UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

tnu TRATAMIENTO NEUMÁTICOS USADOS

NFU: Tech mining, Responsabilidad Ampliada del Productor y Economía Circular

Valencia,
Marzo, 2021

Realizado por:
Miguel Ángel Artacho Ramírez
José Miguel Vicente Gomila

Índice

1. Tech mining sobre neumáticos fuera de uso. 10

1.1 Introducción 10

1.2 Metodología 10

1.3 Análisis realizados 12

1.4 Análisis de patentes sobre las diferentes tecnologías viables para el reciclado y regeneración de neumáticos. 13

1.5 Pirólisis 13

1.6 Desvulcanización 20

1.7 Búsqueda de patentes y publicaciones científicas a partir de palabras clave 22

1.8 Búsqueda de aportaciones por palabras clave relacionadas con el reciclado de neumáticos. 31

1.9 Análisis TFIDF ("Term Frequency times Inverse Document Frequency") 36

1.10 Análisis de elementos emergentes 37

1.11 Discusión y conclusiones 40

2. Responsabilidad Ampliada del Productor: Breve estado del arte 44

2.1 Responsabilidad ampliada del productor de neumáticos de desecho en la UE 45

2.2 Casos de Estudio 47

2.3 Desafíos en la implementación de la responsabilidad ampliada del productor en una economía emergente: el caso de China 61

2.4 Un sistema integrado de gestión de la cadena de suministro de NFU y barreras para su promoción. 62

2.5 Discusión e implicaciones 66

2.6 Discusión y conclusiones 68

2.7 Implantación reciente del sistema EPR en Colombia. 69

2.8 Descripción del sistema EPR de neumáticos colombiano 70

2.9 Desempeño del sistema EPR de neumáticos de Colombia: recolección y tratamiento de neumáticos al final de su vida útil 72

2.10 Desafíos observados y enfoques de mejora 74

2.11 Discusión y conclusiones sobre el caso de Colombia 78

3. Responsabilidad ampliada del productor y economía circular 80

3.1 Introducción 80

3.2 Revisión de la literatura 81

3.3 Análisis e implicaciones futuras 85

3.4 Discusión y Conclusiones sobre EPR y EC. 90

6. Gestión de NFU en España en la primera década del s. XXI. 94
6.1 Discusión y Conclusiones sobre las acciones emprendidas 95
7. Conclusiones Finales 98
8. Referencias bibliográficas 110
9. Anexos 124
9.1 Estrategias de búsqueda 124
9.2 Algunas aplicaciones concretas extraídas de las patentes 125
9.3 Definiciones de las clasificaciones de patentes cubiertas por la pirólisis y el reciclado de neumáticos (con el número de familias de patentes para cada clasificación, relacionado con la matriz 1 de pirólisis) 131
9.4 Artículos científicos revisados 138
9.5 Ejemplos de productos diseñados a partir de NFU 162

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de co-ocurrencias en el ámbito de pirólisis de neumáticos. 15

Tabla 2. Principales Instituciones por número de publicaciones en “Tire Derived Fuel” (* Instituciones procedentes de India). 18

Tabla 3. Instituciones de investigación más especializadas en la desulfuración del TDF. 19

Tabla 4. Instituciones de investigación españolas especializadas en la desulfuración del TDF 19

Tabla 5. Instituciones con más publicaciones en las distintas palabras clave 24

Tabla 6. Liderazgo empresarial en aplicación para Hormigón &Cemento (izda.) y Asfalto (dcha.)..... 34

Tabla 7. Liderazgo empresarial de aplicación para Fibras (izda.) y Cables de Acero (dcha.). 35

Tabla 8. Puntuación TFIDF de términos relacionados con el reciclado de neumáticos..... 37

Tabla 9. Expertos emergentes. 40

Tabla 10. Número de PRO por Estado miembro de la UE. Traducida de Winternitz et al. (2019). 46

Tabla 11. Comparación del alcance y los objetivos de la responsabilidad ampliada del productor belga, italiana y holandesa para la legislación sobre neumáticos (ELV - vehículos al final de su vida útil). Traducida de Winternitz et al. (2019). 56

Tabla 12. Estructura de gobierno y asignación de tareas del ERP colombiano. Traducida de Park et al. (2018). 72

Tabla 13. Gestión de NFU en los países seleccionados. Traducida de Park et al. (2018). 73

Tabla 14. Opciones de retención de valor. Traducida de Campbell et al. (2020). 83

Tabla 15. Jerarquía “R” para el caso de neumáticos. Traducida de Campbell et al. (2020). 85

Índice de figuras

Figura 1. Utilización del neumático usado en la UE desde 1994 a 2012. Fuente: ERTMA, 2013. 11

Figura 2. Flujo porcentual de neumáticos usados según aplicaciones y destinos. 12

Figura 3. Porcentaje de patentes entre las distintas tecnologías empleadas para el reciclado de neumáticos. 13

Figura 4. Empresas emergentes en pirólisis. 15

Figura 5. Número de patentes registradas por las 10 primeras firmas en el ámbito de pirólisis. 16

Figura 6. Principales instituciones por número de publicaciones científicas en "*Tire Derived Fuel*". .. 17

Figura 7. Número de publicaciones científicas sobre "*Tire Derived Fuel*" por institución. 18

Figura 8. Evolución del número de patentes por organización en desvulcanización. 20

Figura 9. Aportaciones menores en la última década de patentes en desvulcanización. 21

Figura 10. Términos prominentes en bibliografía científica sobre desvulcanización. 21

Figura 11. Organizaciones más activas en desvulcanización y distribución de sus aportaciones según temáticas prominentes. 22

Figura 12. Número de apariciones y evolución con el tiempo de artículos científicos en los que aparecen esos términos y sus combinaciones. 23

Figura 13. Número total de publicaciones según palabras clave destacadas en las publicaciones. 25

Figura 14. Número total de publicaciones de las organizaciones agrupadas por país. 25

Figura 15. Comparación del número de publicaciones en cada caso por continentes. 26

Figura 16. Aportaciones según los casos para China. 27

Figura 17. Aportaciones según los casos para USA. 28

Figura 18. Aportaciones según los casos para India. 28

Figura 19. Aportaciones según los casos en Inglaterra. 28

Figura 20. Aportaciones según los casos para Portugal. 29

Figura 21. Aportaciones según los casos para Malasia. 30

Figura 22. Aportaciones según los casos para España. 30

Figura 23. Relación y colaboración entre instituciones dedicadas a la investigación de aplicaciones industriales de trozos y partículas de caucho a partir de neumático de desecho. 31

Figura 24. Número acumulado de patentes relacionadas con aplicaciones de caucho reciclado/reutilizado y su evolución temporal. 32

Figura 25. Tipos de fibras presentes en neumáticos más citadas en registro de patentes 33

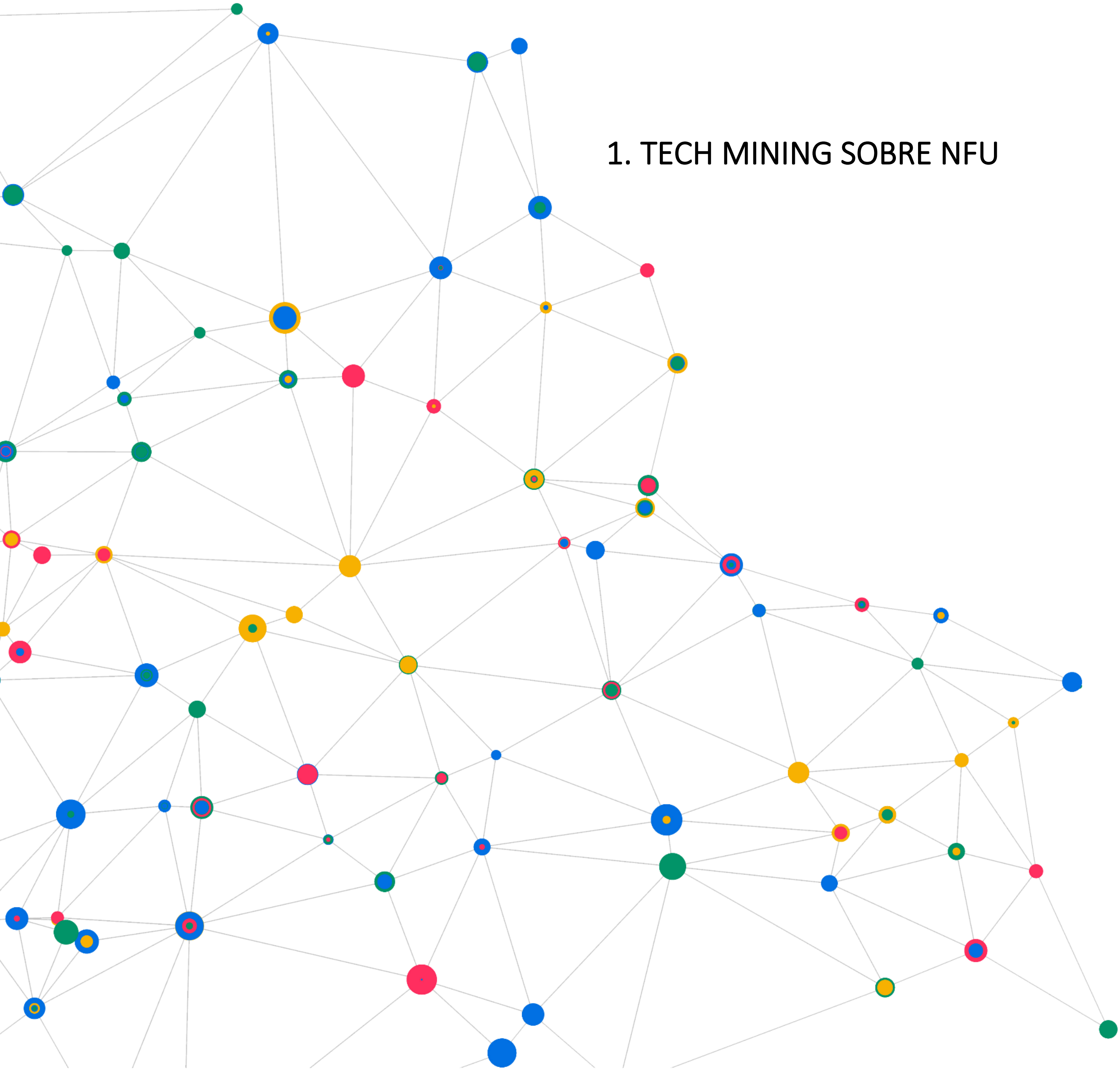
Figura 26. Número de publicaciones y evolución temporal sobre Negro de Humo y Silica para el relleno de neumáticos. 33

Figura 27. Patentes de organizaciones líderes activas en tres de las cuatro aplicaciones. 35

Figura 28. Distribución de patentes por países. 36

Figura 29. Distribución de patentes por continentes. 36
Figura 30. Términos emergentes 38
Figura 31. Organizaciones emergentes. 39
Figura 32. Países emergentes. 40
Figura 33. Tratamiento de neumáticos de desecho bajo la responsabilidad ampliada del productor en la Unión Europea en 2015. Traducida de Winternitz et al. (2019). Los países marcados con * aún no tenían un EPR en funcionamiento para neumáticos en 2015. 47
Figura 34. Tratamiento de neumáticos de desecho en Bélgica, Italia y Países Bajos. 48
Figura 35. Comparación de las tasas de tratamiento en Bélgica, Italia y los Países Bajos. Traducida de Winternitz et al. (2019). 58
Figura 36. Un sistema integrado de gestión de la cadena de suministro para NFU en China. Traducida de Hu et al. (2021). 63
Figura 37. Partes interesadas en el sistema EPR de neumáticos colombiano y flujos monetarios y de material. Traducida de Park et al. (2018). 71
Figura 38. Disposición de neumáticos recolectados (recauchutados / reutilizados, procesados o quemados) y objetivos de recolección (en 1,000 unidades) entre 2012 y 2016. Traducida de Park et al. (2018). 73

1. TECH MINING SOBRE NFU



1. Tech mining sobre neumáticos fuera de uso.

1.1 Introducción

Tanto el caucho individual natural como mezclas de cauchos EPDM, SBR, BR, materiales de refuerzo, agentes curativos y plastificantes contribuyen, individual y colectivamente, a las propiedades del composite neumático. Estos componentes se vulcanizan juntos para impartir propiedades específicas a un compuesto de neumático. La vulcanización como es sabido consiste en la reticulación del caucho utilizando azufre o un compuesto que contiene azufre, un proceso descubierto por Charles Goodyear en 1839 [Rajan et al. 2006, Akiba et al. 1997]. Como resultado, los enlaces transversales conectan las cadenas de goma para formar una estructura reticulada de caucho. Así, los neumáticos son elásticos, insolubles e infusibles de material termoestable, motivo por el que pueden reprocesarse, como es el caso de los materiales termoplásticos. También se usan aditivos varios como estabilizadores, antioxidantes y anti-ozonizantes que aumentan las razones por las cuales los neumáticos son extremadamente resistentes a la biodegradación, descomposición fotoquímica, reactivos químicos y altas temperaturas (Baricevic et al. 2018; Ferrão et al. 2008; Roche et al. 2011). Por estas razones, la gestión de neumáticos usados se ha convertido en un serio desafío tecnológico, económico y ecológico. Aproximadamente, se generan 19 millones de toneladas de neumáticos anualmente en el mundo (Mohajerani et al., 2020) y se estima que en todo el planeta se descartan 800 millones de neumáticos por año. Concretamente, en Europa alcanzan su fin de vida más de 3 millones de toneladas de neumáticos (ETRMA, 2019). Analizar tendencias de progreso, de aplicaciones, identificar los actores principales y su nivel de actividad es clave para detectar el mejor modo de tratar toda esa cantidad de residuos. En esta labor de búsqueda el empleo de Tech mining es de gran utilidad.

El Tech mining es la aplicación de herramientas de minería de texto a partir de grandes bases de datos de ciencia y tecnología, enfocadas en los elementos clave de la gestión de la innovación y la tecnología (Porter, 2005). El Tech mining intenta responder a preguntas, entre otras, relacionadas con la gestión de la ciencia y la tecnología:

- ¿Quiénes son y dónde se encuentran los principales expertos del área?
- ¿Cuáles son las fortalezas y las principales deficiencias en este campo?
- ¿Quién está haciendo qué, dónde y cuándo?

1.2 Metodología

Los análisis que se muestran a continuación han pasado por los procesos típicos de la aplicación de Tech mining: realizar las búsquedas de referencias pertinentes, importar usando filtros adecuados, añadir los meta-tags a cada campo, agrupar, limpiar y desambiguar los datos, analizar las co-ocurrencias, las correlaciones, las tendencias, el análisis de conceptos emergentes y el PCA. Finalmente se han utilizado distintas técnicas de representación para destacar dichos análisis. Los elementos emergentes están basados en la sistemática seguida por FUSE (Foresight & Understanding from Science Exposition, desarrollado por el Intelligence Advanced Research Projects Activity (IARPA)

Las fuentes a partir de las cuales se han extraído los datos provienen de bases de datos de patentes y de publicaciones y artículos de revistas indexadas en índices de prestigio, gran impacto y relevancia. En lo referente a patentes, los datos se han extraído de la base de datos Lexis Nexis Total Patent One, que cuenta con más de 137 millones de patentes de 107 autoridades nacionales de todo el mundo. Actualmente, se trata de la base más completa que existe en el mercado.

Para establecer las tendencias y los análisis se ha utilizado familias de patentes a fin de no contabilizar valores duplicados. Las familias de patentes implican todas las solicitudes de patentes que un titular registra en cada país en el que intenta defender sus innovaciones. Todas esas patentes de una familia son muy parecidas entre sí y no se deben contar como distintas. Por tanto, todo este trabajo y las tendencias se elaboran a partir del número de familias (grupos de patentes iguales) lo que conlleva más trabajo, pero aporta un valor real acerca de aquello que exactamente está protegiendo cada empresa titular. De igual modo, cada término que aparece en las gráficas y matrices corresponde al número de familias que citan esos términos. Así, se obtiene una idea de qué temas son más relevantes y cuál es su progresión en los últimos años.

Para los datos científicos publicados se han descargado miles (ver referencias) de artículos a partir de fuentes como Web of Science y/o Scopus. Para realizar los análisis de Tech mining se ha utilizado la herramienta VantagePoint de Georgia Tech de EE. UU. En todos los casos, la contabilización del número de patentes se ha realizado contando sólo un miembro (una patente) por familia de patentes.

En la figura 1 se muestra en porcentajes la evolución que han ido experimentando los distintos tratamientos aplicados a los neumáticos usados en la UE. Se puede apreciar cómo el porcentaje de neumáticos que acaban en el vertedero ha ido descendiendo considerablemente en las últimas décadas (de algo más del 60% al 5%). Hasta 2008 pasa lo mismo con el porcentaje de neumáticos que se usaba para recuperar energía y el que se reciclaba. El porcentaje de neumáticos usados que se recauchutaba o reusaba se ha mantenido constante y entorno al 10% del total. También se observa que desde 2008 los porcentajes de aplicación de los distintos tratamientos se mantienen prácticamente constantes.

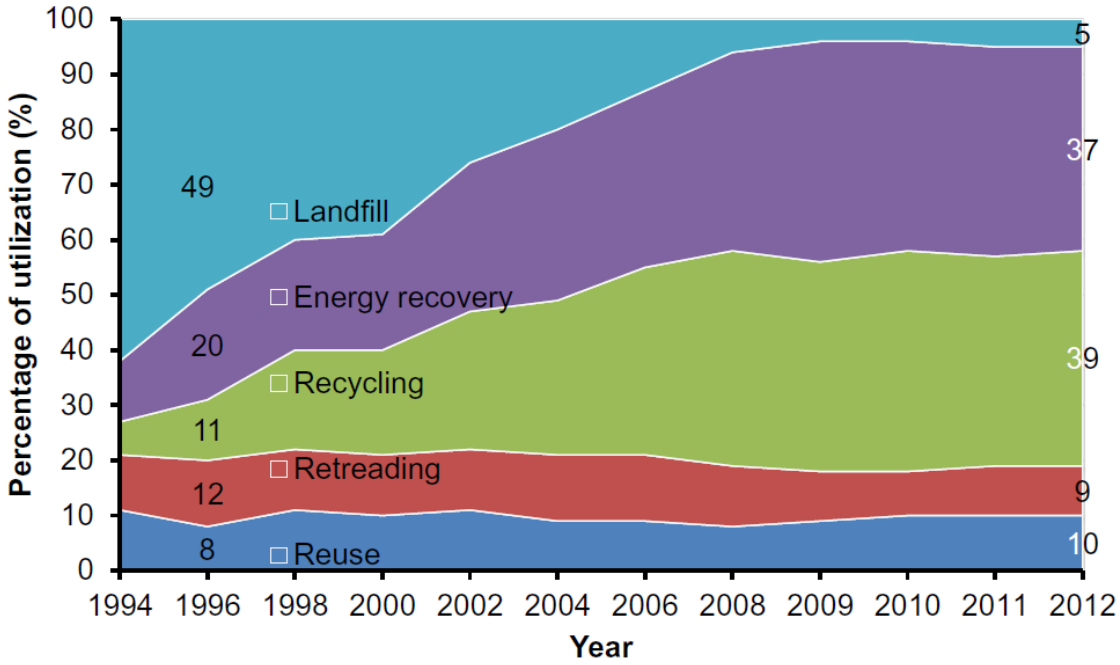


Figura 1. Utilización del neumático usado en la UE desde 1994 a 2012. Fuente: ERTMA, 2013.

En la figura 2 se muestra el flujo porcentual de neumáticos usados según aplicaciones y destinos.

Figura 2. Flujo porcentual de neumáticos usados según aplicaciones y destinos.

1.3 Análisis realizados

A continuación, se proponen diversos análisis explicados sobre distintos temas relacionados con el reciclado y la recuperación de los neumáticos, en particular:

- Análisis de patentes sobre las diferentes técnicas viables para el reciclado de neumáticos y regeneración
- Pirólisis y "Tire Derived Fuel"
- Desvulcanización
- Búsqueda de patentes y publicaciones científicas a partir de palabras clave
- Búsqueda por palabras clave relacionadas con el reciclado de neumáticos
- Identificación de las empresas líderes en patentes en cada una de las aplicaciones analizadas
- Análisis TFIDF ("Term Frequency times Inverse Document Frequency")
- Análisis de elementos emergentes

1.4 Análisis de patentes sobre las diferentes tecnologías viables para el reciclado y regeneración de neumáticos.

La figura 3 muestra el resultado de la búsqueda patentes de las diferentes tecnologías viables de reciclado y regeneración de neumáticos (Criogénica, Microbiológica, Pirólisis y Microondas).

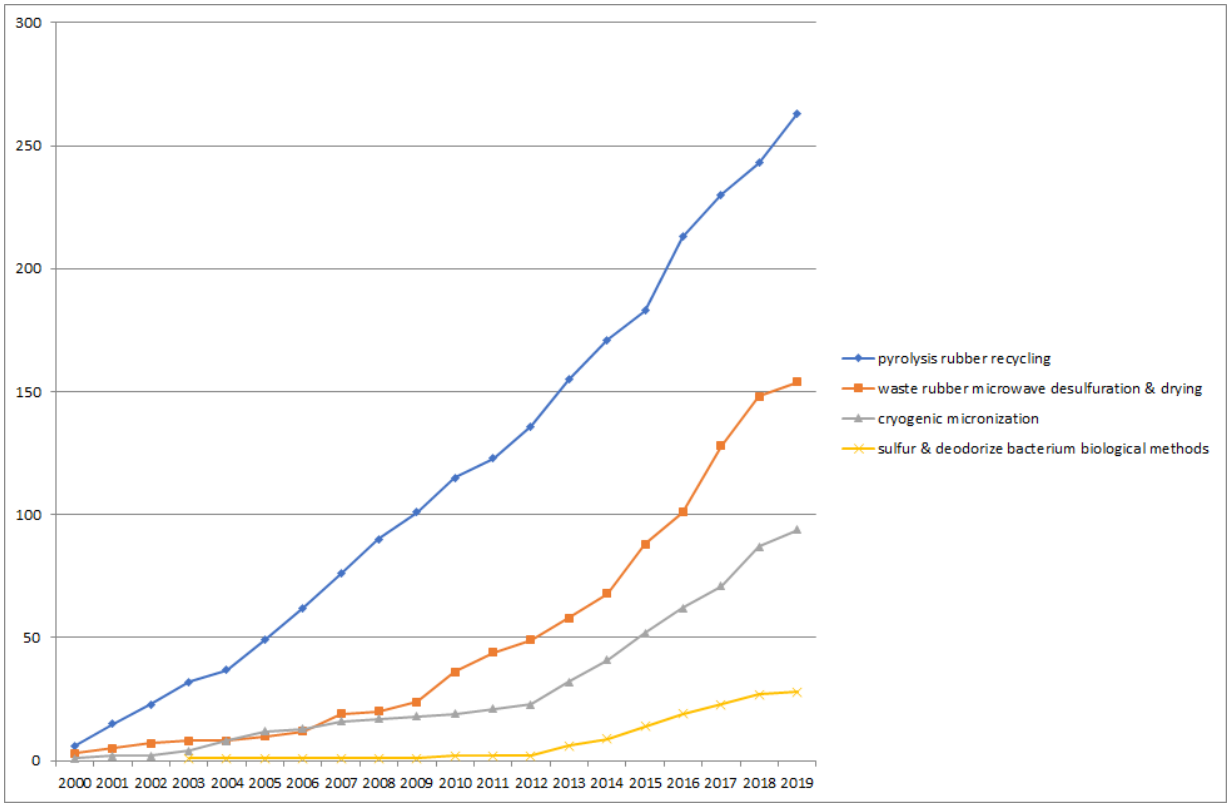


Figura 3. Porcentaje de patentes entre las distintas tecnologías empleadas para el reciclado de neumáticos.

