venta informal de NFU, fomentando el compromiso de entrega al ente encargado de la gestión para una correcta disposición. ii) Compromiso de los distribuidores de ofrecer a los clientes la recepción de sus neumáticos de cambio y de participar en el proceso de gestión mediante un aviso programado para el retiro de sus NFU, además de no fomentar un mercado informal, evitando la venta de neumáticos usados a vulcanizadores, talleres automotrices o similares. iii) Compromiso de los consumidores, ya sean, personas naturales o jurídicas entregando sus neumáticos, en los centros de venta al momento de realizar sus cambios o en el caso de empresas, de disponer bajo su responsabilidad ambiental de manera limpia estos residuos. iv) fiscalizar todo el sistema en su conjunto, para controlar su funcionamiento y evitar prácticas inadecuadas como la venta de neumático dados de baja o usados.

Funciones y obligaciones de los actores que participan en la gestión integral del residuo

Estado de Nicaragua, su función fundamental será la de regulador y fiscalizador, además generar las leyes y normativas necesarias en los siguientes ámbitos: i) Regulación de los residuos NFU, mediante la creación de una Ley general de gestión de residuos y la normativa de la gestión de los residuos especiales NFU. Esta ley, establecerá los lineamientos básicos para el tratamiento de residuos en general, bajo el concepto de Responsabilidad Extendida del Productor, con el propósito de que, cualquier persona, ya sea natural o jurídica se haga responsable de su producto una vez terminada su vida útil. A partir de la misma y bajo un concepto de gradualidad, se generaría una normativa específica para el manejo de NFU que incluya las etapas de recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento, valorización material y energética, tratamiento y disposición final del residuo. Esta normativa debe establecer claramente los deberes, derechos y responsabilidades de cada uno y de todos los actores del sistema de gestión, asegurando igualdad de condiciones. ii) El organismo regulador para el sistema de gestión de NFU sería una

Comisión Ambiental conformada por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA), Ministerio de Salud (MINSA), Ministerio de Transporte e infraestructura (MTI), Alcaldía de Managua (ALMA), en coordinación con la Dirección General de Ingresos (DGA). El rol regulador y fiscalizador sanitario es del MINSA.

Regulación de calidad del producto: como se ha indicado previamente, existe una importante carencia de regulaciones respecto de la calidad de los neumáticos que hoy día se comercializan en el país. La regulación de la calidad del producto, es una garantía dirigida a prevenir la generación de residuos NFU. Por ello se hace necesario que, en base a leyes específicas se establezcan normas para regular la calidad de los neumáticos, que incluyan:

a) Norma de Homologación para la importación de neumáticos: regulará el ingreso de neumáticos al país, asegurando y certificando la calidad del producto para los usuarios- en cuanto a seguridad y duración - bajo estándares internacionales que, además, faciliten su identificación e información de características técnicas al ingreso – transparentando, de esta forma el mercado y responsabilidades futuras - controlados por una entidad certificadora.

b) Norma para regular la venta de neumáticos usados o de segunda: regulará y establecerá elementos que permitan restringir o prohibir la comercialización de neumáticos usados, para ser reutilizados en medios de transporte motorizado si no existen elementos mínimos de seguridad. Su objetivo será limitar y controlar el actual mercado informal – principalmente en el Mercado Oriental, negocios informales, vulcanizadoras y similares -, donde se pueda controlar el estado y estructura del neumático. Deben quedar exentos los neumáticos recauchados certificados.

c) Normas de homologación de nuevas tecnologías: cuyo objetivo debe orientarse a actualizar y aplicar las normas de referencia existentes y transformarlas en Ley. Dentro de la misma se deberá considerar la certificación de los neumáticos reencauchados y las instalaciones que realicen dicho servicio. El regulador y fiscalizador para la calidad de los neumáticos debería ser el Ministerio de Transporte e infraestructuras.

Los productores, fabricantes e importadores: los productores de neumáticos tendrían un rol importante en coordinar la logística de manejo de los NFU, definiendo el rol de distribuidores y comercializadores de neumáticos y vehículos nuevos y usados, incluyendo talleres mecánicos y vulcanizadoras, entre otros, para el adecuado manejo de los NFU, además estarían a cargo de establecer la modalidad de financiamiento del sistema, para lo cual se propone, inicialmente, el cobro de un importe adicional sobre el costo unitario de la venta de neumáticos nuevos, el que se debe detallar de forma explícita en la factura de venta, a fin de cubrir los costos de transporte, almacenamiento y disposición final del residuo.

Con lo antes planteado se podrá financiar un organismo gestor de neumáticos fuera de uso, para su posterior valorización en cualquiera de sus formas. No obstante, es importante recalcar que este sistema puede funcionar si y solo si existen las regulaciones necesarias y sistemas de homologación de calidad para que todos los productores actuales, sobre todo los importadores, operen en igualdad de condiciones y de costos.