Se pone de manifiesto el mayor número de patentes en la tecnología de reciclado de neumáticos basada en procesos de pirólisis, que mantiene una pendiente de crecimiento más o menos constante en los últimos 20 años. Sin embargo, cabe destacar el crecimiento experimentado desde 2012 del resto de tecnologías, destacando sobre todo las técnicas de desvulcanización basada en microondas y, con un número menor de aportaciones, el uso de la criogenización como tecnología de molienda para la reducción de tamaño del grano hasta obtener polvo de caucho. La desvulcanización química a partir de procesos biológicos parece ser la de menor evolución e interés de las tecnologías analizadas en los últimos años.

1.5 Pirólisis

La pirólisis es un proceso que consiste en la descomposición de un compuesto por acción del calor (400-800 ºC) y sin presencia de oxígeno que se utiliza para recuperar parte del gasto energético y material de la fabricación de neumáticos, así como para solucionar en parte el problema medioambiental que se genera tras su uso. Con este método se pueden descomponer los neumáticos y reutilizar sus componentes. Los neumáticos se reducen a unas corrientes gaseosas, de aceite condensable, residuo carbonoso y metal.

El proceso de pirolisis genera un 40 % de líquidos y un 16 % de gases de elevado poder calorífico, utilizables como combustibles y/o fuentes de materia prima. El 44 % restante que queda tras el proceso es materia sólida inorgánica (principalmente acero y negro de humo no volátil). Se trata de cargas, metales y hollín, que quedan prácticamente inalterados y se pueden reutilizar en diversas aplicaciones (producir tinta china, tinte negro, pintura, relleno de refuerzo de caucho…).

Actualmente en el proceso de pirólisis de neumáticos, para que la operación resulte rentable es necesario valorar tanto la corriente gaseosa como la corriente de aceites condensables, aunque el mayor margen de valorización esté en el negro de humo pirolítico.

A pesar de ser una tecnología que permite una elevada valoración material y energética de los neumáticos usados, la pirólisis presenta problemas de implantación debido al elevado coste de la instalación requerida. Aun así, la empresa Life for Tyres comenzó el pasado agosto las obras de su planta de valorización de neumáticos usados en el polígono La Nava de Puertollano (Ciudad Real) con la previsión de inicio de operaciones en diciembre de 2021.

Una combinación muy interesante podría ser buscar una simbiosis entre plantas de pirólisis y cementeras, así se podrían ahorrar costes, empleando los aceites pirolíticos como combustible y el negro de humo para la fabricación de cementos que no requieran elevadas características técnicas.

1.5.1 Análisis de Patentes sobre pirólisis

En La matriz de co-ocurrencias en el ámbito de pirólisis de neumáticos, ver Tabla 1, se muestran los principales titulares de familias de patentes (una por familia) y las clasificaciones cubiertas. Estas clasificaciones las otorga la correspondiente oficina nacional de patentes para clasificar el acervo tecnológico producido en el mundo. Existen diversos trabajos de análisis tecnológico apoyándose en la Clasificación Internacional de Patentes. En dicha matriz se puede ver las celdas en blanco donde los principales titulares no están presentando reivindicación alguna, motivo por el que pueden constituir áreas de 'white space' o áreas en las que hay pocas o ninguna patente, constituyendo áreas de posibles oportunidades de desarrollo.

Por ejemplo, en la columna 19 (B29C), apenas hay una patente. Si se analiza la tabla con las definiciones de patentes del apartado 7.3 del anexo al presente documento, se puede ver que corresponde a una patente sobre procesado de plásticos propiedad de la empresa Continental.

Reset		Normalized Assignee (Cleaned) (Clean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		# Records	488	355	163	146	131	113	84	83	81	80	75	65	55	54	50	28	27	24	19	18	14	13	12	10
(Cleaned) NA	# Records	Show Values >= 1 and <= 15 Cooccurrence	C10G: Chem	C10B: Chem	C09C: Chem	C08J: Chemi	B01J: Perfor	C01B: Chem	C08L: Chemi	C08K: Chem	F23G: Mecha	B29B: Perfor	B09B: Perfor	C10J: Chemi	B01D: Perfor	C10L: Chemi	B60C: Perfor	C07C: Chem	C04B: Chem	C02F: Chem	B29C: Perfor	C10K: Chem	C08G: Chem	H01M: Electr	G01N: Physi	C08C: Chem
1	17	BRIDGESTONE	4	5	4	4		1	10	13			1				6									2
2	17	CONTINENTAL - Federal Republic of Ger	2		3	6			10	10		1					15				1					1
3	11	CABOT - Boston, Massachusetts, United S			7		2	8		2									2				1			
4	10	UT BATTELLE - 37831-6258, ONE BETH			5															2				8		
5	9	MICHELIN - 12 Cours Sablon, 63000 Cler							1			2	2	4			5						1			
6	6	KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEA	4		3	2		2				1	2													
7	5	NANKAI UNIVERSITY - People's Republic					3								2				1							
8	5	SABIC - P.O. Box 5101, Riyadh 11422, Ki	5				4																			
9	5	SUMITOMO				1			4	1							5								1	
10	4	TAIHEIYO CEMENT				2					3		4						4							
11	4	TIANJIN UNIVERSITY		4																						
12	4	ZHEJIANG UNIVERSITY	3		3	3												1								
13	3	DOW - 48674, 2040 DOW CENTER, MID													3											
14	3	EXXONMOBIL - Houston, Texas, United St					1	1								1										
15	3	HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE		1	1		1	2												1						
16	3	NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL	1	1							2		2	1		1				1						
17	3	UNIVERSITY OF CALIFORNIA - 1111 Fra					3																2			
18	2	GREE	1	1																						
19	2	HANKOOK TIRE				2			2	2							2									
20	2	HARRIS - Melbourne, Florida, United State	1																							
21	2	KOREA INSTITUTE OF INDUSTRIAL TEC			2																					
22	2	NANJING UNIVERSITY												2	2							2				
23	2	SHANGHAI JIAOTONG UNIVERSITY			1	1			1	1									1							
24	2	SINOPEC												1		1										
25	2	SOUTHEAST UNIVERSITY	1	1				1																		

Tabla 1. Matriz de co-ocurrencias en el ámbito de pirólisis de neumáticos.

Resulta interesante conocer la relación de empresas emergentes en pirólisis. Se llaman emergentes porque cumplen unos patrones contrastados para ello, a saber: crecen en número de patentes solicitadas, tienen un creciente número de inventores participando en el desarrollo, y su actividad es permanente en al menos los últimos 10 años en comparación al resto.

La Figura 4 muestra las tres empresas con las clasificaciones más usadas a la derecha de la tabla, los países donde se registran sus patentes en prioridad (Austria, Bélgica, Suiza, etc.) y el ritmo de registro según los últimos años. Así, las empresas emergentes son Bridgestone, Continental y Michelín por su creciente y continuada implicación en la protección de elementos en torno a la pirólisis.

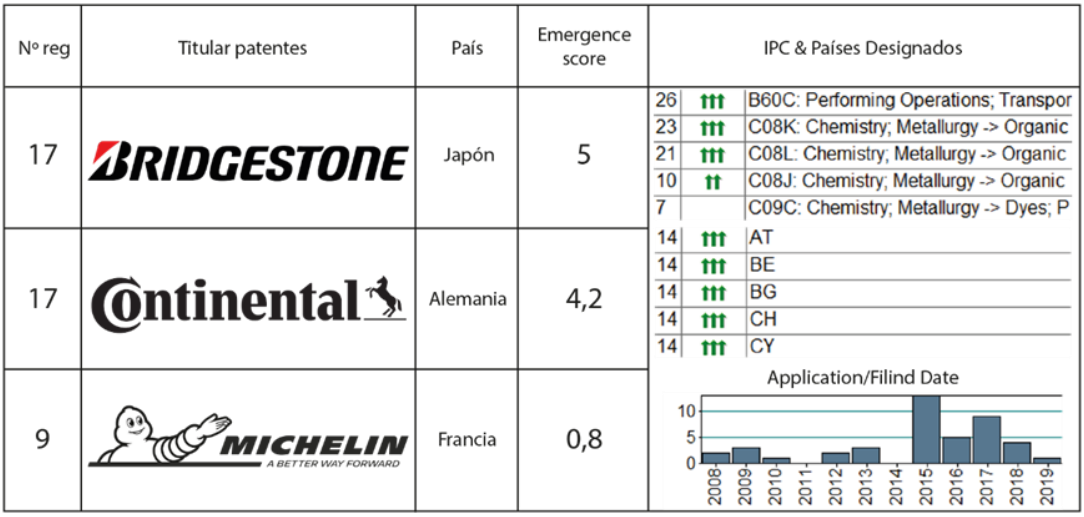


Figura 4. Empresas emergentes en pirólisis.

A continuación, se evalúa la evolución a lo largo de los últimos años del número de patentes registradas por las 10 primeras firmas acerca de pirólisis, ver figura 5. Las más prolíficas en este campo de pirólisis, con un mayor número de familias de patentes en los últimos años, son Bridgestone, Continental, Cabot y Batelle, seguidas de Michelin.

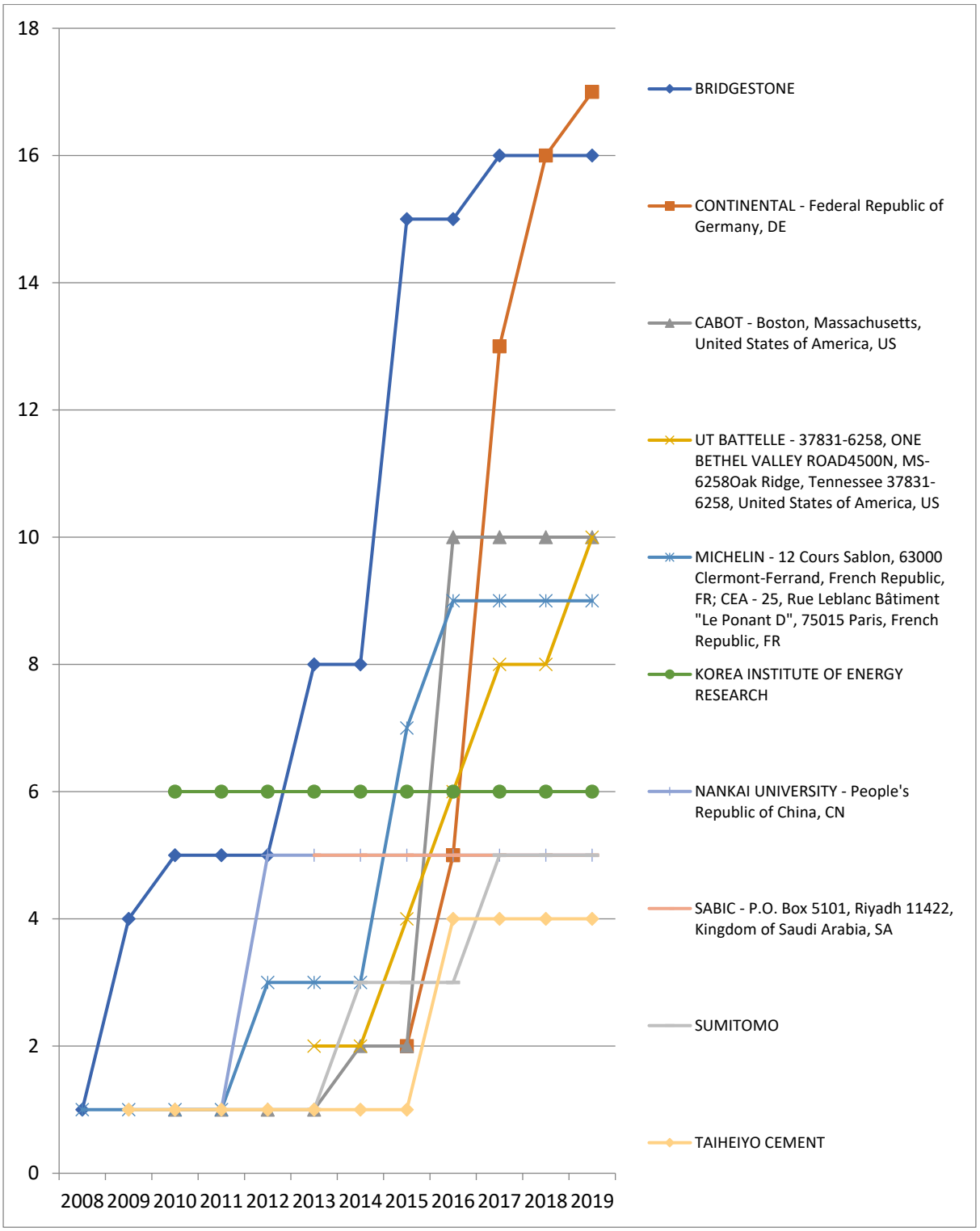


Figura 5. Número de patentes registradas por las 10 primeras firmas en el ámbito de pirólisis.

1.5.2 Tire Derived Fuel (TDF).

Usando la tecnología de pirólisis se puede extraer aceite de los neumáticos de desecho. Existen dos tipos principales de aceites residuales, H09 y H18, que se derivan de la pirolisis del caucho. El aceite H09 es el que contiene un mayor porcentaje de coque (10%), mientras que el aceite H18 contiene un 1,8%. El coque pirolítico se puede separar totalmente del aceite pirolítico, el cual puede emplearse como asfalto modificado. El aceite también se llama aceite para neumáticos o aceite de pirólisis y es un combustible alternativo importante para muchas industrias. Este aceite se puede reprocesar y refinar mediante una torre de destilación. Después de la destilación, se puede obtener aceite diesel calificado. Este tipo de aceite puede ser ampliamente utilizado en industrias como las fábricas de acero y hierro, industrias de cerámica o químicas, así como por hoteles, restaurantes, etc. También se puede usar para generadores destinados a la obtención de electricidad y en maquinaria pesada.

A partir de bases de datos de artículos científicos se ha realizado una búsqueda extrayendo el término 'Tire Derived Fuel´ o TDF' y todas sus acepciones agrupadas. La figura 6 muestra las principales instituciones de investigación en esta área por número de publicaciones.

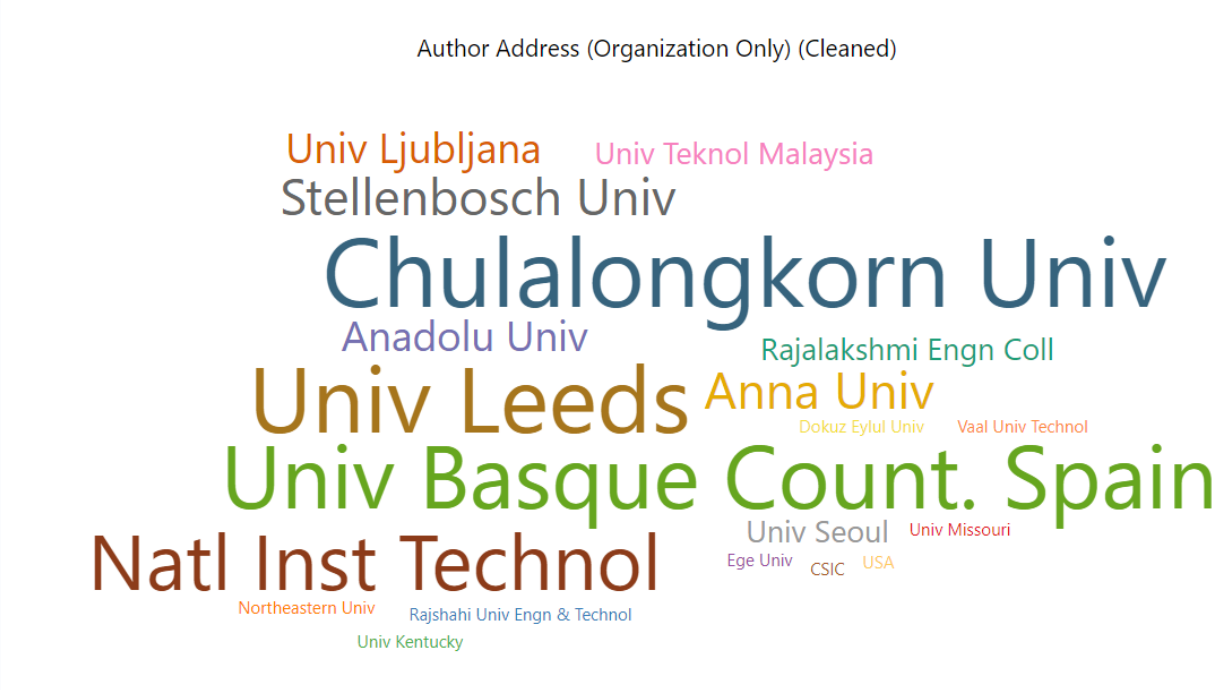


Figura 6. Principales instituciones por número de publicaciones científicas en "*Tire Derived Fuel*".

Destacan Chulalongkorn University de Tailandia, Leeds University del Reino Unido y la Universidad del País Vasco (EHU).

En la Tabla 2. aparece la relación de las principales instituciones y el país de procedencia. Destaca el clúster que forman las tres instituciones indias.

Institución	Ciudad/País
Chulalongkorn University	Bangkok, Thailandia
Leeds University	Leeds, Reino Unido
Universidad del País Vasco (UPV/EHU)	España
National Institute of Technology	Jaipur, India*
Anna University	Chennai, India*
Stellebosch University	Sudáfrica
Anadolu University	Eskişehir, Turquía
University Ljubljana	Slovenia
Rajalakshmi Engineering College	Chennai, India*
University Seoul	Seoul, Corea
University Teknol Malaysia	Kuala Lumpur, Malasia

Tabla 2. Principales Instituciones por número de publicaciones en "Tire Derived Fuel" (* Instituciones procedentes de India).

A continuación, se muestra en la figura 7 la evolución a lo largo de los últimos años del número de publicaciones científicas sobre "*Tire Derived Fuel*" por institución y su tendencia acumulada.

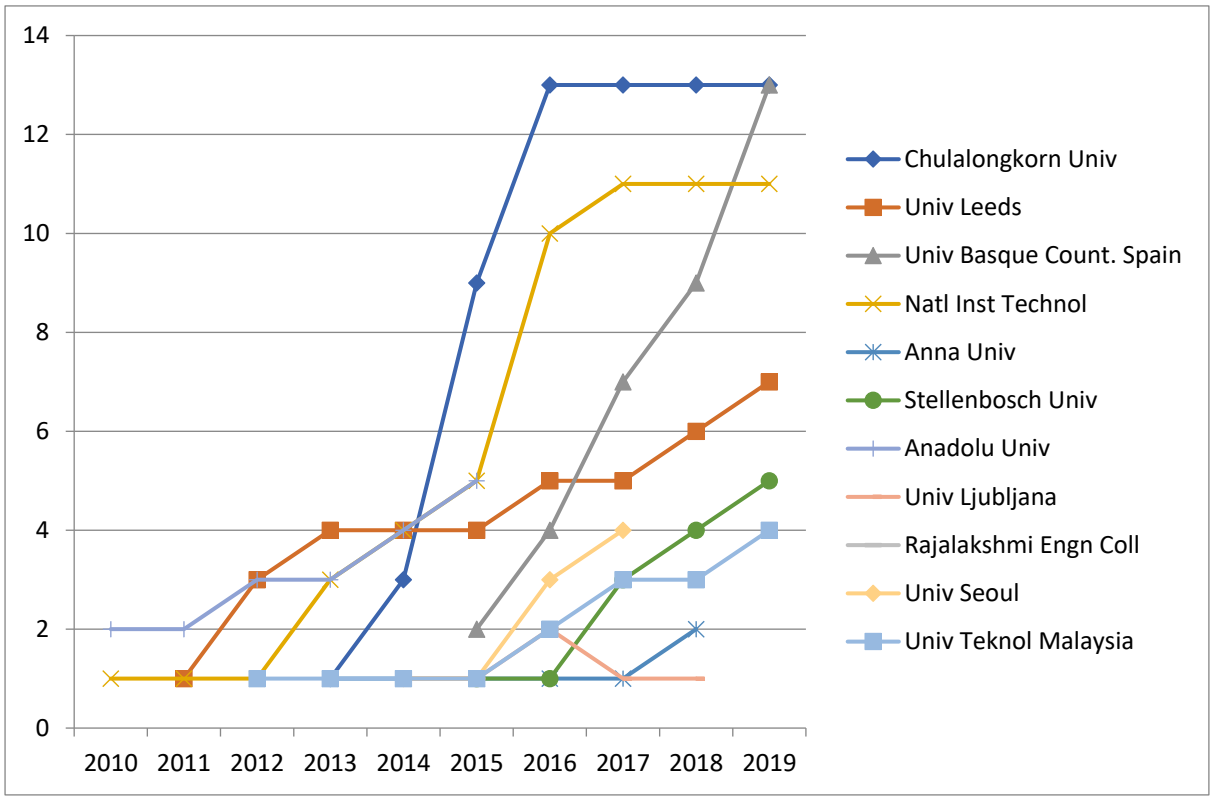


Figura 7. Número de publicaciones científicas sobre "*Tire Derived Fuel*" por institución.

Cabe destacar el elevado número de publicaciones realizadas recientemente por la Universidad de Chulalongkorn, el National Institute of Technology indio y la Universidad del País Vasco.

Resulta destacable que autores como Sharma et al. (2015), Doğan et al. (2012), Kumaravel et al. (2016), Hita et al. (2016) y Jantaraksa et al. (2015) pongan el acento en la necesidad de la desulfuración del combustible derivado del neumático y de los avances más significativos en el proceso. La tabla 3 muestra qué instituciones de investigación están más especializadas en dicha desulfuración. La columna de la izquierda (# records) muestra el número de artículos que tiene cada institución en pirólisis. La columna de la derecha (sulfur) muestra el número de publicaciones que cada institución tiene relacionada o centrada en desulfuración. Así, por ejemplo, se puede ver que **la Universidad del País Vasco (EHU) tiene 33 artículos en pirólisis y 10 en desulfuración, situándose como la segunda institución a nivel mundial en publicaciones en ambos campos.**

	Author Address (Organization Only) (Cl	1
	# Records	206
# Records	Show Values >= 1 and <= 18 Cooccurrence # of Records	sulfur
28	Chulalongkorn Univ	18
33	Univ Basque Country EHU	10
10	King Fahd Univ Petr & Minerals	8
16	Northeastern Univ	6
36	CSIC	5
41	Univ Leeds	5
11	Anna Univ	4
10	Stellenbosch Univ	4
17	Chinese Acad Sci	4
7	Univ Kentucky	4
3	Batman Univ	3
5	Firat Univ	3
6	Rajalakshmi Engn Coll	3
6	Univ Seoul	3
8	Huazhong Univ Sci & Technol	3
3	Ctr Excellence Petrochem & Mat Technol	3
8	USA	3
6	Univ Tennessee	3
6	Univ Missouri	2
2	Chia Nan Univ Pharm & Sci	2
5	Natl Cheng Kung Univ	2
3	Wroclaw Univ Technol	2

Tabla 3. Instituciones de investigación más especializadas en la desulfuración del TDF.

Realizando el mismo ranking a nivel nacional se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 4.

	Author Address (Organization Only) (Cl	1
	# Records	206
# Records	Show Values >= 1 and <= 10 Cooccurrence # of Records	sulfur
33	Univ Basque Country EHU	10
36	CSIC	5
6	Univ Castilla La Mancha	2
4	Univ Zaragoza	2
5	Escuela Ingn Bilbao	1
3	Univ Politecn Madrid	1
3	Univ Santiago de Compostela	1

Tabla 4. Instituciones de investigación españolas especializadas en la desulfuración del TDF.

A nivel nacional, a la Universidad del País Vasco le sigue el CSIC y, a mayor distancia, las universidades de Castilla La Mancha y Zaragoza.