Por otra parte, tendrían un rol relevante en la educación de los usuarios de neumáticos, a través de campañas de conciencia ambiental acerca de la calidad del producto y la adecuada gestión de los NFU, donde se buscará fomentar que, al momento de recambio del neumático, este se deje en los puntos de venta autorizados para ser retirado por un organismo gestor para su valorización.

Los intermediarios distribuidores y comercializadores: Los intermediarios, cumplen un rol clave para que el sistema de recolección funcione. Ellos son el nexo entre los usuarios de neumáticos y el organismo que gestione la recolección y valorización final de estos. Los NFU serán recibidos y almacenados en los centros de ventas, donde se realiza el cambio de neumáticos, para posteriormente ser retirados, previo aviso de un stock determinado.

Por otro lado, deben cumplir un rol de incentivo hacia los usuarios para dejar su neumático usado en el punto de venta. Otro rol, no menor a los antes señalados, corresponderá a la obligación de no ser parte de un mercado informal de venta de NFU, específicamente no entregar los neumáticos de cambio a ninguna otra entidad, que no sea la gestora de NFU, lo cual deberá ser fiscalizado por la entidad correspondiente, apoyado por los productores.

Los consumidores – generadores, personas naturales: Su rol está dado por las exigencias de calidad y seguridad al comprar un neumático y por el grado de sensibilización ambiental que se pueda lograr en ellos. El usuario deberá exigir que, una vez que se realiza el cambio de neumáticos, estos sean recibidos por los centros de venta para su posterior disposición final. Por otra parte, también debe exigir que los neumáticos comprados, tengan una garantía de calidad acorde a la legislación.

Empresas: como usuarios de neumáticos, ellos tendrán la responsabilidad de exigir una disposición final adecuada a sus NFU. Por otra parte, deberán exigir niveles mínimos de calidad para los neumáticos que adquieren, ya sea en forma directa a las empresas productoras, a través de sus centros de venta o bien por importación directa. En este último caso se deberán regir por las normativas existentes en materia de calidad. Dentro de las empresas, existe un mercado importante de neumáticos recauchutados. Para esto deberán exigir a las empresas rencauchadoras un certificado de calidad que asegure la excelencia del trabajo, avalado por normativas y la fiscalización respectiva.

Empresas rencauchadoras: las empresas rencauchadoras serán consideradas un actor del sistema de gestión, específicamente como un valorizador propiamente dicho, su rol es el de aumentar la vida útil del neumático y, por ende, prevenir la generación de NFU en exceso. Se espera que, con las nuevas normativas, la mayoría de este tipo de empresas se encuentre totalmente reguladas y certificadas, asegurando la calidad del neumático recauchado que vuelva al mercado. Los NFU, generados en este tipo de empresas, podrán entrar de forma directa al sistema o buscar una alternativa en conjunto con productores para su correcto manejo en destino final.

Destinatarios finales - centros de valorización: tras un correcto sistema logístico y de transporte, donde se reciban, almacenen y clasifiquen los NFU para su posterior valorización, éstos podrán ser enviados a distintas empresas privadas para aprovecharse en distintos usos, ya sea en obras de infraestructura, productos moldeados, asfalto, o co-incineración, etc. Los centros de valorización podrán contar con sus propios centros de acopio, al cual podrán llegar todos los neumáticos que ingresen al mercado mediante la vía legal, es decir, que hayan pagado un importe para la correcta gestión del NFU. Cada centro de valorización deberá certificar el adecuado procesamiento de NFU de cada productor, a fin de apoyar el sistema de control de los NFU efectivamente gestionados y la información hacia las entidades reguladoras y fiscalizadoras, lo que también permitiría validar el ingreso de nuevos neumáticos al país, transparentando el flujo del producto y permitiendo la trazabilidad del mismo. No obstante, es importante recordar que por el momento el número de proyectos que podría desarrollarse es relativamente limitado dados los volúmenes reales de NFU que se generan en el país.