1.6 Desvulcanización

A partir de los años 80 se produce un cambio de foco, se pasa del interés por la recuperación a la alteración natural de la superficie del caucho, mediante el uso de ligantes y desvulcanización superficial.

Dado que el reciclaje por desvulcanización de NFU puede recuperar valor y reducir los desechos (Asaro et al., 2018), se analiza la evolución temporal del número de patentes registradas. Del total de patentes analizadas, apenas salen 563 familias sobre desvulcanización. En la figura 8 se pueden observar las organizaciones más activas.

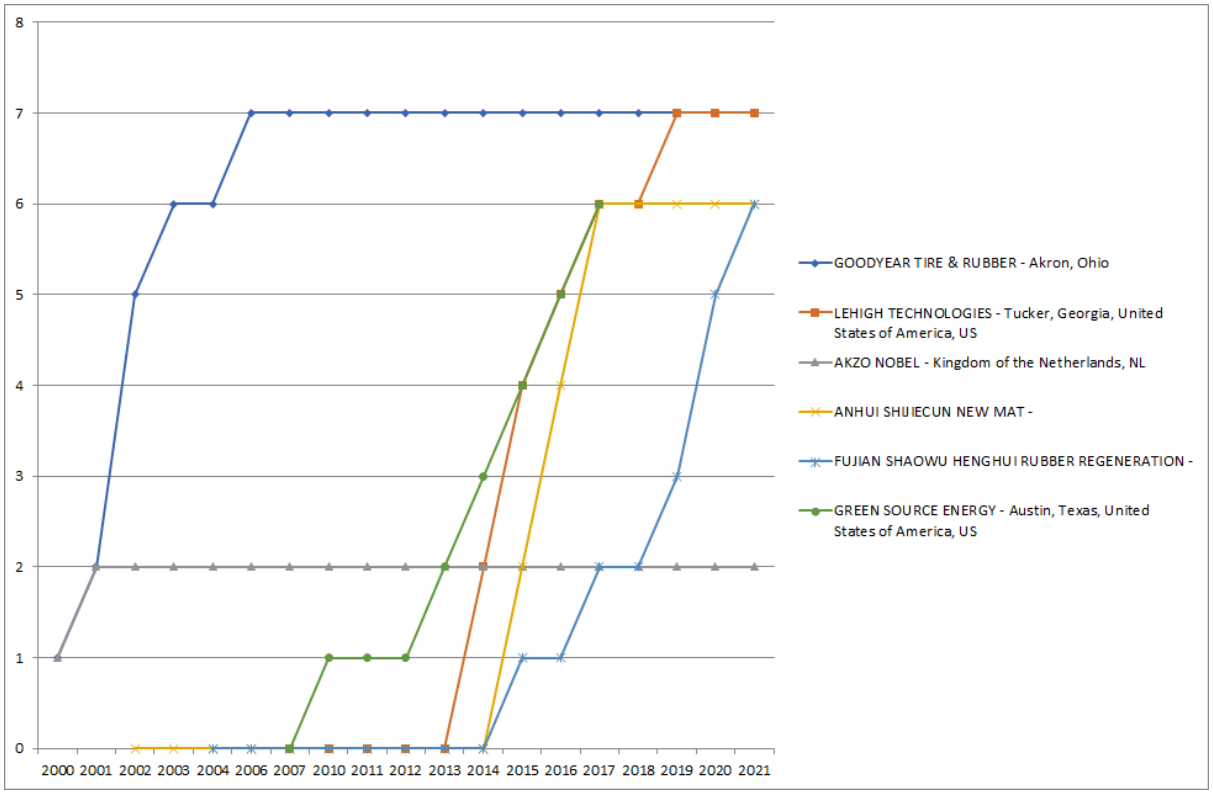


Figura 8. Evolución del número de patentes por organización en desvulcanización.

La figura 8 refleja la escasa actividad en general en esta área, donde empresas clásicas como Goodyear cesaron su actividad desde 2006 con apenas siete patentes. Alguna empresa norteamericana apostó por esta tecnología hace ocho años y otras organizaciones chinas presentan actividad en los últimos cinco años, pero en todo caso con un número de registros muy bajo.

La figura 9 muestra con más detalle la incursión de otras empresas en la última década, reafirmando lo descrito anteriormente.

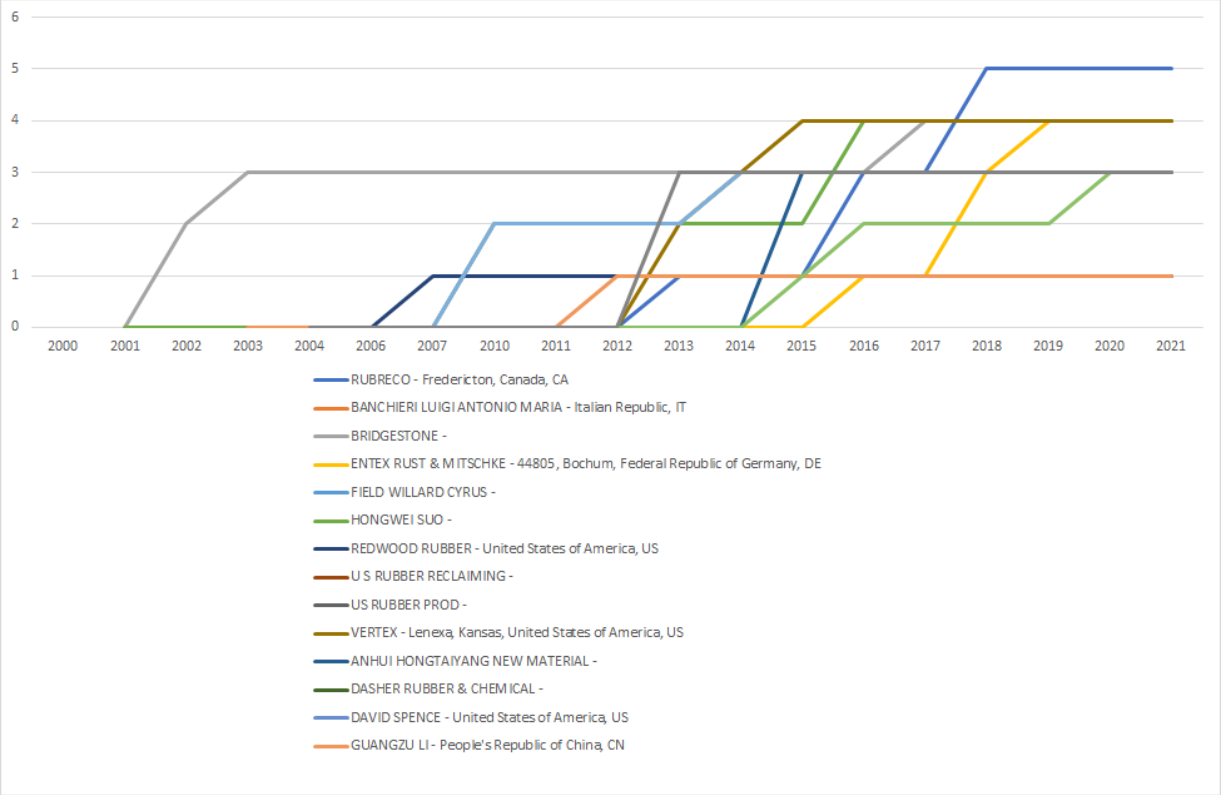


Figura 9. Aportaciones menores en la última década de patentes en desvulcanización.

De un análisis bibliográfico en bases científicas se obtienen 383 artículos científicos relacionados con la desvulcanización. Analizando los términos más actuales y frecuentes tratados en dichos artículos se obtiene la jerarquía de términos que se muestra en la figura 10.

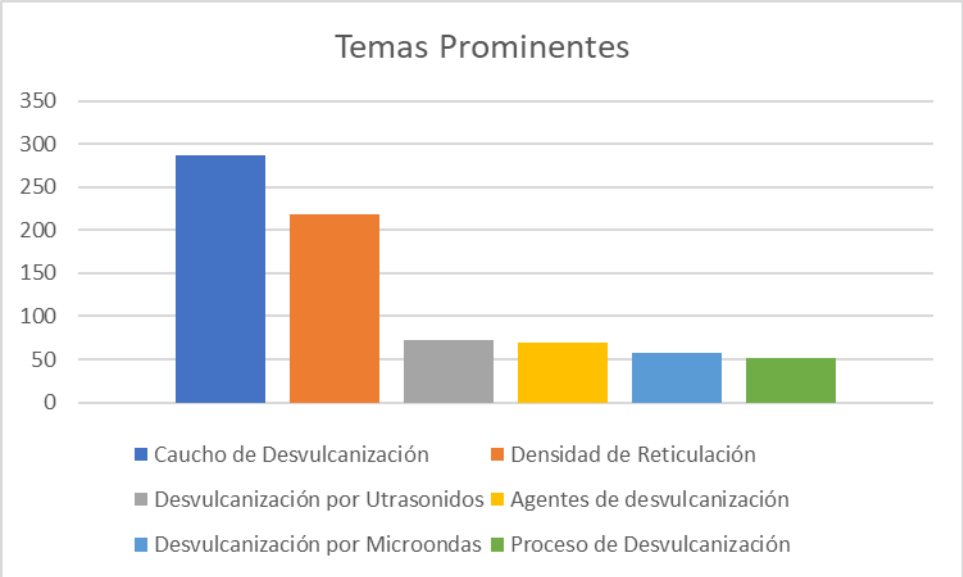


Figura 10. Términos prominentes en bibliografía científica sobre desvulcanización.

En la figura 11 aparece el listado de organizaciones más activas en desvulcanización y sus aportaciones según los términos prominentes descritos en la figura 10.

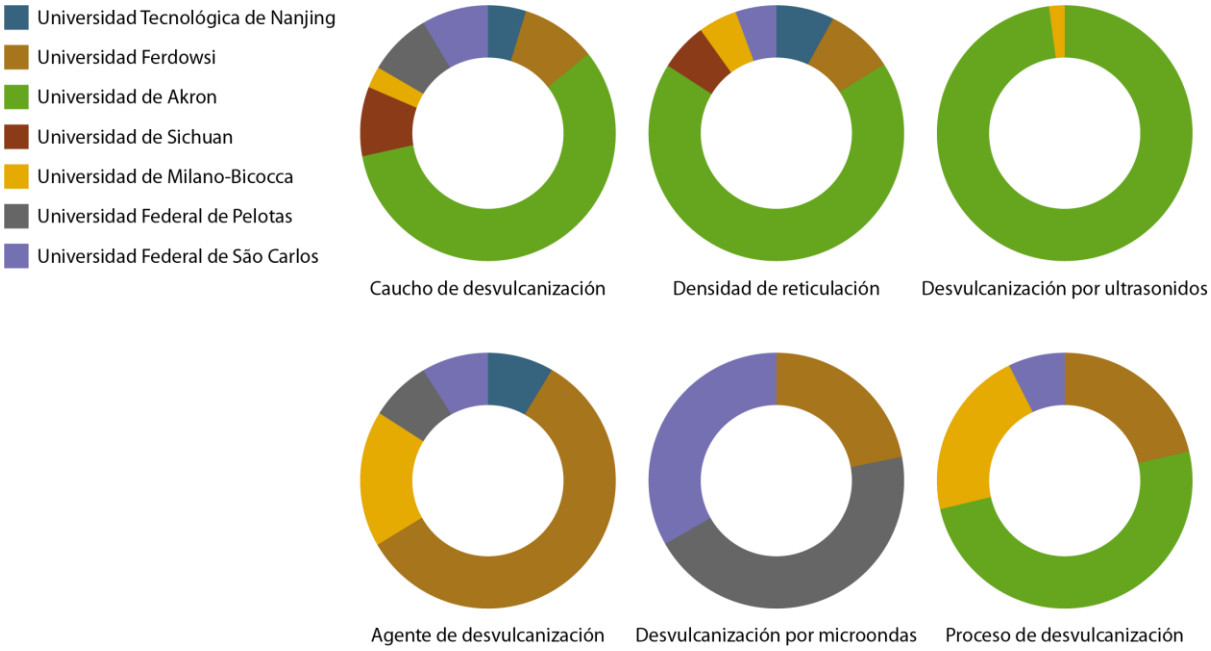


Figura 11. Organizaciones más activas en desvulcanización y distribución de sus aportaciones según temáticas prominentes.

Destaca en número y variedad de publicaciones la Universidad estadounidense de Akron, seguida por la Universidad de Milano-Bicocca. Después destaca la Universidad iraní de Ferdowsi, por sus aportaciones en procesos y agentes de desvulcanizado, junto con la aplicación de microondas.

En general se observa que a la escasa patentabilidad se le suma el relativamente bajo número de investigaciones y publicaciones científicas. Para buscar la explicación se realizado un breve análisis bibliográfico que desvela las causas de este parón de actividad empresarial y bajo volumen de publicaciones. La desvulcanización es un proceso tecnológico donde el caucho se recicla químicamente para obtener caucho de mayor calidad que se puede utilizar en mayor porcentaje en neumáticos nuevos (Myhre et al., 2012). Pese a que puede ser un enfoque razonable para el reciclaje de NFU (Asaro et al., 2018), esta tecnología solo permite usar como máximo un 30 % de caucho secundario en neumáticos nuevos, causa contaminación secundaria por el proceso de desulfuración (Li, Xu y Gao, 2010) y aún no es comercialmente viable, razones que explican su pobre evolución y por qué todavía no se ha implementado a gran escala (Saiwari et al., 2019).

1.7 Búsqueda de patentes y publicaciones científicas a partir de palabras clave

A continuación, se analiza el número de publicaciones científicas en las que aparecen términos como rubber crumbs, shredded tires, tire chips, waste tire, etc. utilizadas en diversas aplicaciones industriales.

1.7.1 Apariciones en artículos científicos.

En la Figura 12 se puede apreciar el interés generado en la comunidad científica por los restos de neumático (partículas, trozos y molido de neumático) al incluirlos en sus publicaciones científicas para diversas aplicaciones.

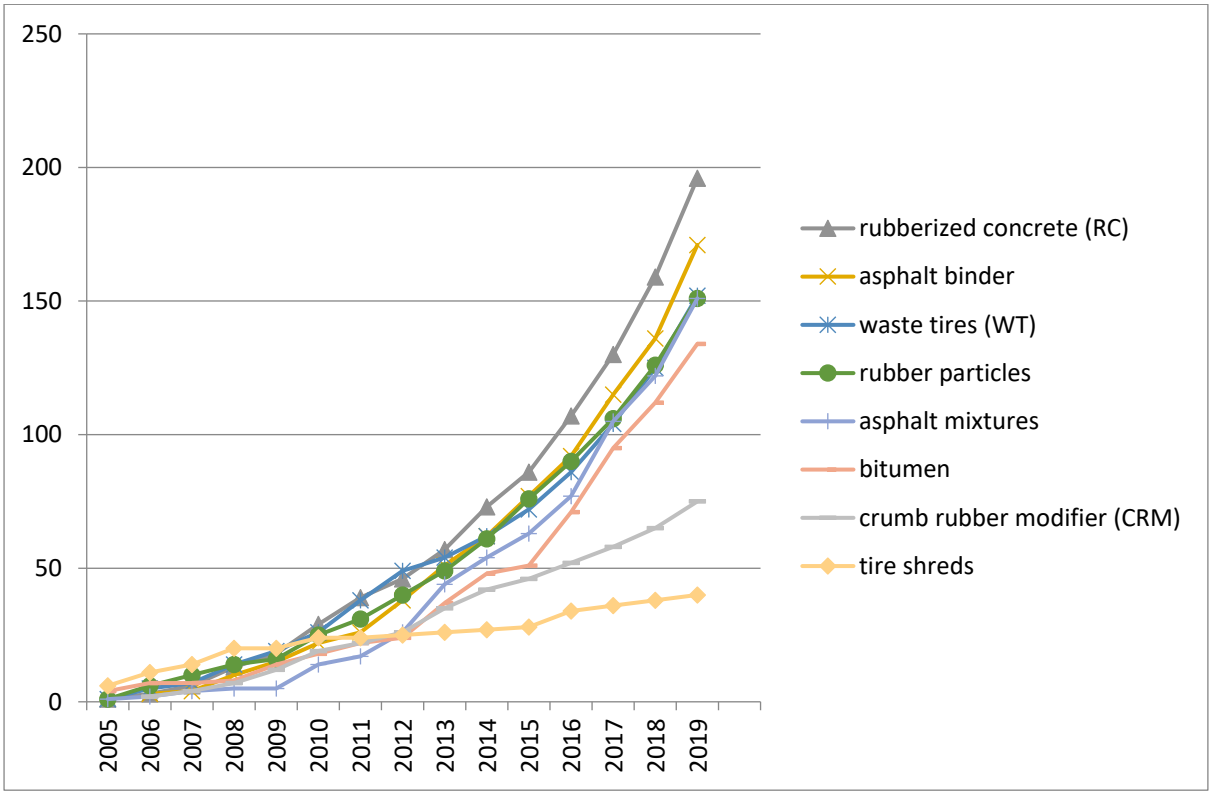


Figura 12. Número de apariciones y evolución con el tiempo de artículos científicos en los que aparecen esos términos y sus combinaciones.

Destaca el número de artículos publicados sobre uso de restos de neumáticos para obtener materiales verdes como el hormigón "engomado", como aglutinante o como partículas y mezclas para asfalto. En menor medida, aparecen aplicaciones del bitumen y del modificador de caucho granulado (CRM) utilizado también en mezclas asfálticas.

A partir de estos datos resulta interesante saber qué instituciones están detrás de estas aplicaciones. Así, la Tabla 5 muestra las instituciones con más publicaciones y su especialización en los anteriores conceptos y aplicaciones. Nuevamente, la segunda columna iniciando por la izquierda (# records) muestra el número de artículos que se han publicado, en la siguiente columna aparecen las instituciones y en el resto de columnas las palabras clave investigadas. El número de la celda de intersección muestra el número de publicaciones que poseen en cada tema concreto. Por ejemplo, la 'Clemson University' de Carolina del sur en EE. UU. tiene 20 publicaciones en 'asphalt binder' (caucho como aglutinante asfáltico) y 19 en 'crumb rubber modified binder (aglutinante modificado con polvo de caucho). En cambio, la 'Tinajin University' de China tiene 17 publicaciones en hormigón engomado con caucho, siendo la que más publicaciones tiene en ese ámbito. Por otro lado, la Changan University de China destaca por sus 18 aportaciones en uso de caucho como aglutinante asfáltico y sus 23 aportaciones sobre caucho granulado para pavimentos asfálticos. En el uso de partículas de caucho

aparece la **Univeristat Politècnica de València** con 7 aportaciones, siendo la segunda del mundo con mayor número de publicaciones relacionas con sus aplicaciones.

Reset		Author Address (Organization Only) (Cl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		# Records	329	209	186	184	178	172	170	151	148	69
(Phrases) NLP Refined (Clea	# Records	Show Values >= 1 and <= 23 Cooccurrence # of Records	scrap tires (ST)	rubberized concrete (RC)	asphalt binder	crumb rubber modified asphalt	waste tires (WT)	rubber particles	asphalt mixtures	bitumen	crumb rubber modified binders	tire shreds
1	55	Clemson Univ	7	10	20	11	3	3	10		19	1
2	53	Changan Univ	4		18	23	8	9	8	4	8	
3	46	Indian Inst Technol	2	1	14		3	1	4	3	9	
4	44	Southeast Univ	3	3	12	11	1	4	8	1	4	
5	42	Tongji Univ	2	5	12	13	1	2	1		5	
6	37	Univ Nottingham	1	1		1	1	6	5	7	3	
7	34	Michigan Technol Univ	3	5	15	6	1	8	6	1	4	
8	29	Wuhan Univ Technol		1	4	7	1	4	3	3	1	
9	28	Univ Sains Malaysia	2	4	2		3		1	2	1	1
10	27	Hong Kong Polytech Univ	3	2	6	12	1	2			5	
11	27	Tianjin Univ	2	17			1	3			1	
12	26	Hong Kong Univ Sci & Technol	5	1		1	1	2				1
13	26	Univ Leeds	1				1					
14	25	CSIC	2				2					
15	24	Univ Minho	1		4	5	1	3	6	5		
16	24	Univ Teknol PETRONAS	3	1			1	1	1	1		
17	23	Mem Univ Newfoundland		3								
18	23	Natl Inst Technol	3	1				1	1	2		2
19	23	Univ Politecn Valencia	2				2	7				

Tabla 5. Instituciones con más publicaciones en las distintas palabras clave.

La figura 13 muestra el total de publicaciones según palabras clave en las publicaciones. Destaca el elevado número de publicaciones sobre neumáticos usados destinados para asfalto y cemento.

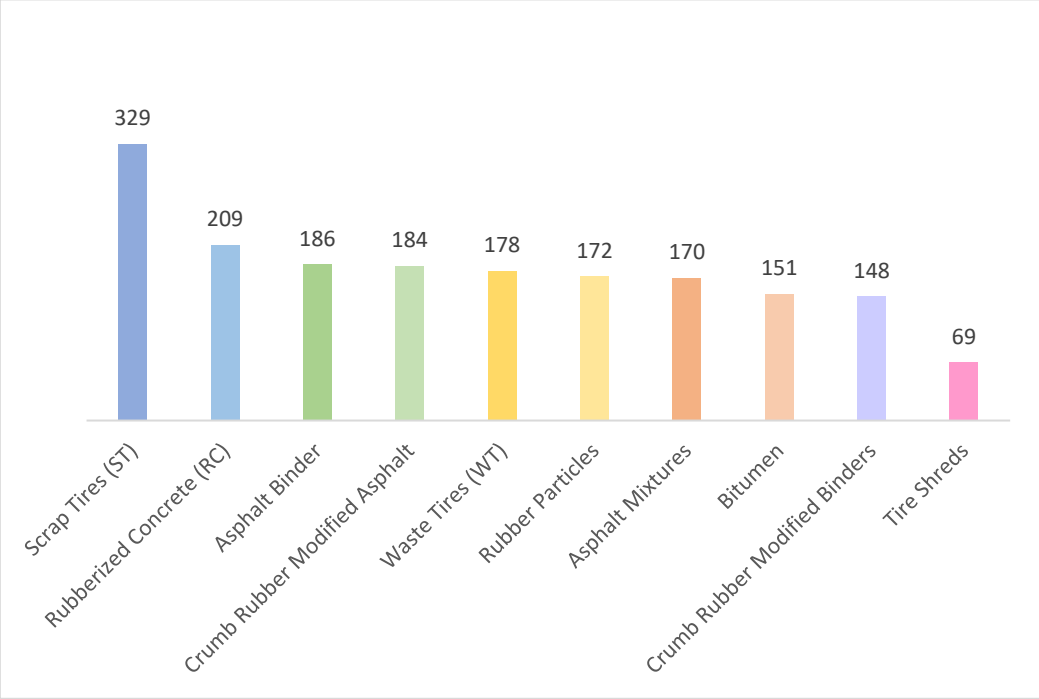


Figura 13. Número total de publicaciones según palabras clave destacadas en las publicaciones.

A continuación, se realiza un análisis detallado del número de contribuciones y de los intereses particulares de las distintas organizaciones citadas en la Tabla 5 agrupadas por continentes y países. Así, en la figura 14 se puede observar el volumen de publicaciones por países.

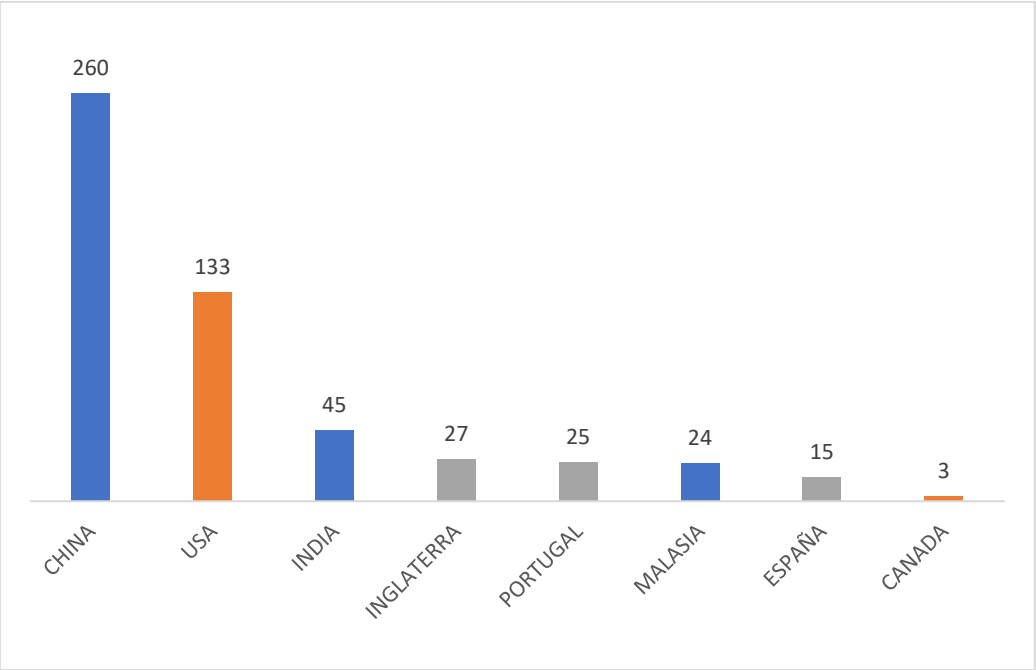


Figura 14. Número total de publicaciones de las organizaciones agrupadas por país.

Se puede observar un predominio abrumador de China, seguida, con menos de la mitad de las aportaciones, por USA y en tercer lugar, y bastante más descolgada, se encuentra la India. España está a la cola, con prácticamente la mitad de presencia que su vecina Portugal.

En la figura 15 aparecen el total de publicaciones por continente agrupadas para cada una de las palabras clave.

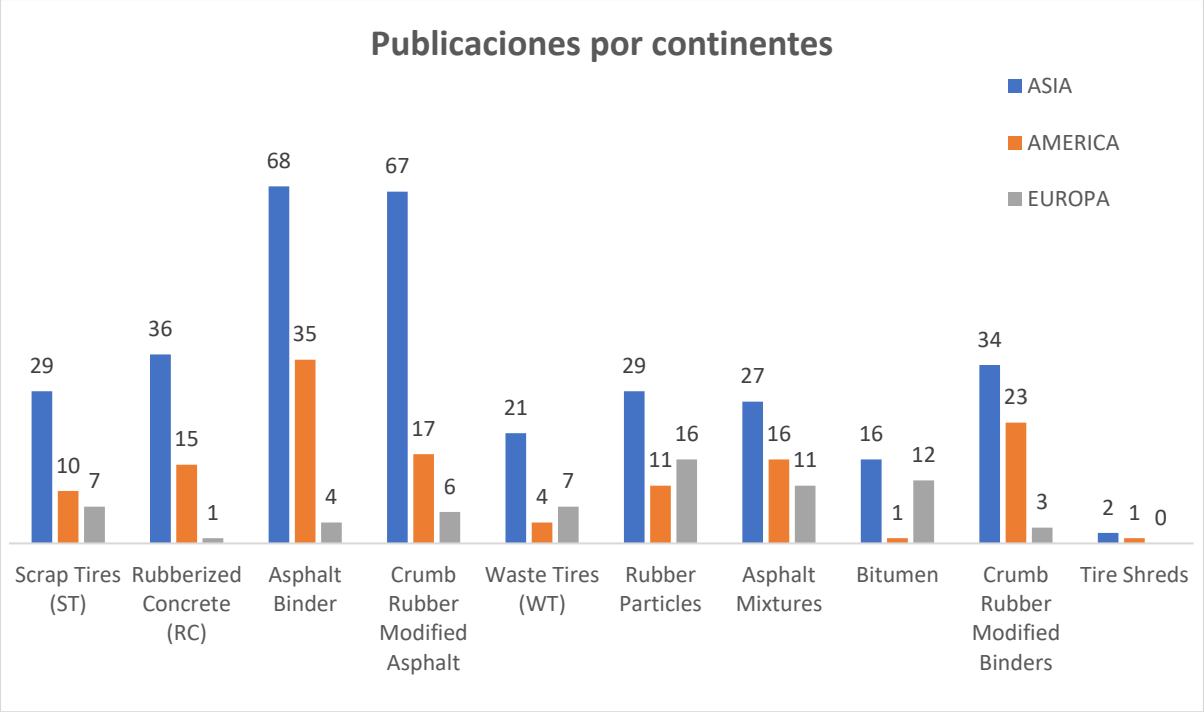


Figura 15. Comparación del número de publicaciones en cada caso por continentes.

De nuevo, el continente asiático es el gran dominador, seguido a mucha distancia por los norteamericanos (principalmente EE. UU.), que ocupan la segunda plaza en todos los casos salvo en las aplicaciones de partículas de caucho, empleo de bitúmenes y residuos de neumáticos en general, donde los países europeos tienen una destacada contribución. Dentro de la supremacía asiática, destacan sobre todo las aplicaciones para asfalto y cemento.

A continuación, se muestra para las organizaciones agrupadas por país el número de publicaciones en cada palabra clave ordenadas de mayor a menor. En la figura 16 aparecen los resultados para las organizaciones chinas.

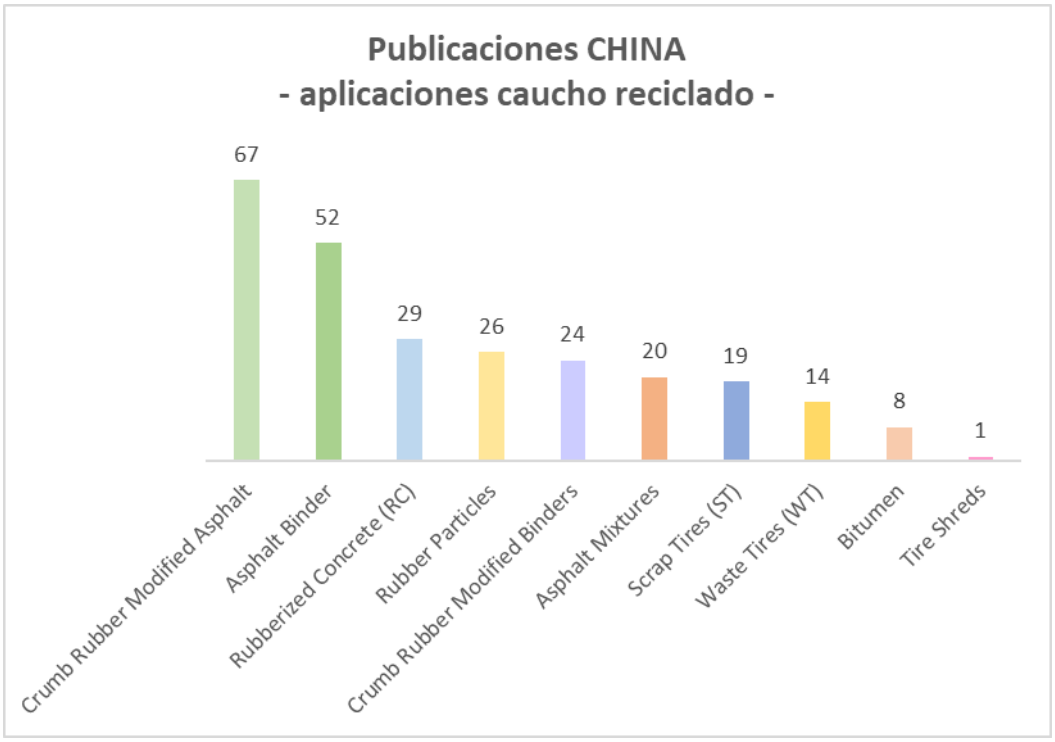


Figura 16. Aportaciones según los casos para China.

Nuevamente se pone de relieve el uso mayoritario del reciclado de neumáticos usados para asfaltos y, en menor medida, para la construcción. Asimismo, cabe destacar el poco interés chino por el uso del bitumen.

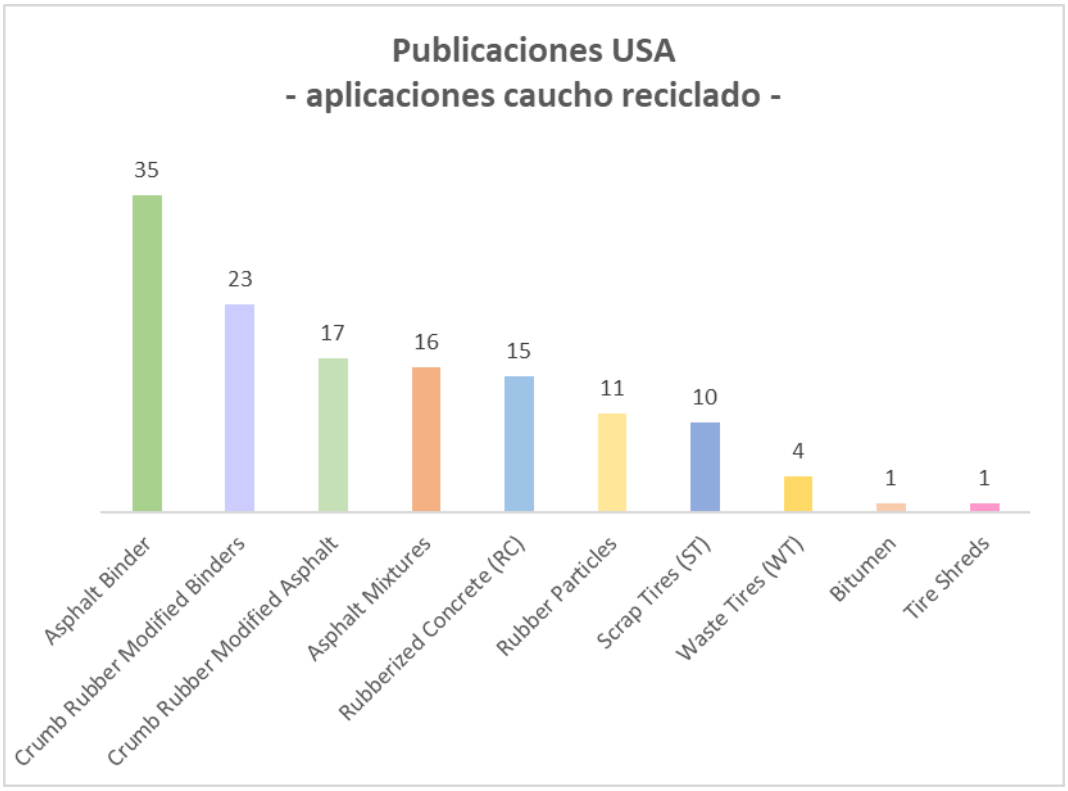


Figura 17. Aportaciones según los casos para USA.

En el caso de los EE. UU., ver figura 17, la tendencia es prácticamente la misma, aunque con menor aplicación de las partículas de caucho que en el caso de China.

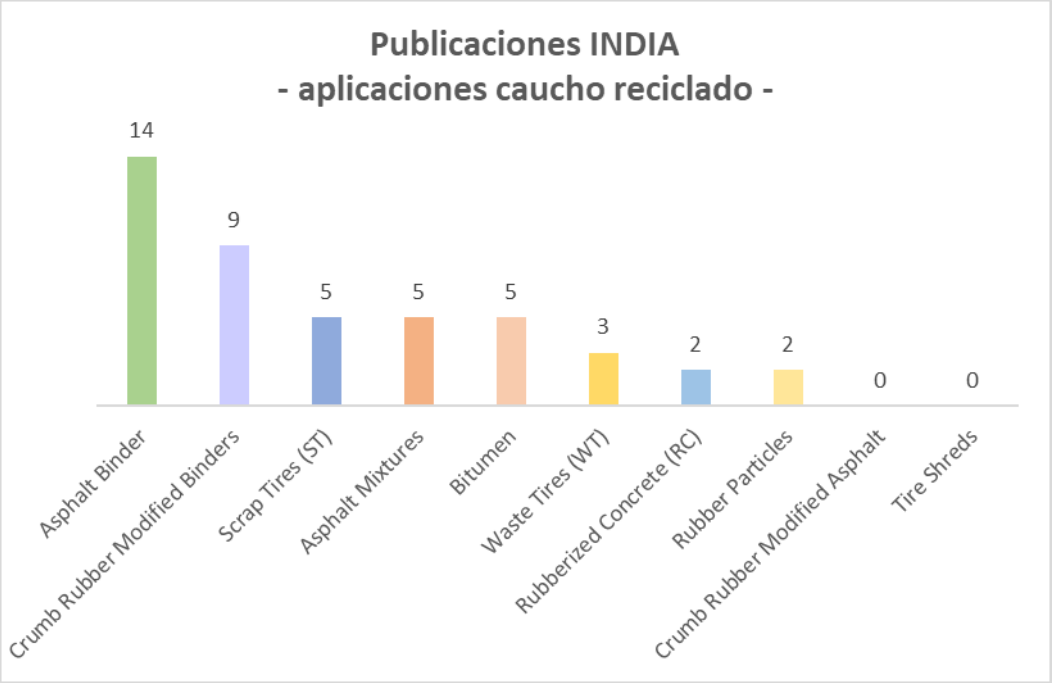


Figura 18. Aportaciones según los casos para India.

En el caso de India, figura 18, destaca el empleo como aglutinante en asfaltos y su poco interés en el uso para cemento.

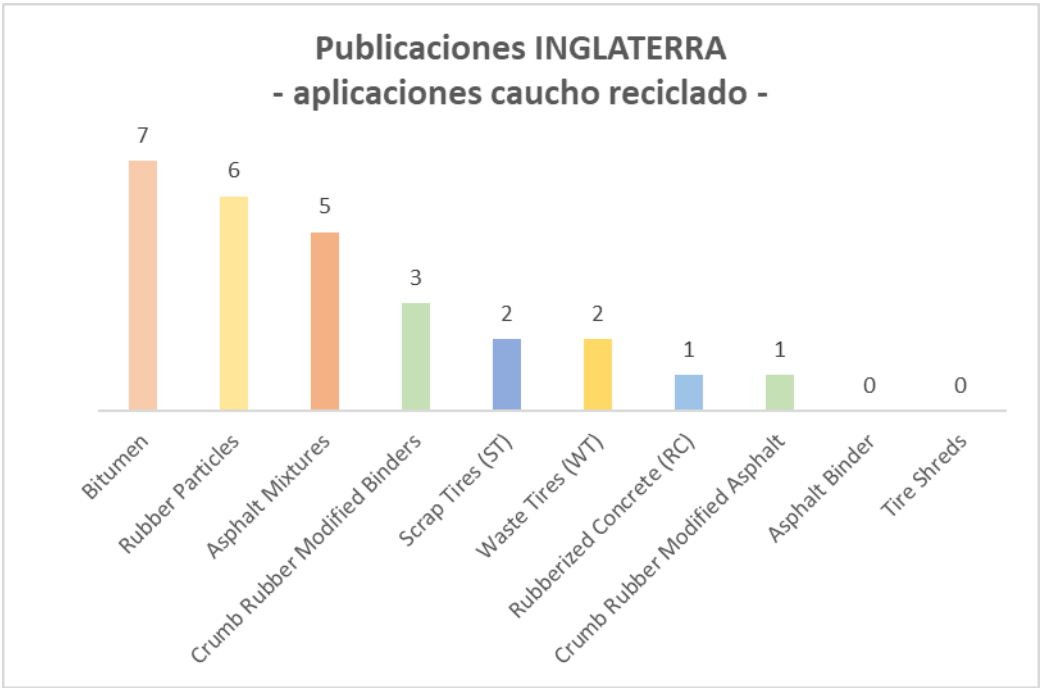


Figura 19. Aportaciones según los casos en Inglaterra.

En Inglaterra, figura 19, en cambio, el uso como betún y el empleo de partículas de caucho están más extendidos y, de nuevo, se pone menos énfasis en el uso para la construcción.

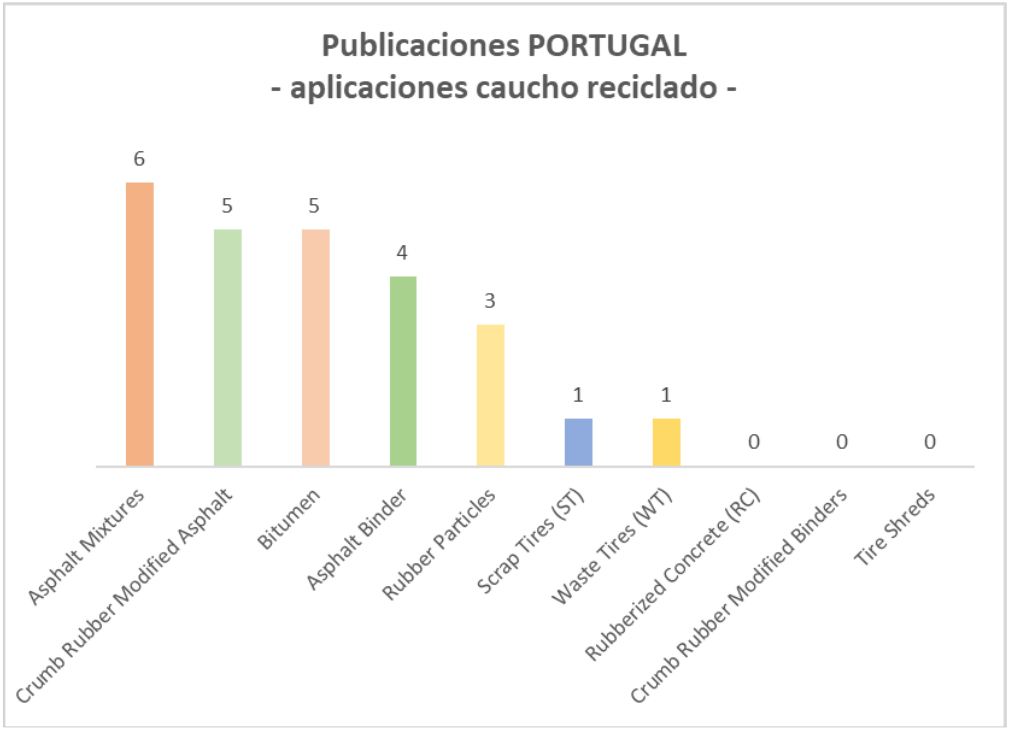


Figura 20. Aportaciones según los casos para Portugal.

En Portugal, figura 20, más allá del uso mayoritario en aplicaciones de asfalto, sucede algo similar que en Inglaterra.

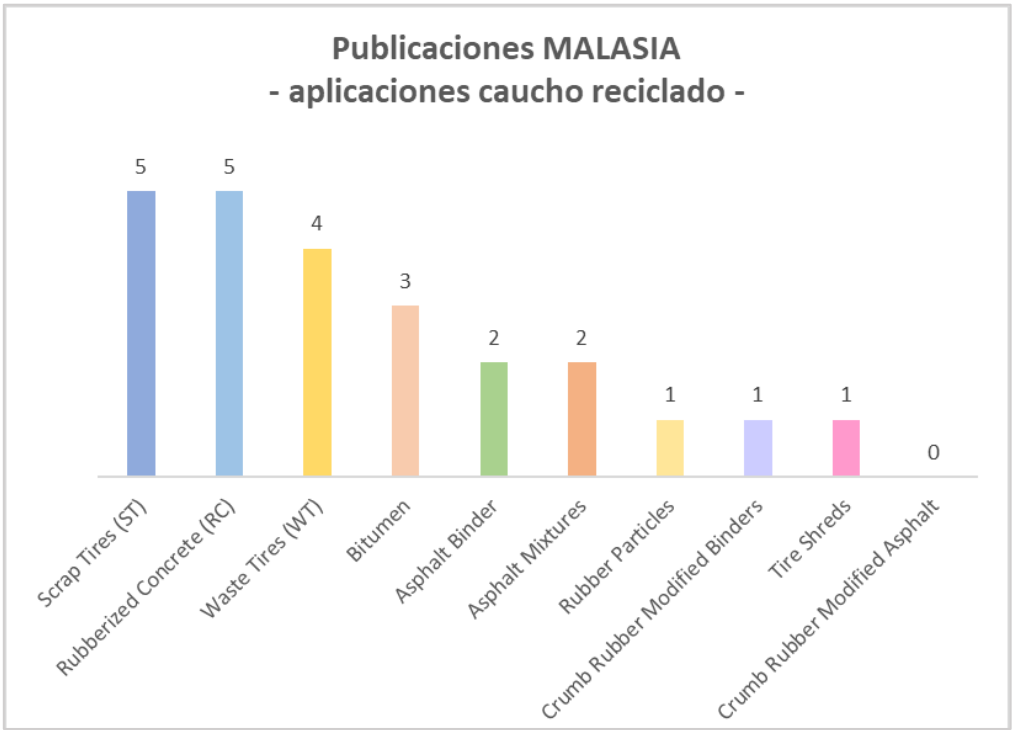


Figura 21. Aportaciones según los casos para Malasia.

En el caso de Malasia, ver figura 21, el interés se centra en el empleo para cemento y asfalto en la misma medida, seguidos por las publicaciones sobre el betún.

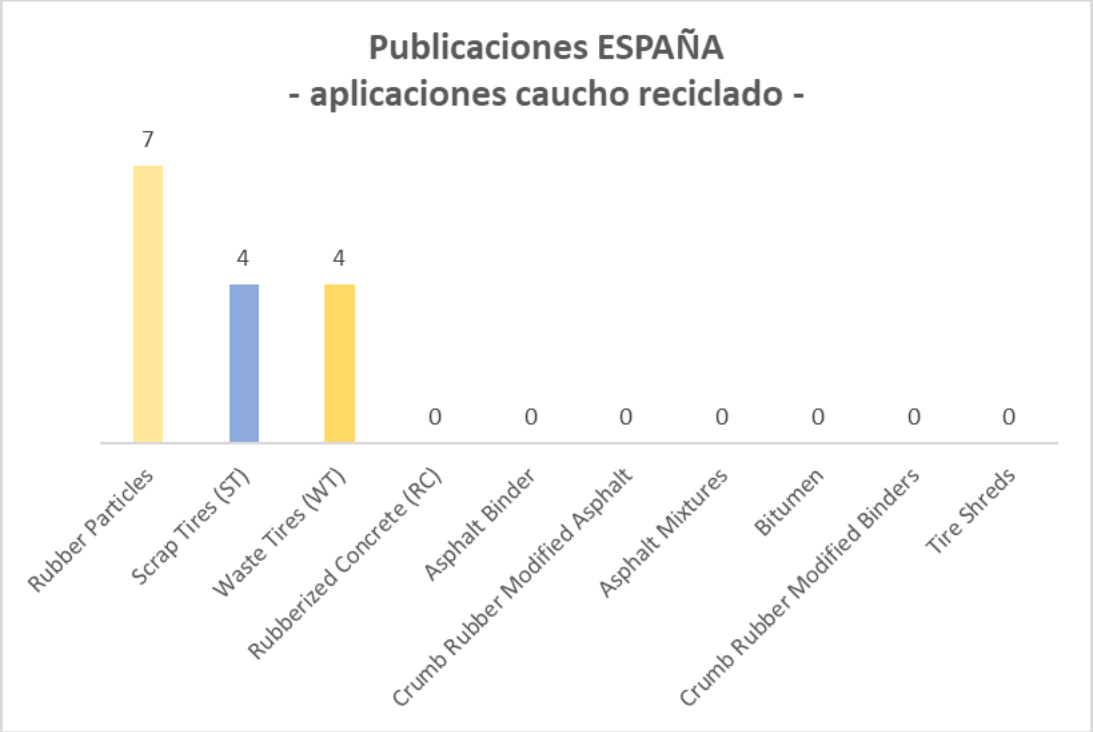


Figura 22. Aportaciones según los casos para España.