Caracterización de las tecnologías y sus aplicaciones para el aprovechamiento y la valorización material y energética de los residuos NFU

Las tecnologías y aplicaciones que permiten una valorización material y energética del caucho de los NFU, son numerosas. No es necesario ceñirse a una única opción, y lo más ventajoso es utilizar varias de ellas. Del análisis realizado las tecnologías potencialmente aplicables son varias, considerando tanto el uso de NFU enteros o su trituración previa. Dentro de las opciones de uso de NFU enteros, coexisten una serie de alternativas de reciclaje en obras de infraestructura, como es el caso de sistemas de contención, debido a las ventajas que presenta su ejecución, puesto que los NFU, no requieren ser procesados y es más económico que el material de construcción convencional que sustituiría. Dentro de las opciones de uso de NFU triturado, se aprecian con una mayor factibilidad la fabricación de productos moldeados y el uso en asfalto. El asfalto a partir de caucho, es un producto que podría ser beneficioso en muchos sentidos, principalmente económicos a largo plazo, y de mejoramiento de las propiedades y características del asfalto convencional. Aunque el volumen de caucho triturado que consume esta alternativa sería mediano, su aplicación tiene diversos beneficios como aumentar la resistencia a deformaciones reducir significativamente los costos de mantenimiento y reducir el nivel de ruido.

La presencia de estos proyectos permite inferir, que las condiciones de producción a nivel nacional serían competitivas en los mercados de la región. No obstante, subsisten algunas barreras relacionadas con un mercado incipiente de los productos de NFU, que es necesario desarrollar, y una cantidad efectiva de NFU recuperables limitada para soportar la demanda de empresas valorizadoras interesadas.

Evaluación de las alternativas de aprovechamiento y valoración material y energética del residuo, seleccionado la óptima para la gestión integral del residuo en el municipio de Managua

De la gama de posibilidad de utilizar las distintas tecnologías el aprovechamiento y valoración material y energética del residuo NFU, se escogieron para su análisis y evaluación las alternativas

que se presentan en la tabla 3, que fueron : i) Aprovechamiento energético y materias primas en fábricas de cemento; ii) Aprovechamiento energético en calderas de termoeléctricas; iii) Materias primas para producción de pavimento asfáltico; iv) Trituración y molienda de NFU para la producción de polvo de caucho para la exportación, De Paul (2000).

Tabla 3. Selección de alternativas de aprovechamiento de NFU por el método de factores ponderados

Parámetro	Peso	Alternativa I Combustible y materia prima en la industria del Cemento.	Alternativa II Combustible para energía eléctrica en plantas termoeléctrica	Alternativa III Polvo de Caucho para pavimento asfáltico	Alternativa IV Polvo de caucho para productos de caucho
Valoración Máxima		100	100	100	100
Económico Cuantificable	25%	60	12	52	44
Económico no Cuantificable	20%	25	25	75	100
Social	20%	40	35	85	85
Ambiental	20%	75	50	65	90
Tecnológico	15%	60	27	34	100
Ponderación Final	100 %	52	29	63	81

Todas ellas, presentan las posibilidades de darle valor agregado a los residuos NFU , que por ahora se consideran un desecho sin valor económico alguno, así mismo una adecuada realización de los distintos procesos tecnológicos, garantizan los mínimos impactos y afectaciones al ambiente y a la salud de los pobladores, dado que la generación de emisiones contaminantes de gases está bajo estricto control y los residuos son casi nulos por que se integran a los procesos como materia prima o en su totalidad combustionan. No obstante, para las primeras dos alternativas se imposibilita su implementación dado que no existen las condiciones tecnológicas y las empresas existentes, por ahora no tienen interés en aplicar dichos procesos para aprovechar el residuo NFU, como combustible alterno.

Por lo que el análisis de alternativas se centró en las variantes iii) y iv) de los cuales se consideró la producción de caucho en polvo para su utilización en la elaboración de asfalto para la construcción y mantenimiento de calles y carreteras en el país o en su defecto para la importación de caucho en polvo a mercados extranjeros, que sirve como materia prima para la elaboración de una gran variedad de productos moldeados usados en diversas industrias.

Los resultados del análisis de las alternativas propuestas se presentan en las tablas 3 y 4. Se utilizaron criterios ambientales, tecnológicos, sociales y económicos, demostrando que la

alternativa de aprovechamiento técnica-económica y de viabilidad ambiental y social correspondió a la producción de caucho en polvo para su comercialización en mercados extranjeros, que presento los mejores índices tecnológicos, ambientales, sociales y económicos con una rentabilidad del 14.56 % superior a la tasa establecida por el Sistema Nacional de Inversión Pública.