En la figura 22 se muestra que España es líder aportaciones sobre partículas de caucho, contribuyendo en menor medida con publicaciones sobre términos generales sobre residuos y neumáticos desechados.

1.7.2 Análisis de colaboración entre organizaciones

Por otra parte, resulta muy interesante conocer hasta qué punto las distintas instituciones interesadas en temáticas comunes colaboran entre sí. Para conocer esa información se elabora el mapa de correlaciones cruzadas que se muestra en la figura 23. En este mapa, el tamaño de las esferas representado a cada institución es proporcional al número de sus aportaciones, las líneas continuas muestran una relación fuerte entre instituciones y las discontinuas una relación de menor intensidad. Se ha establecido un número máximo de 25 instituciones y un umbral mínimo de colaboración entre instituciones de cuatro artículos científicos compartidos para considerar que existe una colaboración relevante entre ellas.

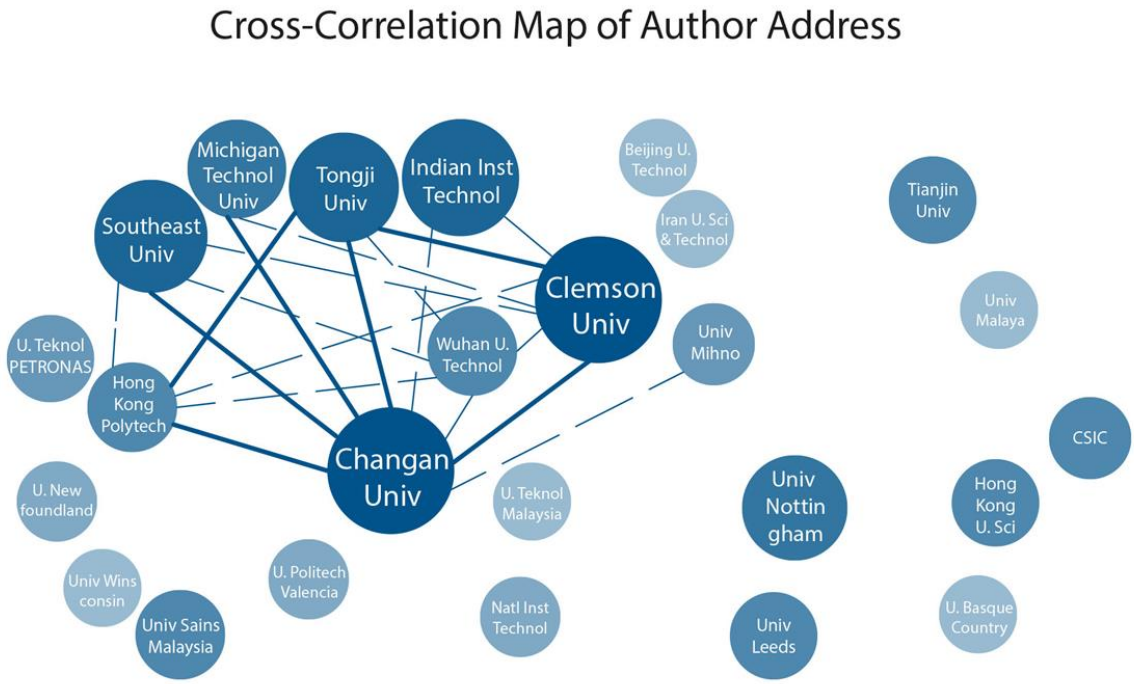


Figura 23. Relación y colaboración entre instituciones dedicadas a la investigación de aplicaciones industriales de trozos y partículas de caucho a partir de neumático de desecho.

Se puede observar en la figura 23 una estrecha actividad entre la Universidad de Changan, la Clemson University, la Universidad de Hong Kong, y la Universidad Tongji. Aparte de las colaboraciones entre estas cuatro universidades, la Universidad de Changan es la más activa, colaborando con cinco instituciones más a nivel mundial, seguida de la Clemson University que lo hace con cuatro más, aunque con menor intensidad, convirtiéndose claramente en las universidades con más 'networking' y, por tanto, con mayor capacidad de realizar avances significativos en este campo.

1.8 Búsqueda de aportaciones por palabras clave relacionadas con el reciclado de neumáticos.

En este apartado se hace una búsqueda por palabras clave vinculadas al reciclado de neumáticos como, por ejemplo, neumáticos reciclados, caucho reciclado, caucho de monómero de etileno propileno dieno reciclado (EPDM), caucho de estireno-butadieno (SBR) reciclado y preciclado, etc. En el apartado 7.5 del Anexo se puede consultar una infografía con productos elaborados con caucho reciclado.

1.8.1 Búsqueda de Patentes

Partiendo de una base de 11.724 familias de patentes acerca de diversos tipos de caucho, reciclado y reutilizado, se han agrupado todos aquellos términos obtenidos del título, resumen o primera reivindicación independiente de patentes relativas a: fibras obtenidas del caucho, asfaltos y bitúmenes usando elementos varios del caucho, hormigones y cementos usando elementos del caucho, así como una última clasificación relativa a reutilización de cables de acero.

La figura 24 muestra el número acumulado de patentes relacionadas con esas aplicaciones y su evolución en los últimos 15 años. Cabe destacar el paulatino incremento de registros en todos los

casos y un ligero cambio de pendiente ascendente a partir de 2017 para el caso de asfaltos y bitúmenes, así como para el empleo del caucho reciclado en hormigón y cementos. Destaca la segunda posición del número de patentes relacionadas con el reciclado de fibras.

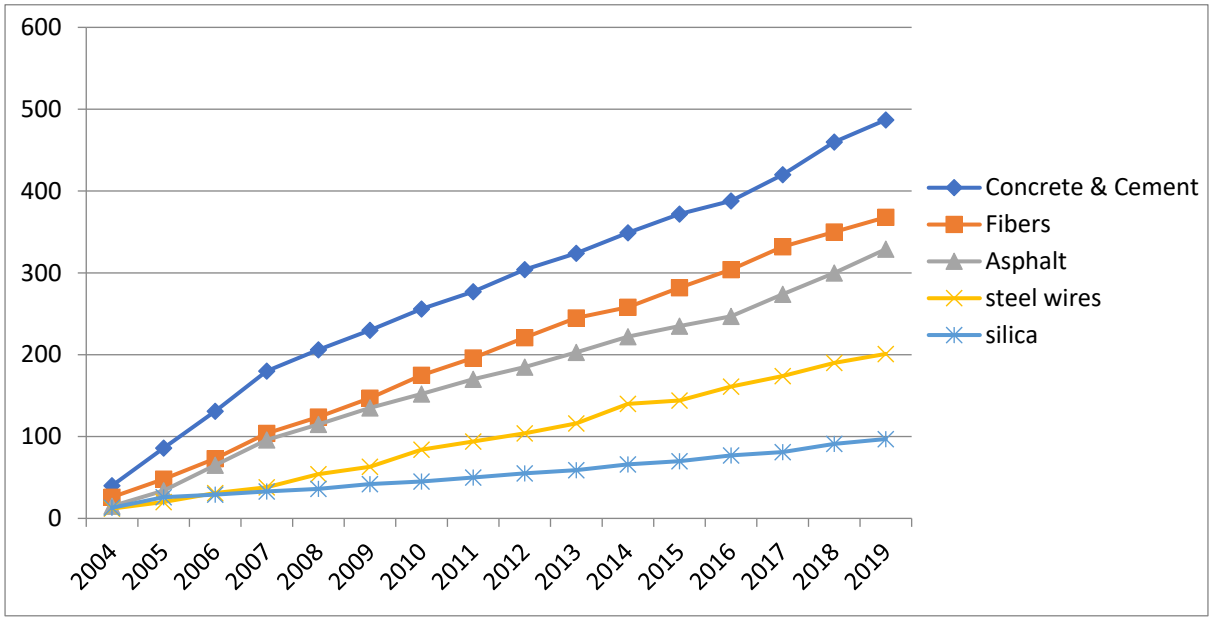


Figura 24. Número acumulado de patentes relacionadas con aplicaciones de caucho reciclado/reutilizado y su evolución temporal.

A pesar de que el uso de partículas de caucho reciclado en hormigones y cementos es una tendencia creciente, sigue teniendo limitaciones que los proveedores de caucho reciclado tienen que resolver. Concretamente, las partículas tienen poca adherencia con el cemento y además son inflamables en caso de incendio (Gravina et al. 2020).

A tenor del destacado número de patentes relacionadas con las fibras, se considera interesante explorar cuáles están siendo las más citadas en las familias de patentes. La figura 25 muestra el ranking de registros de los diversos tipos de fibras recogidas tras el reciclado de neumáticos.

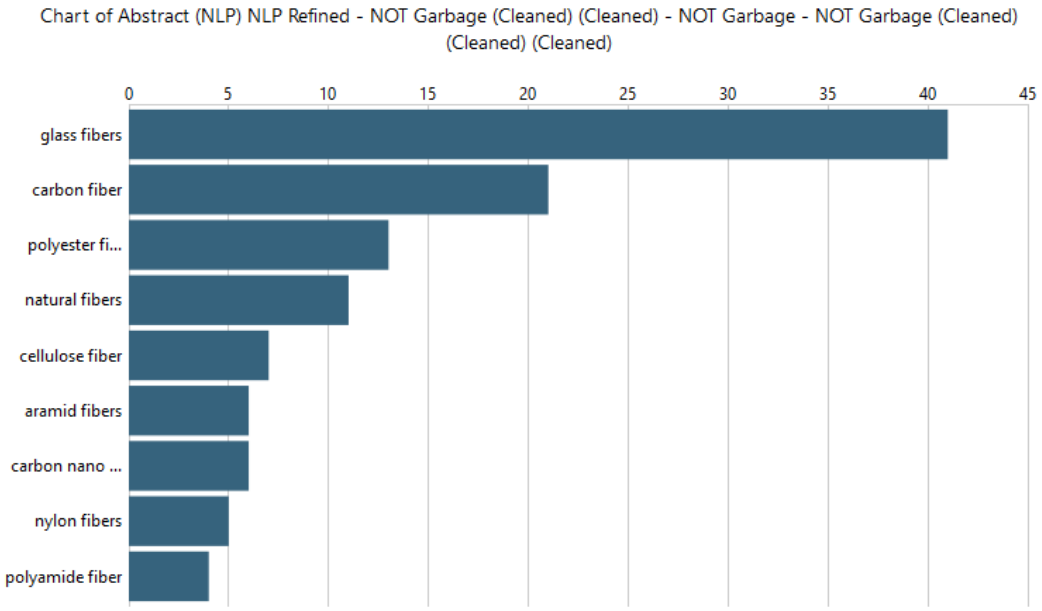


Figura 25. Tipos de fibras presentes en neumáticos más citadas en registro de patentes.

Se puede observar en la figura 25 que las fibras de vidrio son las más citadas, seguidas de las fibras de carbono. La considerable citación de fibras poliméricas está relacionada con el creciente interés en usar las partículas de caucho mezcladas con otros polímeros en plásticos reciclados tal y como apuntan Ramarad et al. (2015). Asimismo, autores como Baricevic et al. (2018) analizan el comportamiento de las fibras, en especial las poliméricas (poliéster y poliamidas en la figura 25) demostrando que mejoran la capacidad de resistencia ante ciclos de congelación-descongelación en cementos de proyección y hormigones.

En lo referente a la aplicación del material Silica, expertos como Evans and Evans (2006) y Shulman (2019) destacan las ventajas de los compuestos de sílice (silicatos) para sustituir al Negro de Humo como agente de relleno con el fin de producir neumáticos más 'verdes', prologando sustancialmente su ciclo de vida. Sin embargo y según la figura 24, este hecho no parece ser motivo de registro de propiedad intelectual por parte de las empresas. Si se realiza una comparativa entre las aportaciones sobre Silica y Negro de Humo consultando los artículos científicos, se constata un incremento constante en el número de aportaciones de ambos, más pronunciado si cabe desde 2015. Sin embargo, desde 2017 el número de artículos científicos tratando sobre las aplicaciones de **material de sílice y silicatos** supera a las de Negro de Humo, tal y como muestra la figura 26. Este hecho podría corroborar el interés reciente por conseguir un neumático con menor impacto ambiental, tal y como afirmaban Evans and Evans (2006) y Shulman (2019).

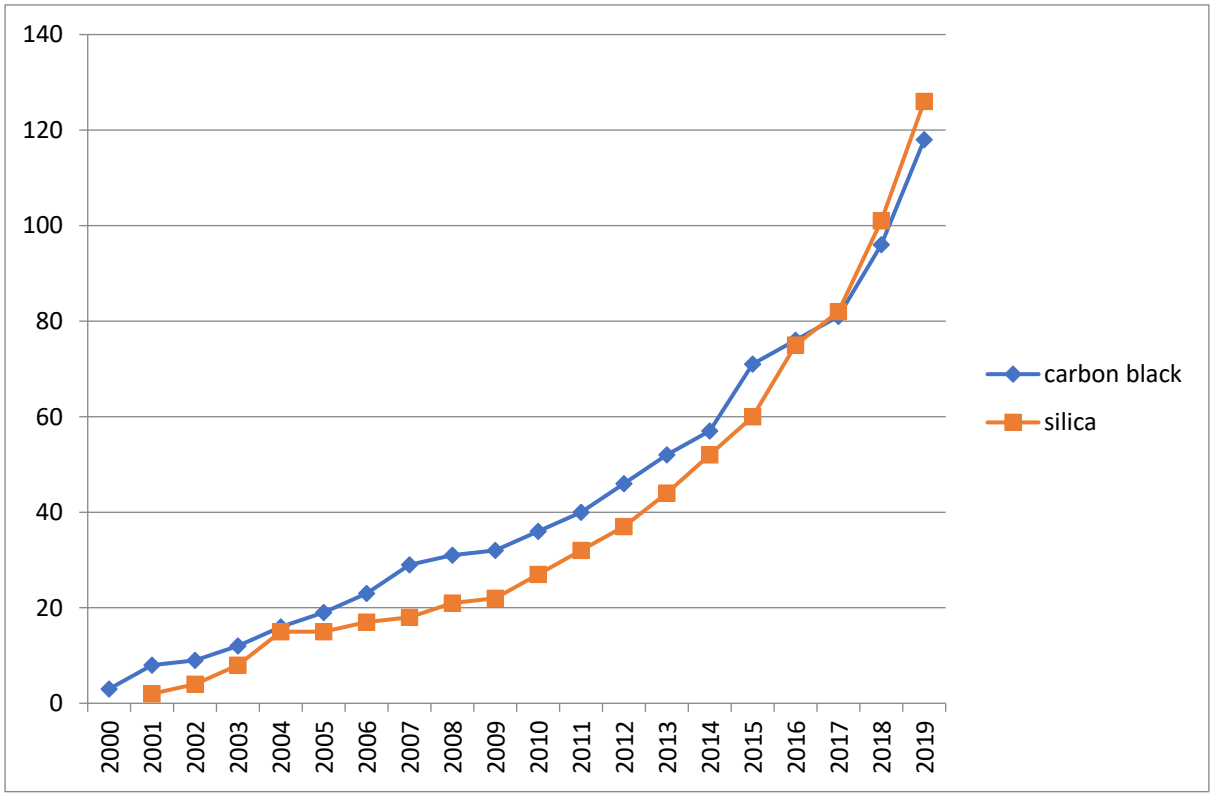


Figura 26. Número de publicaciones y evolución temporal sobre Negro de Humo y Silica para el relleno de neumáticos.

1.8.2 Identificación de las empresas líderes en patentes en cada una de las aplicaciones analizadas

Analizando el número de patentes registradas por las diferentes empresas empleando materiales reciclados de neumáticos, se establece la posición de liderazgo de cada una de ellas según las distintas aplicaciones posibles. Las tablas 6 y 7 muestran las listas de las empresas más activas en cada aplicación. En dichas tablas, la segunda columna (# Records) muestra el número total de familias de patentes que tienen registradas en cada aplicación entre las 11.724 familias analizadas. La tercera columna muestra a los titulares, las empresas más activas en cada aplicación. Finalmente, la cuarta columna (en color rojo degradado) muestra la aplicación concreta y el número de familias de patentes del titular que citan dicha aplicación industrial.

- NOT Garbage - N	# Records	Show Values >= 1 and <= 18 Cooccurrence # of Records	Concrete & Cem
1	57	KIM, IN JUNG	18
2	9	KOREA HIGHWAY AIRPORT TECHNLOG	9
3	9	GK TECHNOLOGY INSTITUTE CO., LTD.	9
4	15	HWANG, IK HYUN	8
5	13	DAEWOO ENGINEERING COMPANY	7
6	40	KOREA INSTITUTE OF FOOTWEAR & LE	7
7	90	SUMITOMO RUBBER INDUSTRIES, LTD.	5
8	47	HYUNDAI MOTOR COMPANY	4
9	5	KR	4
10	4	RAM Technologies Group, Inc.	4
11	4	SAMKI COLORCON CO., LTD.	4
12	4	THE SHREDDED TIRE, INC. - 6742 N.W.	4
13	5	ABE GANAITO KOGYO KK	3
14	39	MITSUBISHI CHEM MKV CO	3
15	3	HAN, SANG KWAN	3
16	3	KR	3
17	3	TRANSOM TECHNOLOGY CO., LTD. - N	3
18	3	JO KYUNG YEON - KR	3
19	5	SINSEUNG ENGINEERING CONSULTAN	3

aned) - NOT Garb	# Records	Show Values >= 1 and <= 10 Cooccurrence # of Records	Asphalt
1	158	BRIDGESTONE CORP	10
2	9	GK TECHNOLOGY INSTITUTE CO., LTD.	9
3	9	KOREA HIGHWAY AIRPORT TECHNLOG	9
4	15	HWANG, IK HYUN	8
5	7	KR	5
6	47	HYUNDAI MOTOR COMPANY	5
7	40	KOREA INSTITUTE OF FOOTWEAR & LE	5
8	4	390-890 KR	4
9	4	INNOPHOS, INC.	4
10	4	RAM Technologies Group, Inc.	4
11	4	KR	4
12	13	DAEWOO ENGINEERING COMPANY	3
13	3	WESTERN EMULSIONS INC - US	3
14	57	KIM, IN JUNG	3
15	3	INNOPHOS, INC. - 259 Prospect Plains R	3
16	3	KR	3
17	3	BITUMAR INC. - 11155 SAINTE-CATHERI	3
18	3	PARTANEN JOHN ERIC	3
19	3	주식회사 오에이티엠엔씨 - 서울 송파구 도곡로64	3
20	3	INNOPHOS INC - US	3

Tabla 6. Liderazgo empresarial en aplicación para Hormigón &Cemento (izda.) y Asfalto (dcha.).

aned) - NOT Garb	# Records	Show Values >= 1 and <= 10 Cooccurrence # of Records	Fibers
1	158	BRIDGESTONE CORP	10
2	90	SUMITOMO RUBBER INDUSTRIES, LTD.	9
3	68	YOKOHAMA RUBBER CO LTD - JP	1
4	57	KIM, IN JUNG	1
5	47	HYUNDAI MOTOR COMPANY	3
6	15	HWANG, IK HYUN	1
7	15	SHIMIZU CONSTRUCTION CO LTD	1
8	13	DAEWOO ENGINEERING COMPANY	2
9	12	G K CO., LTD.	2
10	9	GK TECHNOLOGY INSTITUTE CO., LTD.	2
11	9	KOREA AEROSPACE INDUSTRIES, LTD	1
12	9	KOREA HIGHWAY AIRPORT TECHNLOG	1
13	9	KOTOBUKI SANGYO	1
14	9	MITSUBOSHI BELTING LTD	3
15	9	TOYODA GOSEI KK	3
16	7	KR	3
17	6	DAINIPPON INK & CHEMICALS	1

# Records	Show Values >= 1 and <= 6 Cooccurrence # of Records	Steel wires
6	LEETECH CO., LTD.	6
12	NAT INST OF ADV IND & TECHNOL3	5
3	Symbiotic Technology LLC - 1011 Locust	3
158	BRIDGESTONE CORP	3
2	조문호 - 부산 수영구 남천2동 148 비치아파트 30	2
9	ONODANI KIKO KK	2
63	KUMHO TIRE CO., INC.	2
2	Symbiotic Technology, LLC	2
2	JJI TECHNOLOGIES, LLC - 1-1750 South	2
2	IMS ENGINEERING KK	2
2	KAYABA SYSTEM MACHINERY KK	2
2	MIIKE IRON WORKS CO LTD	2
6	LEE SANG-YOUNG	2

Tabla 7. Liderazgo empresarial de aplicación para Fibras (izda.) y Cables de Acero (dcha.).

La figura 27 muestra el interés mostrado por las empresas líderes que realizan aportaciones relevantes en tres de los cuatro tipos de aplicaciones mencionadas en las tablas 6 y 7.

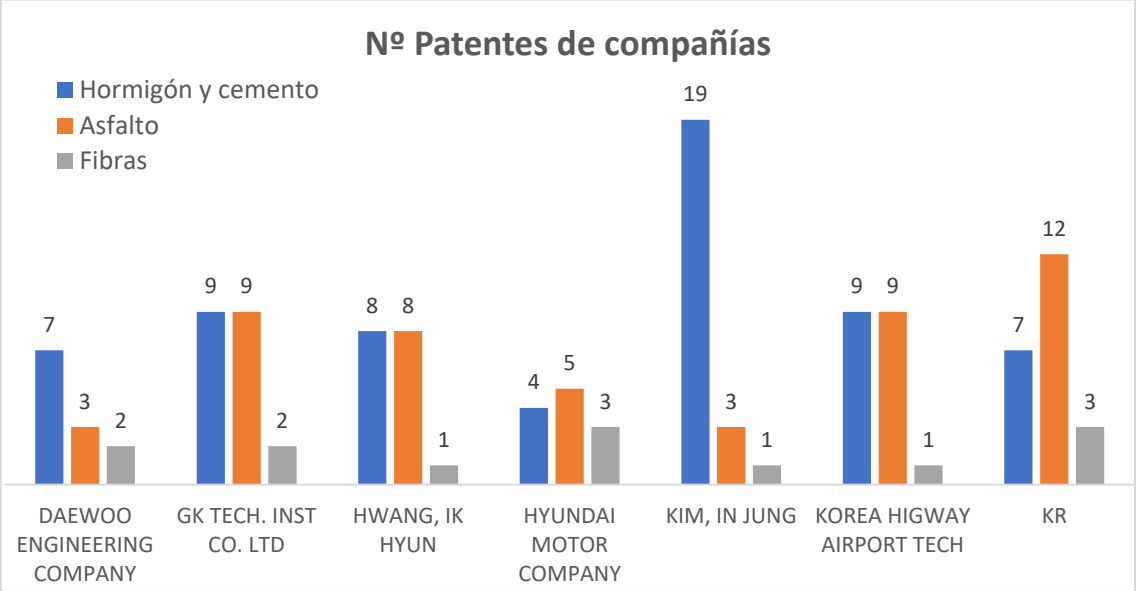


Figura 27. Patentes de organizaciones líderes activas en tres de las cuatro aplicaciones.

En interés por las aplicaciones en Hormigón y Cemento queda en primer lugar, seguido por las aportaciones realizadas para el asfalto, quedando las fibras en último lugar y a mucha distancia de las anteriores. La Compañía KIM, IN JUNG pone su foco principalmente en aplicaciones para la construcción. Sin embargo, GK TECH INST CO LTD, HWANG, IK HYUN Y KOREA HIGWAY AIRPORT TECH realizan el mismo número de aportaciones en construcción y asfalto. KR y HYUNDAI MOTOR COMPANY tienen patrones parecidos en los que predomina el interés por las aplicaciones en asfalto.

La figura 28 muestra la distribución de aportaciones por países.

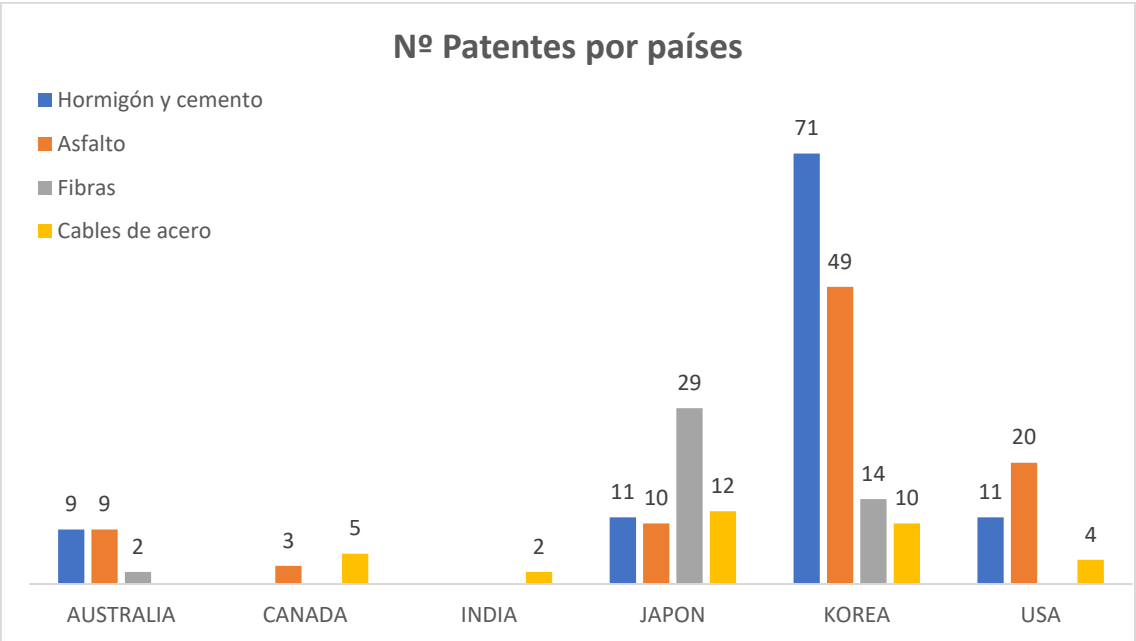


Figura 28. Distribución de patentes por países.

Se observa un claro dominio de Corea seguida, de lejos, por Japón; únicos países que publican en todas las aplicaciones, incluidos los cables de acero. Japón destaca además por tener a las fibras como principal interés. Les siguen a mucha distancia y con patentes en tres de las cuatro categorías los EE. UU. y Australia.

La figura 29 muestra la distribución de publicaciones por continentes.

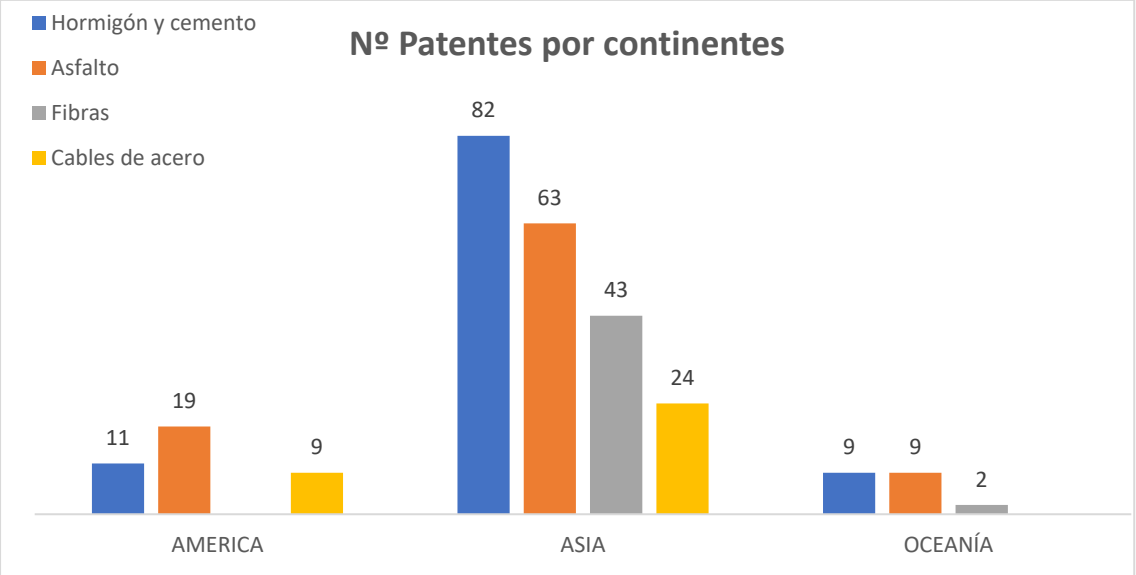


Figura 29. Distribución de patentes por continentes.

Nuevamente, las organizaciones del continente asiático son las grandes dominadoras en cantidad y variedad, pues patentan mucho en todas y cada una de las aplicaciones analizadas. El continente norteamericano le sigue a mucha distancia en número de patentes.

En cuanto a fabricantes de neumáticos hay que destacar el trabajo de Bridgestone, que lidera las aportaciones en asfalto y fibras.

1.9 Análisis TFIDF ("Term Frequency times Inverse Document Frequency")

Un análisis especial de la cienciometría consiste en el cálculo de la frecuencia de términos por la raíz cuadrada del inverso de la frecuencia (Donghwa et al. 2019). Este análisis selecciona aquellos términos de mayor frecuencia entre las familias de patentes de un determinado campo que a la vez son singulares en cada documento. De este modo el análisis elimina palabras comunes que son muy frecuentes y están muy presentes y repetidas en los documentos registrados. Así pues, el análisis TFIDF permite extraer conceptos únicos y novedosos.

Aplicando este análisis a las 11.720 familias de patentes relativas a la recuperación y reciclado de cauchos y gomas se obtienen los resultados de la Tabla 13, resaltando aquellos términos con mayor puntuación TFIDF.

Reset		Abstract (NLP) NLP Refined - NOT Gar	1
		# Records	9298
Key	# Records	Show Values >= 0,00 and <= 47,96 TFIDF (sqrt)	All Records
1	2772	recycling waste tires	45,35
2	1798	rubber tires	47,96
3	511	lower side	35,70
4	419	upper side	33,38
5	309	rubber material	41,42
6	281	carbon black (CB)	38,86
7	281	used tires	35,22
8	259	environmental pollution	27,42
9	227	raw material	31,43
10	221	plastics	31,82
11	208	vulcanized rubber	41,59
12	205	natural rubber (NR)	31,04
13	201	pyrolysis	36,82
14	194	binder	31,53
15	175	durability	24,46
16	152	styrene-butadiene rubber (SBR & SBS)	36,74
17	149	waste plastics	28,50
18	146	elasticity	23,66
19	146	high temperature	27,06
20	134	environmental protection	23,94
21	126	combustion	29,12
22	124	inlet	26,18
23	123	recyclability	24,56
24	113	vibration	26,40

Tabla 8. Puntuación TFIDF de términos relacionados con el reciclado de neumáticos.

Destacan términos generales con puntuaciones TFIDF por encima de 35, como neumáticos usados y su reciclado, caucho, neumáticos de caucho, proceso de vulcanizado, combustión, negro de humo, pirólisis y caucho sintético como el SBR. Después, con puntuaciones alrededor de 30 destacan los registros con alusiones a distintos tipos de materiales como plásticos, caucho natural, materias primas, aglutinantes, residuos de plásticos y válvulas, así como a las distintas partes del neumático como parte interior y de rodadura. A continuación, con puntuaciones por encima de 20 aparecen registros vinculados a propiedades mecánicas de los materiales que componen un neumático como durabilidad, vibración, elasticidad, resistencia a temperatura y reciclabilidad. En ese mismo rango destacan los términos relaciones con la polución y cuidado con el medio ambiente. Esto último puede deberse a la cada vez mayor conciencia ambiental de las empresas y a la presión legislativa y social ejercida por la administración y sociedad en su conjunto.

1.10 Análisis de elementos emergentes

Otro resultado importante que permite obtener el Tech mining consiste en ver los elementos emergentes. De acuerdo con los métodos desarrollados en Georgia Tech, en consonancia con el equipo de investigación de Europa y Asia, se pueden mostrar elementos emergentes a partir del método FUSE (Foresight & Understanding from Scientific Exposition). Este método considera como emergente a aquellos elementos que tienen un ritmo continuado y creciente de publicaciones y registros de la propiedad intelectual por parte de un número creciente de empresas o instituciones que trabajan en el tema y que, además, es relativamente novedoso.

La aplicación del método FUSE al caso del reciclado de neumáticos se muestra a continuación. En primer lugar, se muestran las temáticas o tecnologías emergentes, seguidas de las organizaciones más emergentes, los inventores más emergentes y, finalmente, los países en donde se protegen más las invenciones.

La figura 30 muestra temáticas y tecnologías emergentes como las destinadas a la mejora del reciclaje de neumáticos, mejoras en pirolisis, el uso de nanotubos de carbón, el cracking de neumáticos usados y el interés por el residuo de carbón, entre otros.

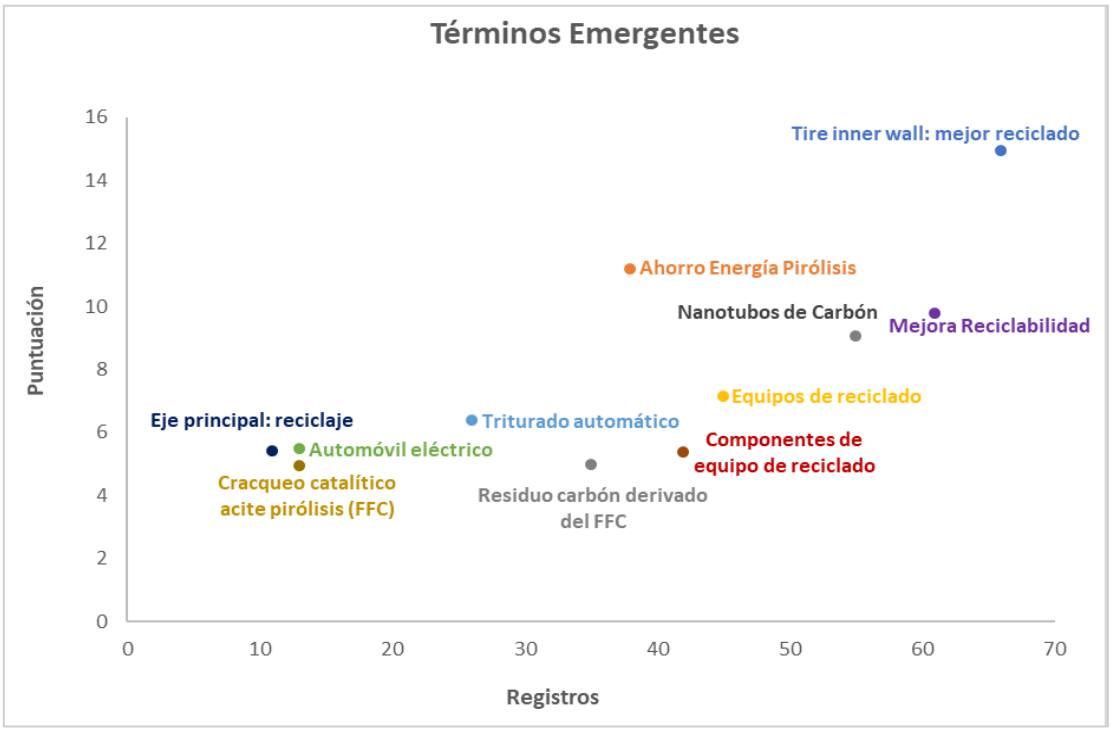


Figura 30. Términos emergentes

Los nanotubos de carbono (NTC) se sintetizaron con éxito mediante el método de deposición química de vapor sobre catalizadores de cobalto utilizando caucho de neumáticos de desecho como fuente de carbono. Los NTC producidos se investigaron mediante difracción de rayos X, análisis termogravimétrico, microscopio electrónico de barrido, microscopía electrónica de transmisión y técnicas de espectro Raman. Se encontró que el material de carbono obtenido existía principalmente en forma de NTC. Debido a que son sistemas ligeros, huecos y porosos y a sus excelentes propiedades mecánicas (alta resistencia a la tracción y enorme elasticidad), han despertado mucho interés en numerosas aplicaciones tecnológicas como el reforzamiento estructural de materiales y formación de composites de bajo peso. En la industria electrónica se usa como aislante, semiconductor o metálico dependiendo de los parámetros geométricos de los tubos. Por su alta capacidad de emisión de electrones también se usa en la fabricación de fuentes de electrones para microscopios electrónicos. En almacenamiento de energía se usan para la preparación de electrodos en supercondensadores y baterías de litio, para el almacenamiento de hidrógeno y como soporte de catalizadores de platino en pilas de combustible. Asimismo, en el sector biomédico están siendo utilizados como biosensores y para la fabricación de músculos artificiales. Por otra parte, la industria alimentaria los usa para la producción de materiales de alto valor añadido, con propiedades mejoradas. Actualmente, todas las

industrias que estén relacionadas con la nanotecnología, como las industrias química, farmacéutica y de biotecnología usan NTC, convirtiéndolos en un elemento estructural con mucho futuro.

Otro campo emergente es el de la valorización de neumáticos mediante craqueo catalítico de aceite de pirólisis. Actualmente, se está investigado en un reactor simulador de tubo ascendente en condiciones de unidad de craqueo catalítico fluido (FCC) utilizando un catalizador equilibrado. Se ha realizado un estudio paramétrico en condiciones de prueba representativas de una unidad industrial. El alcance de las reacciones se ha cuantificado obteniendo los rendimientos de grumos de producto: gas seco, gases licuados de petróleo, nafta y aceite de ciclo ligero. Además, se ha obtenido una composición detallada de cada terrón considerando su naturaleza química y número de átomos de carbono. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto su utilidad para el reciclaje de neumáticos a gran escala.

También destacan las aportaciones relacionadas con el residuo de carbón derivado del FFC mencionado anteriormente. El residuo de carbono de un producto de petróleo, comúnmente conocido como "Concarbon" o "CCR"crudo, da una indicación de la tendencia de ese producto a formar un residuo carbonoso bajo determinadas condiciones térmicas. El residuo carbonoso se denomina correctamente residuo de carbono, pero también se suele denominar coque o coque térmico. La evaluación de las tendencias de formación de carbono de un gasóleo se lleva a cabo mediante una prueba de residuos de carbono. Cuantitativamente, la prueba mide la cantidad de residuo carbonoso que queda después de la evaporación y pirólisis del aceite. Los resultados dan una indicación de la cantidad de coque que se formará durante los procesos térmicos. En general, la prueba es aplicable a productos del petróleo que son relativamente no volátiles y que se descomponen por destilación a presión atmosférica.

En la figura 31 se puede observar los resultados en lo referente a las organizaciones emergentes.

Figura 31. Organizaciones emergentes.

En la tabla 14 aparecen los expertos emergentes y el centro donde trabajan.

Nombre	Filiación	Puntuación
Li zhaohe; Li Hongqi; Zhen Zhili	Beijing Technology CO. LTD. (GUANGZHOU)	17,3
Gao Xin; Liu Kailong; Li Xingang; Li Hong; Cong Shan; Xu Changchun	Tianjin University	12,1
Chen Zilong	Huazhong University of Science and Technology	8,7
Zimmerman, Donald, Robert	Zimmerman, Donald, Robert	7,8
Martin, Jean-valery	Inophos Inc.	7,4
Zheng Pin-Cong; Gong Huang-Guang; Chen Hong-Xiong	Cheng Shiu University, TW Tian Cherng Packing Machinery Corporation	7,1

Tabla 9. Expertos emergentes.

Por último, en la figura 32 aparecen los países emergentes.

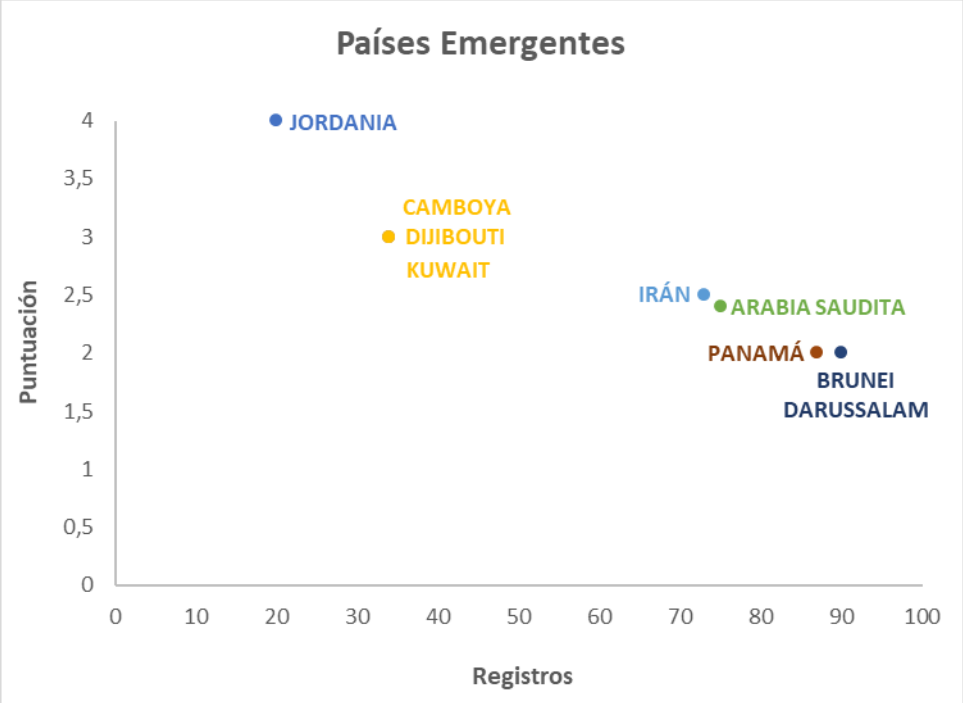


Figura 32. Países emergentes.

1.11 Discusión y conclusiones

Del análisis de patentes acerca de las principales tecnologías empleadas en reciclado de neumáticos se obtiene un predominio indiscutible acerca de los procesos de pirólisis con un crecimiento significativo y sostenido en los últimos 20 años. Se trata de la tecnología más completa en cuanto a valoración material y energética de los neumáticos usados, aunque la necesidad de una elevada inversión en infraestructura limita mucho su implantación.

Del análisis de la evolución del número de patentes registradas en pirolisis a lo largo de los últimos años por las 10 primeras firmas, destacan Bridgestone, Continental, Cabot y Batelle, seguidas de Michelin. Entre ellas, las empresas emergentes son Bridgestone, Continental y Michelín.

En lo relativo al aceite extraído tras procesos de pirolisis destacan por sus publicaciones científicas las universidades Chulalongkorn University de Tailandia, Leeds University del Reino Unido, el National Institute of Technology indio y la Universidad del País Vasco (EHU).

A nivel nacional y en lo relativo a la desulfurización de esos aceites, a la Universidad del País Vasco le sigue el CSIC y, a mayor distancia, las universidades de Castilla La Mancha y Zaragoza.

En lo relativo a la desvulcanización como tecnología prometedora para cerrar el círculo del caucho, el análisis de patentes y publicaciones ha desvelado un limitado interés y una pobre evolución en la última década. Actualmente, los resultados de recuperación son todavía pobres, el proceso presenta problemas de contaminación y no es comercialmente viable.

De la búsqueda en artículos científicos por palabras clave, destaca el número de artículos publicados sobre uso de restos de neumáticos para obtener materiales verdes como el hormigón "engomado", como aglutinante o como partículas y mezclas para asfalto. En menor medida, aparecen aplicaciones del bitumen y del modificador de caucho granulado (CRM) utilizado también en mezclas asfálticas. De entre las instituciones que realizan estas investigaciones destacan, por ejemplo, la Clemson University de Carolina del sur en EE. UU. que presenta 20 publicaciones en 'asphalt binder' (caucho como aglutinante asfáltico) y 19 en 'crumb rubber modified binder (aglutinante modificado con polvo de caucho), la Tinajin University de China tiene 17 publicaciones en hormigón engomado con caucho, siendo la que más publicaciones tiene en ese ámbito. Por otro lado, la Changan University de China destaca por sus 18 aportaciones en uso de caucho como aglutinante asfáltico y sus 23 aportaciones sobre caucho granulado para pavimentos asfálticos. En el uso de partículas de caucho destaca la Univeristat Politècnica de València con 7 aportaciones, siendo la segunda del mundo con mayor número de publicaciones relacionas con sus aplicaciones.

Agrupando la difusión científica de estas instituciones por países, se observa un predominio abrumador de China, seguida, con menos de la mitad de las aportaciones, por EE. UU y, en tercer lugar, y bastante más descolgada, se encuentra la India. Los países europeos tienen una destacada contribución en las aplicaciones de partículas de caucho, empleo de bitúmenes y residuos de neumáticos en general. España está a la cola de los países con mayor presencia, con prácticamente la mitad de las aportaciones que su vecina Portugal. Si la agrupación se hace por continentes, el continente asiático es el gran dominador, seguido a mucha distancia por los norteamericanos (principalmente EE. UU.). Dentro de la supremacía asiática, destacan sobre todo las aplicaciones para asfalto y cemento.

En lo relativo a la interacción y colaboración entre las instituciones dedicadas a la investigación de aplicaciones industriales de trozos y partículas de caucho a partir de neumático de desecho, se puede observar una estrecha actividad entre la Universidad de Changan, la Clemson University, la Universidad de Hong Kong, y la Universidad Tongji, convirtiéndose claramente en las universidades con más 'networking' y, por tanto, con mayor capacidad de realizar avances significativos en este campo.

De la búsqueda y agrupación de patentes por palabras clave de aportaciones relacionadas con el reciclado de neumáticos se obtienen cuatro aplicaciones principales ordenadas de mayor a menor número de registros: hormigones y cementos, fibras obtenidas del caucho, asfaltos y bitúmenes usando elementos varios del caucho y reutilización de cables de acero.

Dada la elevada presencia de patentes en fibras recicladas se realizó un análisis más detallado que revela que las fibras de vidrio son las más citadas, seguidas de las fibras de carbono. La considerable citación de fibras poliméricas está relacionada con el creciente interés en usar las partículas de caucho mezcladas con otros polímeros en plásticos reciclados y en cementos y hormigones.

También destacaron las publicaciones que aconsejan el uso de sílice sustituyendo a negro de humo como material de relleno más sostenible. Desde 2017 hay más publicaciones sobre silicatos que sobre negro de humo en la literatura científica.

Para conocer qué empresas están detrás de las aplicaciones mencionadas, se analizó el número de patentes registradas por las diferentes empresas apareciendo siete organizaciones con actividad destacada en tres de las cuatro aplicaciones: KR, KIM IN JUNG, GK TECH INST CO LTD, KOREA HIGWAY AIRPORT TECH, HWANG, IK HYUN, DAEWOO ENGINEERING CO. y HYUNDAI MOTOR COMPANY. Cada una tiene su perfil, pero en general prevalece el interés por las aplicaciones en Hormigón y Cemento, seguidas por las patentes realizadas para el asfalto, quedando las fibras en último lugar y a mucha distancia de las anteriores. Si se agrupan las empresas por países, existe un claro dominio de Corea seguida, de lejos, por Japón; únicos países con patentes en todas las aplicaciones, incluidos los cables de acero. Japón destaca además por tener a las fibras como principal interés. Les siguen a mucha distancia y con aportaciones en tres de las cuatro categorías los EE. UU. y Australia. Nuevamente el continente asiático es el gran dominador.