Tabla 4. Análisis económico y financiero de los escenarios establecidos para el proceso de inversión de la planta de procesamiento de NFUs

Conceptos		Escenario uno		Escenario dos	Escenario tres	
Producto final		Caucho a malla 40		Caucho a malla 40 y 80	Caucho a malla 40	
Modalidad de inversión		Inversionista	Recolección, transporte y almacenamiento	Inversionista	Generadores/inversionista	
			Planta de procesamiento de NFUs.			
Mercados de los escenarios		Exportación		Exportación y asfalto	Exportación	
Mercados opcionales		Nacional/asfalto			Nacional/asfalto	
Inversión					Productor	Empresario
	Año 1	3,900,355 USD		4,578,702 USD	1,219,556 USD	2,680,799 USD
	Año 4	2,543,004 USD		3,221,352 USD		2,543,004 USD
	Total	6,443,360 USD		7,800,054 USD	1,219,556 USD	5,223,803 USD
Precio de venta (usd/ton)		340		Caucho malla 40:340	340	
				Caucho malla 80:500		
Costo económico (usd/ton)		269.81		312.37	47.83	200.62
Tasa interna de retorno (tir)		3.71 %		4.35 %		14.56 %
Relación beneficio/costo		0.75		1.09	1.63	

Tiempo de retorno de la inversión	7 años	7 años	5 años
-----------------------------------	--------	--------	--------

CONCLUSIONES

En el año 2015, se generaron 19,329.07 toneladas de NFU, de las cuales el 5 % se usó en obras civiles, en la agricultura y actividades artesanales, el 15 % se exporta, el 5 % se destinó a la combustión no controlada, el 35 % se almacena inadecuadamente y al 40 % se les da una disposición final inadecuada.

La inadecuada gestión de los NFU, generan potenciales impactos al ambiente y afectaciones a la salud de los pobladores del municipio de Managua. Las actividades de la cadena de manejo del residuo, que provocan estos impactos potenciales a los compartimientos ambientales – agua, suelo y aire- y a la salud humana, que resultan significativos, son: (i) la combustión no controlada de NFU, que generan 1922.07 toneladas de emisiones de CO₂ /año, (ii) el almacenamiento inadecuado de los NFU en conjunto con (iii) la disposición final inadecuada de los NFU, generan lixiviados de concentraciones significativas con potencial de contaminación de los recursos hídricos y los suelos del Municipio de Managua.

Las tecnologías desarrolladas, hasta el momento y que están disponibles para el aprovechamiento y la valorización material y energética de los NFU, son: recauchutado, tratamientos Mecánicos y reducción de tamaño, tecnologías de regeneración y termólisis.

Las alternativas de aprovechamiento y valorización material y energético de los residuos NFU, son : a) aplicaciones en la Ingeniería Civil, b) aplicaciones en la Ingeniería de Vertederos, c) relleno liviano y refuerzo de suelo, d) control de la erosión, e) construcción de arrecifes artificiales, f) construcción de barreras acústicas, g) aislamiento térmico, h) aplicaciones en hormigón modificado con caucho, i) aplicaciones en productos industriales moldeados y de consumo, j) co-procesamiento en la industria del cemento, k) co-procesamiento en plantas de generación de energía eléctrica.

La alternativa técnico-económica seleccionada para el aprovechamiento y valorización material y energética de los residuos NFU, corresponde a la producción de polvo de caucho malla 40 para la exportación, considerando la recolección, transporte y almacenamiento de NFU, a cargo del productor/importador e inversionista en una relación de aportaciones de capital 20/80 y una inversión total de 6,45 millones de USD, teniendo una rentabilidad con un tasa interna de retorno del 14.56 % con un periodo de recuperación de 5 años.

BIBLIOGRAFÍA

- Brundtland, H.G. (1992). *Nuestro futuro común*. Madrid, España. Alianza Editorial.
- Colegio oficial de ingenieros de industriales de Madrid. (2000). *Ponencias de Seminario sobre innovación en el aprovechamiento de NFU*. Madrid. España,
- De Marco, I. Laresgoiti, M. (2002). *Recycling polymeric wastes by means of pyrolysis*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. Volume 72. p. 817-824.
- De Paul, J. (2000). *Fabricación de granulado de caucho de NFU por molienda criogénica*. *Seminario sobre Innovación en el Aprovechamiento de NFU*.
- Elías, X. (2000). *Reciclaje de Residuos industriales. Aplicación a la fabricación de materiales*.
- EPA. (1976). *Hazardous Waste Generation, Treatment and Disposal*. USA.
- Milán, J.A. (2010). *Cambio climático en Nicaragua*. Managua, Nicaragua. Editorial Pascal Chaput, Bolonia Printing.
- Romero, P. A. (2012). *El ciclo de vida de los productos. Diseño y análisis para la innovación sostenible*. Bogotá, Colombia. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

SEMBLANZA DEL AUTOR



Sergio Enrique Álvarez García: Máster en Ciencias de la Ingeniería Química por el Instituto Politécnico de Kiev. Investigador de la Dirección de Investigación y Orientación Tecnológica (DINOT-UNI) de la Universidad Nacional de Ingeniería, Profesor Titular de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ-UNI) de la Universidad Nacional de Ingeniería. Consultor especializado en las áreas de Ingeniería de Procesos, Energía y Medio Ambiente.