De los fabricantes de neumáticos hay que destacar el trabajo de Bridgestone, que lidera el registro de patentes de aplicaciones en asfalto y fibras.

En cuanto a los resultados del análisis TFIDF, destacan con mayor puntuación términos generales como neumáticos usados y su reciclado, caucho, neumáticos de caucho, proceso de vulcanizado, combustión, negro de humo, pirólisis y caucho sintético como el SBR. Después les siguen registros con alusiones a distintos tipos de materiales como plásticos, caucho natural, materias primas, aglutinantes, residuos de plásticos y válvulas, así como a las distintas partes del neumático como parte interior y de rodadura. En tercer lugar, destacan registros vinculados a propiedades mecánicas de los materiales que componen un neumático y los términos relaciones con la polución y cuidado con el medio ambiente. Esto último puede deberse a la cada vez mayor conciencia ambiental de las empresas y a la presión legislativa y social ejercida por la administración y sociedad en su conjunto.

Por último, en cuanto al análisis de términos, organizaciones, autores y países emergentes obtenidos a partir del método FUSE, con mayor número de registros y puntuación se encuentran términos vinculados a mejoras en los procesos de reciclados de neumáticos, mejoras en el proceso de pirólisis y empleo de nanotubos de carbón a partir de neumáticos reciclados. En cuanto a empresas, las ya mencionadas Bridgestone, Goodyear, Continental y Michelín destacan por sus elevados registros, y las universidades de Jiangsu y Tsinghua por su mayor puntuación.

El ranking de expertos lo encabezan Li Zhaohe; Li Hongqi; Zhen Zhili todos de la universidad de Beijing. Por último, los países emergentes son Jordania, Camboya, Dijiboouti y Kuwait.

Esta primera aproximación ha permitido conocer las principales tendencias de los términos más generales vinculados al uso de NFU para entender qué se está haciendo y quiénes están detrás de ese trabajo. Un análisis más pormenorizado en temas más concretos se podrá realizar en caso de querer profundizar en aspectos más detallados de interés para TNU.

2. Responsabilidad Ampliada del Productor: Breve estado del arte

2. Responsabilidad Ampliada del Productor: Breve estado del arte

Según Spicer y Johnson (2004), se pueden adoptar varios modelos para la gestión de productos al final de su vida útil (EOL por sus siglas en inglés). Hoy en día existen principalmente tres sistemas diferentes en Europa: (a) responsabilidad del productor, (b) sistema fiscal y (c) sistema de libre mercado. El primer modelo se articula en cada país bajo el marco legal correspondiente, que generalmente conduce al establecimiento de una asociación sin ánimo de lucro financiada por los productores de neumáticos y destinada a gestionar la recolección, tratamiento y recuperación de neumáticos usados. Además, estas entidades deberían ser capaces de desarrollar tecnologías y construir capacidades adicionales de I+D que generasen un conocimiento de alto nivel en la materia, garantizando una buena supervisión y control del todo el sistema, así como la transparencia de los costes operativos. Por otra parte, bajo el modelo de sistema tributario el gobierno de cada país es responsable de la recolección, recuperación y reciclaje de NFU. Se financia mediante un impuesto que se aplica a los productores y que posteriormente se transfiere al cliente. Se trata de un sistema intermedio mediante el cual los productores pagan un impuesto al Estado, que es responsable de la organización general y remunera a todos los operadores en la cadena de recuperación. Por último, en el sistema de libre mercado la legislación nacional establece los objetivos a alcanzar, pero no designa a los responsables. De esta forma, todos los operadores de la cadena de recuperación contratan en condiciones de libre mercado y actúan de conformidad con la legislación. Esto puede estar respaldado por la cooperación voluntaria entre empresas para promover e implantar las mejores prácticas.

La Responsabilidad Ampliada del Productor (EPR por sus siglas en inglés) es un principio de política medioambiental que extiende la responsabilidad de los productores para cubrir todo el ciclo de vida de sus productos, incluida la recogida, el tratamiento y la eliminación al final de su vida útil. Tradicionalmente, la gestión de productos al final de su vida útil ha estado en manos de los municipios y gobiernos locales. Pero el sistema de gestión de residuos dirigido por el gobierno se ha enfrentado cada vez a más problemas como la falta de espacio en los vertederos, la oposición pública a los nuevos incineradores, la infraestructura de residuos fragmentada y los costes crecientes del reciclaje (Hickle, 2014; OCDE, 2001). Al trasladar de los municipios a los productores la carga de la gestión del final de vida de los productos, la EPR tiene como objetivo responsabilizar y trasladar las consecuencias del final de la vida útil de los neumáticos a los productores. Supuestamente, bajo la EPR, los productores tendrían más incentivos para cambiar el diseño de sus productos para reducir el coste de la gestión del final de su vida útil (por ejemplo, mejorando la reciclabilidad del producto o reduciendo la cantidad de materiales peligrosos), así como para realizar mejoras en la gestión, inversiones en infraestructura, tecnología y desempeñar labores de comunicación y divulgación pública para la mejora del tratamiento de residuos (Lifset et al., 2013; Manomaivibool, 2009). Así, la EPR es un enfoque orientado al ciclo de vida y basado en el mercado para mejorar los resultados ambientales de la gestión de residuos de una manera económicamente eficiente (OCDE, 2001).

Actualmente, hay alrededor de 395 sistemas EPR en funcionamiento alrededor del mundo que gestionan varios productos al final de su vida útil, incluidos los pequeños equipos electrónicos, envases, neumáticos, vehículos y baterías de plomo-ácido, etc (Kaffine y O'Reilly, 2015). Más del 70% de estos sistemas EPR se han implementado desde 2001, cuando se publicó el Manual de orientación de la OCDE, y el 90% se han implementado en América del Norte (48%) y la UE (42%). El resto de EPR se han adoptado en varios países del Sur como una herramienta de gestión de productos para neumáticos (Banguera et al., 2018; Zarei et al., 2018). Sin embargo, estudios recientes han ilustrado

los desafíos de adoptar sistemas EPR en estos países. Dichos desafíos incluyen el conocimiento limitado de prácticas efectivas en Botswana (Mmereki et al., 2019), la dificultad de incentivar e integrar a los actores necesarios en las operaciones en Colombia (Park et al., 2018), y trasladar directamente una herramienta de política europea a Brasil (Milanez y Bührs, 2009). Por el contrario, Cecchin et al. (2019) en Ecuador destacaron el potencial de integrar los objetivos de la economía social con las prácticas convencionales de fin de vida asociadas con sistemas EPR.

La gestión del fin de vida de productos en sistemas EPR se puede organizar de varias formas. Spicer y Johnson (2004) describen tres enfoques para la implementación: (1) Retirada por parte del "fabricante de equipos originales", donde el productor original asume la responsabilidad directa de la recolección y posterior procesamiento; (2) "Retirada agrupada", donde se comparte la responsabilidad entre un consorcio de productores, conocido como Organizaciones de Responsabilidad del Productor (PRO, por sus siglas en inglés), generalmente organizado por un código de categoría de producto, p. Ej. neumáticos; y (3) "Proveedores de responsabilidad del producto" (PRP), donde el PRO contrata a un tercero privado y asume el EOL responsablemente del producto en su nombre. Esto, teóricamente, da como resultado beneficios duales para los fabricantes y la sociedad en general, incluida la eliminación del riesgo financiero asociado con actividades complejas de procesamiento de EOL (reciclaje, incineración, desmontaje, refabricación, restauración, etc.).

Los aspectos normativos clave de un sistema EPR eficaz incluyen la formulación de objetivos a largo plazo, el fomento de mejoras continuas y la actualización de objetivos, al tiempo que alienta a los pioneros y convence a que los rezagados se sumen al sistema (Vermeulen y Weterings, 1997). Los beneficios públicos derivados de sistemas EPR incluyen instalaciones de fabricación local distribuidas y retroalimentación económica inmediata que permite impulsar mejoras (Spicer y Johnson, 2004). Los desafíos para los gestores locales incluyen el conocimiento de los planos del producto original, que los productores pueden no estar dispuestos a transferir, y la búsqueda de mercados adecuados para materiales reciclables. Estudios anteriores argumentaron que esta responsabilidad colectiva podría acabar debilitando el impulso del ecodiseño de neumáticos de las empresas (Castell et al., 2008).

En definitiva, con la EPR la responsabilidad del productor por un producto se extiende a la etapa posterior al consumo. La intención es trasladar la carga física y/o financiera de los productos al final de su vida útil de las instituciones públicas al productor (Monier et al., 2014; OCDE, 2001). Dentro de la legislación EPR, los instrumentos de política económica y regulatoria se combinan con el fin de mejorar la recolección de residuos, reducir los residuos mediante la incentivación del ecodiseño y aumentar la eficiencia de los recursos mediante tasas de reciclaje más altas, así como para transferir el coste de la gestión de residuos del contribuyente al que contamina (es decir, el productor o el usuario final de un producto) (Lindhqvist, 2000; OCDE, 2001; Van Breusegem, 2009). El marco legal consiste principalmente en una obligación de devolución (instrumento regulatorio) en combinación con una tarifa de eliminación anticipada (instrumento económico).

2.1 Responsabilidad ampliada del productor de neumáticos de desecho en la UE

En 2009, la EU27 se enfrentó al desafío de gestionar, de manera ambientalmente racional, más de 3,2 millones de toneladas de neumáticos usados (incluidos los neumáticos para recauchutado y reutilización / exportación), un 2,5% menos que en 2008. Después de la clasificación, se estima que 2,6 millones de toneladas de NFU permanecieron en el mercado de la UE para recuperación y reciclaje, con el 96% tratados correctamente (ETRMA, 2011), lo que convierte a Europa en una de las regiones más avanzadas del mundo en el reciclaje y recuperación de estos neumáticos (Uruburu et al., 2013).

La EPR es una herramienta de política que a menudo se presenta como un instrumento apropiado para la gestión sostenible de residuos provenientes de fuentes de desechos difíciles de recolectar y tratar. En un artículo reciente de Winternitz et al. (2019) se analizan las experiencias de gestión de NFU con EPR en la UE.

La EPR es el sistema de gestión más común para tratar los neumáticos de desecho en la UE. De los 27 estados miembros de la UE en la actualidad, 21 han implementado la EPR (Bakas, 2013; EcoAnvelope, 2018; ETRMA, 2017a; Gov. de la Rep. De Croacia, 2017; Monier et al., 2014; SektionV, 2017). Fuera de la UE, Noruega, Suiza y Turquía tienen EPR para neumáticos de desecho (ETRMA, 2017a). Más allá de Europa, la EPR para neumáticos de desecho se vuelve menos popular, pero aún se puede encontrar en la mayoría de las provincias canadienses y algunos estados americanos (SAIC Energy, 2012), así como en Corea del Sur (WBCSD, 2010).

La implementación de sistemas EPR para neumáticos dentro de la UE es variada. La mayoría de los productores subcontratan colectivamente sus responsabilidades bajo un sistema de EPR a terceros que son organizaciones no gubernamentales y en su mayoría sin ánimo de lucro; las anteriormente denominadas Organizaciones de Responsabilidad del Productor (PRO). Como se ilustra en la Tabla 10, en la mayoría de los países existe un modelo que consiste en un único PRO cuyos miembros son productores e importadores, aunque también existen sistemas nacionales de EPR con dos PROs, uno fundado por productores y otro por importadores, como ocurre en España y Francia. Además, también existen esquemas individuales en los que un productor/importador no subcontrata sus responsabilidades según la legislación EPR, sino que las implementa él mismo. El marco legal italiano prohíbe los esquemas individuales, lo que resulta en un sistema con 37 PROs. Hungría y Croacia cuentan con los únicos dos sistemas implementados por el gobierno que sustituyen a los PRO. Así, asignan la responsabilidad financiera a los productores y los organismos gubernamentales ejecutan las actividades que suelen realizar las PROs (EEA, 2016; Gobernador de la República de Croacia, 2007).

	Un ORP		Multiples ORPs (número de ORPs)	RAP Organizado Gubernamentalmente
Estados miembros	Bélgica	Lituania	Bulgaria (?)	Croacia
	República Checa	Países Bajos	Francia (2)	Hungría
	Estonia (solía tener dos ORPs; pero uno recientemente quebró)	Portugal	Italia (37)	
		Rumania	Polonia (?)	
	Finlandia	Eslovaquia	España (2)	
	Grecia	Eslovenia		
	Irlanda	Suecia		

Tabla 10. Número de PRO por Estado miembro de la UE. Traducida de Winternitz et al. (2019).

El desempeño técnico en cuanto a recolección y tratamiento también es variado. Si bien algunos sistemas tienen tasas de recolección del 100% o más, otros tienen menos éxito. Superar el 100% se debe a que la reutilización y recauchutado de neumáticos, que se cuentan una vez al ingresar al mercado de reemplazo como un neumático nuevo, se cuentan repetidamente en la etapa de desecho, ya que un neumático se puede reutilizar y recauchutar más de una vez. Las tasas de tratamiento pueden variar significativamente entre los estados miembros. La figura 33 presenta neumáticos usados, recuperación de material, recuperación de energía y depósitos en vertedero o tarifas no contabilizadas por país. Los neumáticos usados combinan neumáticos reutilizados/recauchutados localmente, así como los exportados para su reutilización/recauchutado.

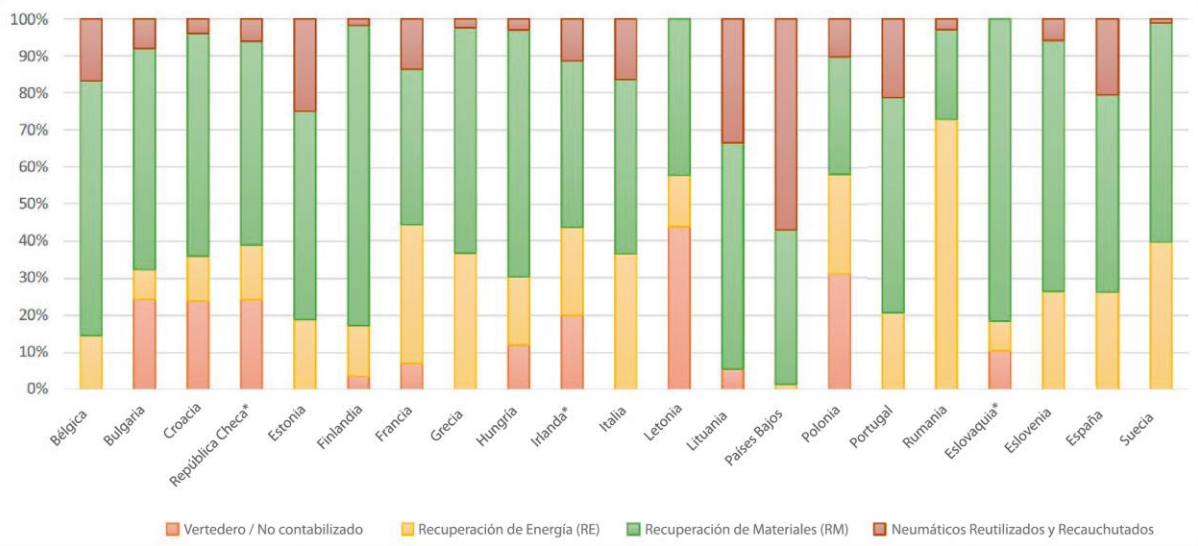


Figura 33. Tratamiento de neumáticos de desecho bajo la responsabilidad ampliada del productor en la Unión Europea en 2015. Traducida de Winternitz et al. (2019). Los países marcados con * aún no tenían un EPR en funcionamiento para neumáticos en 2015.

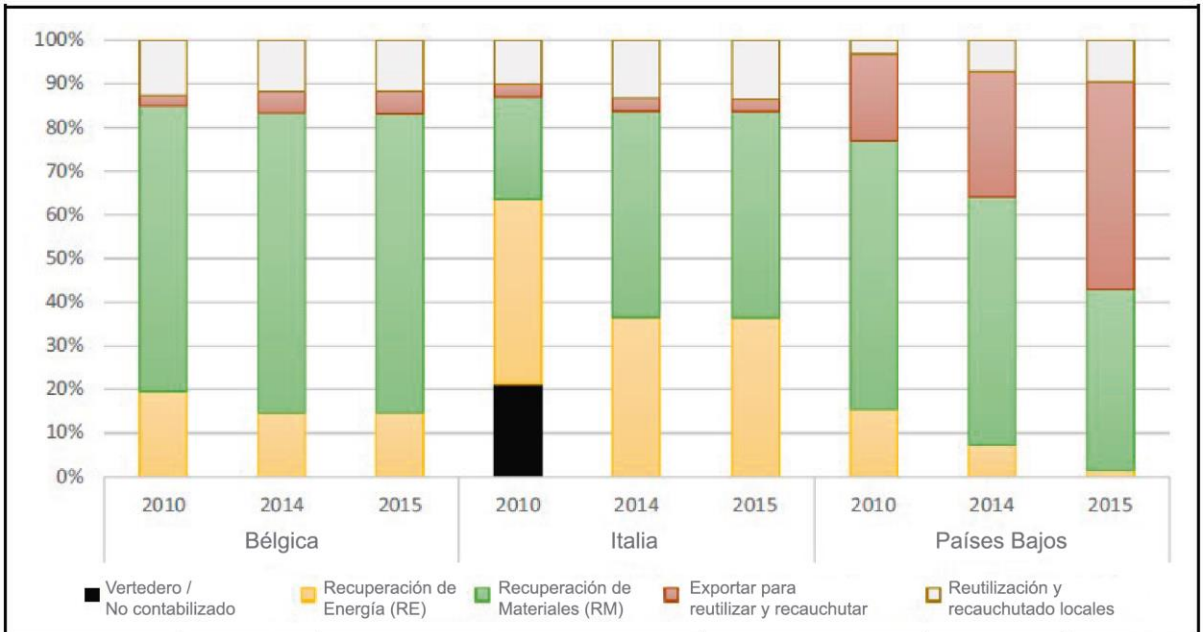
En el trabajo de Winternitz et al. (2019) se entienden neumáticos reutilizados como neumáticos que pueden reutilizarse para su propósito original sin tratamiento adicional. Los neumáticos recauchutados se consideran neumáticos que solo pueden reutilizarse para su propósito original después de renovar su banda de rodadura. La recuperación de material (RM) incluye neumáticos sometidos a reciclaje, ingeniería civil, obras públicas y operaciones de relleno, así como el 25% del peso de los neumáticos incinerados en hornos de cemento. La recuperación de energía (ER) incluye neumáticos sometidos a tratamiento térmico para generación de energía y/o calor, procesos de co-incineración y pirólisis. Los neumáticos de la categoría Vertedero / no contabilizados se depositan en vertederos o representan lagunas en los datos porque se ponen en el mercado más neumáticos nuevos de los que se contabilizan en el sistema. Los términos son idénticos al uso que hace la ETRMA (Asociación europea de fabricantes de neumáticos y caucho), ya que los datos utilizados en este estudio dependen de ellos. Sin embargo, las definiciones de ETRMA no corresponden necesariamente a las definiciones de la UE (Van Breusegem y Gonser, 2017). Para evaluar si el diseño de la política influye en el desempeño del tratamiento y cómo lo hace, Winternitz et al. (2019) comparan tres casos de estudio.

2.2 Casos de Estudio

2.2.1 Bélgica

Bélgica introdujo su EPR para neumáticos en 2004 y gestiona una media de 78.000 toneladas de neumáticos de desecho al año, con tasas de recogida recientes superiores al 100% (Recytyre, 2016, 2015, 2014). Se está logrando una tasa de recuperación de material promedio del 85% y una tasa de recuperación de energía del 15% y, como tal, el sistema belga ha superado sus objetivos legales, ver figura 34. Bélgica es un estado federal con tres regiones (Flandes, Valonia y la Región de Bruselas). El comercio y la economía son competencias federales, mientras que el medio ambiente es una competencia regional. Si bien la política de residuos se diseña, se hace cumplir y se informa a nivel regional, las políticas relativas a los productos se manejan a nivel federal. Por lo tanto, no solo existen discrepancias potenciales entre las políticas federales y regionales, sino también entre las regiones.

En el caso de la EPR para neumáticos, cada región tiene un acuerdo de política medioambiental independiente con Recytyre, el único PRO para neumáticos que opera en Bélgica. A pesar de esto, no existen diferencias en los objetivos de recolección y tratamiento (OVAM, 2018; VVSG, 2018). Dentro de Bélgica, Flandes fue la primera región en implementar la EPR para neumáticos, motivo por el que solo se describe más detalladamente la legislación flamenca.



Valores en toneladas		Total de neumáticos de desecho	Neumáticos usados			Recuperación de materiales		Recuperación de energía	Vertedero/ No cont.
			Reutilización local	Recauchutado local	Exportar para reutilizar/recauchutar	Ingeniería Civil	Reciclaje		
Bélgica	2010	82,000 (87,000)*	1,000	10,000	2,000	1,000	56,000	17,000	0
	2014	72,000	3,500	5,000	3,500	0	49,500	10,500	0
	2015	77,000	4,000	5,000	4,000	0	52,750	11,250	0
Italia	2010	426,000	0	43,000	12,000	20,000	80,000	180,000	91,000
	2014	453,000	36,000	24,000	14,000	2,000	211,750	165,250	0
	2015	444,000	36,000	24,000	13,000	5,000	204,500	161,500	0
Países Bajos	2010	65,000	0	2,000	13,000	1,000	39,000	10,000	0
	2014	97,500**	5,000	2,000	28,000	3,000	52,375	7,125	0
	2015	105,000	5,000	5,000	50,000	3,000	40,500	1,500	0

*ETRMA afirma que surgieron un total de 82000 toneladas de neumáticos de desecho, pero se recuperaron 87000 toneladas. Una posible explicación de esta discrepancia de 5000 toneladas es que en 2010 entró en vigor un nuevo acuerdo medioambiental que incluía por primera vez existencias históricas.
** El aumento relativamente marcado de neumáticos de desecho puede deberse a cambios en la presentación de datos.

Figura 34. Tratamiento de neumáticos de desecho en Bélgica, Italia y Países Bajos.

2.2.1.1 Marco legal

La principal motivación para introducir la EPR para neumáticos en Flandes fue reducir la eliminación ilegal. Los objetivos secundarios fueron incentivar el ecodiseño y la prevención de residuos (OVAM, 2018). El marco legal en general, y la EPR para neumáticos en particular, viene dado por el Decreto de

Materiales y su orden ejecutiva VLAREMA. Estos definen al productor como fabricantes e importadores de neumáticos, incluidos los vendedores online. Hacen cumplir la obligación de devolución y la tarifa de eliminación anticipada en forma de tarifa visible (OCDE, 2016). Los neumáticos son residuos comerciales, lo que significa que los municipios no están obligados a recogerlos. Sin embargo, muchos municipios recolectan neumáticos de forma voluntaria, ya que creen que rechazarlos incentiva potencialmente la eliminación ilegal (VVSG, 2018).

El Decreto de Materiales define además el marco para los llamados acuerdos de política ambiental. Estos se negocian entre el regulador y el sector de los neumáticos y contienen la implementación práctica de la obligación de devolución y especifican objetivos para la recogida, la recuperación de material y la recuperación de energía. El acuerdo se renegocia cada cinco años. El último acuerdo flamenco expiró en 2015 y contenía lo siguiente:

- Neumáticos de equipo original incluidos en el alcance;
- Objetivo de recogida del 100%;
- Objetivos de tratamiento:
    - Recuperación mínima del material del 55% (incluida la reutilización y el recauchutado)
    - Máximo de recuperación de energía del 45%.

Actualmente no existe un nuevo convenio debido a las disputas con recolectores privados (OVAM, 2018).

La legislación no especifica cómo los productores implementan sus responsabilidades y les da espacio para organizarse tanto individual como colectivamente a través de uno o varios PRO.

2.2.1.2 Implementación: el esquema Recytyre

Dentro de Bélgica, los productores solo han establecido un PRO (Recytyre), y actualmente solo funciona un esquema individual en Flandes (OVAM, 2018). Recytyre informa a la autoridad pública pertinente en cada una de las regiones de Bélgica. Tiene alrededor de 750 miembros y se financia a través de cuotas (Recytyre, 2018). La gestión de NFU se paga mediante una tarifa visible, que es calculada por Recytyre y es aprobada por la autoridad pública regional. El consumidor paga la tarifa visible por los neumáticos nuevos en el momento de la compra. La tarifa cubre:

- Recogida y tratamiento de neumáticos
- Programas de prevención de neumáticos de desecho
- Difusión y comunicación al público sobre el plan
- Administración del PRO (OVAM, 2018)

El coste de gestión de los neumáticos desechados ilegalmente no está incluido y, por lo tanto, está cubierto por los municipios, es decir, el contribuyente (VVSG, 2018). Las existencias históricas se incluyen parcialmente en el sistema y el coste de eliminación se comparte entre el PRO, la autoridad regional y el propietario del stock (OVAM, 2018).

Recytyre organiza la recogida de NFU. Los puntos de recogida son en su mayoría puntos de venta de neumáticos (talleres y distribuidores de neumáticos), que se registran en Recytyre. Solo se recolectan alrededor de 5.000 toneladas anuales de los sitios de servicios municipales. Los municipios que participan en el programa Recytyre reciben una compensación económica (35€/tonelada), que no cubre totalmente los costes. El principio "1 por 0" se aplica a los puntos de recogida, es decir, los neumáticos de desecho deben aceptarse incluso si no se compran unos nuevos. Esto está limitado a

cuatro neumáticos por hogar al año (VVSG, 2018). Recytyre contrata directamente a recolectores privados, que recolectan neumáticos y los transportan a instalaciones de tratamiento pertenecientes al sistema. La elección de la instalación depende del recolector. Los objetivos de recuperación de material y energía se subcontratan a los recolectores. La política de pago de Recytyre a los recolectores de residuos es única entre los sistemas EPR de Bélgica: una consultora independiente calcula el coste de recolección y tratamiento de los neumáticos, que luego se ofrece a los recolectores.

2.2.1.3 Evaluación

Un punto fuerte del sistema belga son los acuerdos medioambientales entre el sector y el gobierno. Son una forma inclusiva de involucrar al sector y permiten flexibilidad en el ajuste del contenido del sistema EPR. Cada cinco años se renegocia el acuerdo, lo que es una oportunidad para ajustar tanto los objetivos como el alcance. La operación del sistema a través de acuerdos ha permitido evolucionar el sistema EPR e incluir gradualmente neumáticos de equipo original y existencias parcialmente históricas. También ha sido posible escalonar la compensación financiera de los municipios por los neumáticos recogidos.

Sin embargo, este procedimiento también representa una amenaza para todo el sistema EPR. La formación del nuevo acuerdo ambiental está actualmente estancada por las empresas de recolección de residuos. El conflicto tiene su origen en la opinión de los recolectores de que sus márgenes de beneficio están siendo erosionados por la política de precios de Recytyre. En un sistema de mercado libre, los recolectores contratan individualmente con puntos de recolección (principalmente garajes), dando a los recolectores el control sobre el precio de recolección. Según la legislación EPR, el PRO contrata a los recolectores, no a los puntos de recolección. Esto cambia la influencia que tienen los recolectores durante las negociaciones. Los recolectores se enfrentan actualmente a un bloque unido de productores y talleres. Anteriormente, Recytyre había licitado el cobro, pero esto llevó con frecuencia a que los cobradores impugnaran las decisiones en los tribunales. Así, Recytyre cuenta ahora con una consultora independiente que calcula el coste de recogida y tratamiento con el fin de ofrecer un precio fijo y justo tanto para Recytyre como para los recolectores. Los recolectores pueden decidir entonces colaborar por ese precio o no. Sin embargo, en la actualidad los recolectores no están contentos con esta solución y están presionando contra el sistema EPR a nivel político. Esto ha llevado a una situación en la que el nuevo acuerdo ambiental ni siquiera se encuentra actualmente en una etapa de borrador después de que el anterior expirara en 2015. Mientras tanto, Recytyre continúa sus operaciones en las condiciones del acuerdo anterior (OVAM, 2018; VVSG, 2018).

La implementación de sistemas EPR a través de acuerdos es una es una característica común en todos los EPR que existen en Bélgica y, en general, todos los sectores la consideran un buen modelo, ya que participan e influyen en los objetivos. Actualmente, solo la EPR para neumáticos está amenazada. Sin embargo, el modelo es criticado pues coloca al gobierno en una posición de negociación débil al depender del acuerdo del sector privado. Una opción para evitar tales situaciones sería aumentar la influencia legislativa imponiendo legalmente un plazo para llegar a un acuerdo. Si no se puede llegar a un acuerdo después de un período de tiempo fijo, el gobierno podría imponer condiciones (VVSG, 2018).

Las tasas de recuperación de material relativamente altas y una fuerte disminución de los neumáticos eliminados ilegalmente (OVAM, 2018; VVSG, 2018) hacen que el sistema belga sea un éxito desde el punto de vista del tratamiento de NFU. Sin embargo, las dificultades para establecer un nuevo acuerdo ambiental apuntan a debilidades en el marco legal.

2.2.2 Italia

Italia presentó su EPR para neumáticos en 2011, y se ocupa anualmente de unas 444.000 toneladas de neumáticos de desecho, incluidas las existencias históricas. La introducción de EPR tuvo un impacto significativo en la tasa de recuperación de material, que se duplicó con creces en los tres primeros años (ver fig. 34).

Desde la introducción de la EPR, los neumáticos desechados ilegalmente, que constituían una cuarta parte de los neumáticos puestos en el mercado en 2010, han disminuido constantemente (Torretta et al., 2015). Actualmente, la tasa de recolección se estima en el 90% (Public Authority, 2018).

2.2.2.1 Marco legal

El objetivo principal de la implementación de EPR para neumáticos en Italia era impulsar las tasas de reciclaje nacionales. Muchos países de la UE ya habían implementado la EPR para neumáticos y el regulador italiano consideró el enfoque EPR como un medio eficaz para mejorar las tasas de reciclaje (Public Authority, 2018). El EPR italiano para neumáticos está definido principalmente por el Decreto Ministerial no. 82. Se describe una obligación de devolución acompañada de una tasa de eliminación anticipada en forma de tasa visible. El único objetivo señalado es el de recolección y especifica que los productores están obligados a recolectar el 100% de los neumáticos correspondientes a los neumáticos introducidos en el mercado el año anterior. Si no se cumplen los objetivos de recaudación o los informes son defectuosos, se imponen sanciones basadas en la tarifa visible. La sanción más alta es por el uso indebido (Los free-riders son productores de neumáticos que no participan en un plan colectivo de EPR ni asumen individualmente sus responsabilidades), que equivale al 200% de la tarifa por neumáticos comercializados ilegalmente. En caso de que no se cumpla el objetivo mínimo de recolección, la penalización es del 150% de la tarifa por la cantidad de neumáticos no recolectados. Los informes incorrectos se multan con el 15% y los informes tardíos con el 5% de la tarifa correspondiente por incumplimiento detectado.

El decreto define claramente que los neumáticos son residuos solo cuando han llegado al final de su vida útil. En Italia, es el propio garaje el que se considera el principal productor de neumáticos de desecho y no el automóvil o el propietario del vehículo, que es el que genera los residuos. Los garajes son los que toman una decisión sobre el uso prolongado o el final de la vida útil del neumático. Si un neumático no es elegible para su reutilización ni recauchutado, es un neumático al final de su vida útil (ELT) y se entrega a los recolectores de residuos, momento en el que los neumáticos se convierten legalmente en residuos (Gobernador de Italia, 2011).

La tarifa la determina el regulador. Anualmente, cada PRO presenta el coste de la gestión de ELT dentro de su esquema, que forma la base para establecer la tarifa. El coste de gestión de neumáticos desechados ilegalmente no está incluido en la tarifa y los municipios no reciben compensación por la recolección. Por lo tanto, parte de la carga financiera de la gestión de neumáticos fuera de uso recae en el contribuyente (Public Authority, 2018).

La legislación italiana estipula que las estructuras que se ocupan de los NFU deben ser entidades legalmente independientes (Gobernador de Italia, 2011). Por lo tanto, los productores que ejecutan sus responsabilidades individualmente también deben formar un PRO. Esto conduce a un sistema con 37 PROs actualmente, donde algunos representan solo un productor y otros representan múltiples. Además, cualquier empresa que venda neumáticos, independientemente de su tamaño, debe ser miembro de un PRO, ya que los permisos de venta e importación solo se emiten si se pertenece a un

PRO. Esto significa que cada taller que vende neumáticos es miembro de un PRO. Esto asegura una cobertura total para la recolección (Public Authority, 2018). Si es necesario, los PRO pueden usar existencias históricas para alcanzar sus objetivos de recolección anual. Además, al menos el 30% del superávit financiero de un PRO debe dedicarse a la eliminación de existencias ilegales o históricas (Gobernador de Italia, 2011).

2.2.2.2 Implementación: el esquema Ecopneus

Italia tiene actualmente 37 PRO. El más grande es Ecopneus, cuyos miembros representan el 70% del mercado de neumáticos de repuesto. El segundo más grande es Ecotyre con una participación de mercado del 20% (Public Authority, 2018). Los 35 PRO restantes comparten el 10% restante del mercado.

Ecopneus fue fundada por fabricantes de neumáticos y gestiona aproximadamente 250.000 toneladas de NFU al año. Contrata directamente con recolectores e instalaciones de tratamiento. Los recolectores no clasifican los neumáticos para reutilizarlos o recauchutarlos, ya que esto se hace en los puntos de recolección. Los neumáticos recolectados se trituran y luego el 62.5% se envía para recuperación de energía y el 37.5% para recuperación de material (Ecopneus, 2018). Estos valores son contrarios a las cifras nacionales, donde el 56,5% se destina a material y el 43,5% a valorización energética. A nivel nacional, esto significa que Ecopneus es responsable del 25,3% del material y del 42,1% de la recuperación de energía de Italia a partir de NFU (Ecopneus, 2018; ETRMA, 2017b).

Sobre la base de que las tasas de recuperación informadas son precisas, Ecopneus es casi el único responsable de la recuperación de energía de los NFU. Esto, a su vez, significa que los 36 PRO restantes, relativamente pequeños, representan la mayor parte de la tasa de recuperación de material, operando en un nivel ambientalmente más deseable que Ecopneus.

2.2.2.3 Evaluación

La legislación del sistema EPR italiano presenta un alto grado de claridad. Establece que los neumáticos se convierten en residuos después de que los talleres los consideren no reutilizables. Esto conduce a un incentivo financiero para los talleres, que claramente los alienta a clasificar los neumáticos reutilizables para su reventa (Gobernador de Italia, 2011). De los tres casos de estudio, Italia tiene las tasas de reutilización y recauchutado locales más altas, ver figura 34, lo que apunta al éxito de esta práctica. El sistema EPR italiano es el único de los casos de estudio que incluye existencias históricas. La recolección se basa en un principio de "1 por 1", lo que significa que los puntos de recolección solo deben aceptar un neumático de desecho a cambio de un neumático vendido. En combinación con las existencias históricas permitidas para alcanzar el objetivo de recolección, esto significa que un neumático de desecho histórico potencialmente expulsa un neumático de desecho actual de la recolección. La legislación, por un lado, contrarresta claramente la amenaza de selección que implican las existencias históricas incluidas en los objetivos de recogida. Por otro lado, asigna el 30% de las ganancias de las PRO a la gestión de existencias históricas (Gobernador de Italia, 2011).

En un sistema con 37 PROs, la información completa y, por lo tanto, la transparencia y la trazabilidad del flujo de material de los NFU es de gran importancia. Esto se refleja en la legislación mediante sanciones no solo por la falta de informes, sino también por informes incompletos. Sin embargo, todavía hay filtraciones de material (Public Authority, 2018), lo que muestra cuán desafiante puede ser la supervisión en un sistema con múltiples PRO. Las tasas de recuperación de energía comparativamente altas de Italia, con gran parte de los NFU sujetos a co-incineración en hornos de

cemento, apuntan a una dependencia de la producción de cemento. La unión del mercado de NFU al mercado del cemento lo convierte en muy vulnerable. La recuperación de material se considera un mercado de salida más sólido debido a su diversidad (Bell y Cave, 2010; Boyle, 2012; Huang y Tang, 2009; Martínez et al., 2013; Scott, 2016; Sienkiewicz et al., 2012; WBCSD, 2010). Italia tiene objetivos legislativos solo en lo que respecta a la recogida. **La introducción de objetivos de recuperación de material separados, quizás combinada con un límite en la recuperación de energía, podría diversificar el mercado final de NFU, así como mejorar todo el desempeño ambiental del sistema al promover la recuperación de material.**

La EPR italiana para neumáticos ha logrado reducir los neumáticos desechados ilegalmente en el medio ambiente (Public Authority, 2018). Sin embargo, dado que el objetivo inicial era impulsar los objetivos de reciclaje, el sistema EPR ha tenido menos éxito, ya que las tasas de recuperación de energía siguen siendo relativamente altas. El requisito legal de ser miembro de un PRO intensifica la administración por parte del regulador y potencialmente conduce a dificultades para consolidar la información y rastrear los flujos de desechos por parte de la autoridad competente. Sin embargo, esta práctica casi erradica el free-riding.

2.2.3 Los Países Bajos

La legislación sobre NFU en los Países Bajos se remonta a 1995. En el año 2000, el sistema EPR estaba en pleno funcionamiento. En promedio, los Países Bajos procesan anualmente 89.000 toneladas de NFU, ver figura 34.

2.2.3.1 Marco legal

El actual EPR para neumáticos entró en vigor en 2004, que sustituyó a la legislación inicial de 1995. Su objetivo es la recogida y el procesamiento de NFU respetuosos con el medio ambiente (RecyBEM, 2013). Solo los neumáticos de vehículos ligeros de hasta 3,5 toneladas y los neumáticos de los remolques están dentro del alcance del sistema EPR holandés (Gov. NL, 2009). Al igual que la legislación belga, la legislación holandesa no es clara en cuanto a cuándo exactamente un neumático se convierte en desperdicio. Los recolectores son los encargados de clasificar los neumáticos reutilizables y recauchutados, pero es probable que los talleres también lo hagan.

Los productores son libres de organizarse colectivamente (a través de un PRO) o individualmente. El objetivo legal para la recuperación y reutilización de materiales es del 20% y está implícito un objetivo de recogida del 100% (RecyBEM, 2013). El sistema EPR holandés se implementa a través de una obligación de devolución con una tarifa de eliminación anticipada en forma de tarifa visible. Los puntos de recogida son principalmente garajes, que están obligados a retirar los neumáticos sobre una base de "1 por 1". Solo desde 2003/2004 RecyBEM, el PRO holandés, recolecta neumáticos de los emplazamientos municipales. Anteriormente, los neumáticos se recogían exclusivamente en los talleres. Dado que los neumáticos se consideran residuos comerciales, los municipios no están obligados a recogerlos, pero algunos lo hacen voluntariamente. Aquellos que recogen neumáticos pueden hacerlo por dos vías:

- neumáticos dentro del alcance del sistema EPR;
- neumáticos no cubiertos por el sistema EPR.

Los primeros suelen ser recogidos gratuitamente por los municipios. En el caso de los no cubiertos, los municipios pueden optar por cobrar una tarifa de eliminación. Esto es un reflejo de la política de

recolección de RecyBEM: los neumáticos dentro del alcance de la legislación EPR se recogen gratis de los municipios con la condición de que sean estructuralmente sólidos y limpios. La recogida de todos los neumáticos que no están cubiertos por la legislación EPR corre a cargo de los municipios. RecyBEM no compensa económicamente a los municipios por la recogida de neumáticos dentro del alcance EPR (NVRD, 2018).

El regulador, la Inspección de Medio Ambiente y Transporte de los Países Bajos, aprueba periódicamente el plan de RecyBEM. Una vez aprobado, el plan y, en particular, la tarifa aplicada, adquieren estatus legal. Luego, la tarifa se aplica a todo el sistema (NVRD, 2018), lo que significa que todos los agentes individuales se adhieren indirectamente a la política de precios de RecyBEM.

Los free-riders son informados al regulador. Sin embargo, existe una falta general de aplicación de la ley hacia los oportunistas dentro de los sistemas EPR holandeses. El sector se muestra reacio a denunciar a los oportunistas y evitar el aprovechamiento indebido no es una prioridad para el regulador (NVRD, 2018).

2.2.3.2 Implementación: el esquema RecyBEM

El único esquema implementado colectivamente para NFU sigue un sistema de gestión de tres componentes. La implementación corre a cargo de RecyBEM, que fue establecida por la Asociación Holandesa de Neumáticos en 2004. Los miembros de RecyBEM están representados por la Asociación Holandesa de Neumáticos, que pagan individualmente la tarifa de eliminación anticipada a la Fundación Holandesa de Neumáticos y Medio Ambiente, que a su vez financia RecyBEM (RecyBEM, 2013). La Fundación funciona como una caja negra, manteniendo en secreto la contribución financiera individual de cada productor al esquema de EPR. Esto se hace para mantener la confidencialidad de los datos económicamente sensibles, como la participación de mercado. Sin la caja negra, las conclusiones sobre la cuota de mercado de una empresa podrían extraerse de la contribución financiera al sistema EPR (NVRD, 2018).

RecyBEM contrata directamente a los recolectores e instalaciones de tratamiento. Se supera voluntariamente el mínimo legal del 20% de recuperación de material, incluida la reutilización y el recauchutado, y tiene como objetivo de éxito una tasa de recuperación y reutilización de material del 90% de los neumáticos recolectados (RecyBEM, 2013). **RecyBEM logra la tasa de reutilización y recauchutado más alta de la UE.**

RecyBEM y ARN, el PRO que opera el sistema EPR de vehículos al final de su vida útil, cooperan en el uso de una herramienta especial para evaluar las opciones de tratamiento de neumáticos de desecho con respecto a tres indicadores clave:

- Ecología (ahorro de CO2 equivalente),
- Eficiencia de recursos (reciclaje) y
- Economía (coste del proceso).

Estos indicadores clave están determinados por Ecotest, una herramienta política de toma de decisiones de neumáticos que, sin ser un estudio académico de evaluación del ciclo de vida, se basada en los principios de evaluación del ciclo de vida siguiendo la serie ISO 14040 y utilizando el software SimaPro para calcular impactos. Ecotest se basa principalmente en datos reales de todas las entidades involucradas en el proceso de tratamiento de NFU en los Países Bajos y se esfuerza por limitar el uso

de la base de datos Ecoinvent (Ecotest, 2013). Los datos de la vida real utilizados no están disponibles públicamente debido a cuestiones de confidencialidad (RecyBEM, 2019).

La unidad funcional es un neumático para turismos con una vida útil media de 50.000 km durante un período de cuatro años, extraído de un análisis del ciclo de vida realizado por Continental (Silke Krömer et al., 1999). Basándose en esta unidad funcional, cada opción de tratamiento se estudia como una cadena, comenzando desde la recolección y terminando en el punto donde el producto final del tratamiento reemplaza un recurso primario o combustible, considerando el transporte a lo largo de toda la cadena. Esto da como resultado un enfoque atribucional en el que las opciones de tratamiento consideradas y comparadas son las siguientes:

- El recauchutado se compara con la carcasa de un neumático nuevo con caucho de estireno butadieno virgen. Considerando que cada neumático solo se puede recauchutar una vez.
- La exportación para su reutilización se compara con un neumático recién producido. Se asume que la vida útil del neumático se extiende en un 20%, lo que equivale al 20% de los recursos primarios ahorrados en comparación con un neumático nuevo. No se tiene en cuenta el impacto de la opción de tratamiento de residuos en el país importador.
- La incineración de neumáticos en un horno de cemento se compara con la incineración de hulla, coque de petróleo y mineral de hierro;
- La incineración de neumáticos en una planta combinada de calor y energía se compara con la incineración de carbón y hierro;
- El reciclaje se divide en:
    - Textiles y residuos van a incineración, por lo tanto, se comparan con la hulla y el hierro.
    - El acero pasa a la producción secundaria de acero, sustituyendo así al acero primario.
    - El caucho se compara con el estireno butadieno estireno en el betún cuando se recicla como aditivo para el asfalto, y con el caucho sintético (caucho de etileno propileno dieno monómero) cuando se usa en campos deportivos o como baldosas de caucho.

El impacto medioambiental del tratamiento de residuos de los productos secundarios solo se tiene en cuenta si se someten a un proceso de tratamiento de residuos diferente al de sus alternativas procedentes de materias primas. La composición de los neumáticos se toma de la información proporcionada por los recicladores locales.

Sobre la base del indicador de ecología, se calculan los otros dos indicadores clave (eficiencia de recursos y economía). Desde una perspectiva de costes, solo se considera el coste total de recolección, clasificación y reciclaje menos los ingresos por la venta de neumáticos reutilizables (ARN advisory y FFact, 2011).

Los resultados de Ecotest muestran que la exportación para reutilización/recauchutado es la opción de tratamiento menos favorable para el medio ambiente, debido a las cargas del transporte, pero económicamente más barata. Sin embargo, en promedio, el 83% de los neumáticos reutilizados y recauchutados en 2010, 2014 y 2015 se han exportado, lo que obliga a poner en perspectiva el éxito de las altas tasas de reutilización y recauchutado.

2.2.3.3 Evaluación

Parece que RecyBEM busca cada vez más la exportación de NFU para su reutilización y recauchutado, ver figura 34. Como se mencionó anteriormente, este es el tratamiento más económico, pero no el más ecológico. Es probable que los neumáticos se exporten fuera de la UE, principalmente a África

(NVRD, 2018), lo que significa que llegan al final de su vida útil en países con una legislación de residuos menos estricta y sin prohibición de vertido de neumáticos. La consecuencia de esto puede ser que esos neumáticos se gestionen de una manera aún menos respetuosa con el medio ambiente en la parte más baja de la jerarquía de residuos.

La diferencia de alcance en el sistema holandés en comparación con los demás, ver Tabla 11, hace que el sistema tenga un éxito cuestionable, ya que la mayoría de los tipos de neumáticos no están cubiertos por el sistema EPR y, por lo tanto, tienen el potencial de terminar en el medio ambiente y seguir siendo una carga financiera para los municipios. Además, la falta de integración de las existencias históricas y la responsabilidad financiera de su gestión en la entidad que las descarta puede incentivar aún más la eliminación ilegal.

		Bélgica	Italia	Países Bajos
Alcance del sistema RAP: tipos de neumáticos en la legislación	Neumáticos de bicicleta	x	x	
	Neumáticos de motocicleta	x	x	x
	Neumáticos de turismos	x	x	x
	Remolques de vehículos ligeros	x	x	
	Neumáticos de autobús	x	x	
	Neumáticos de camión	x	x	
	Neumáticos fuera de la carretera (agricultural e industrial)	x		
	Neumáticos de avión	x*	x	
	Neumáticos de vehículos al final de vida útil	x**	x	
	Existencias históricas			
Objetivos legales	Objetivos de recopilación	100%	100%	100%
	Objetivos de la recuperación de material (incl. reutilización y recauchutado)	min. 55%	-	20% legalmente; 90% voluntario)
	Objetivos de la recuperación de energía	max. 45%	-	-

x - Incluido en el alcance;.
* desde 2010
** parcialmente incluido

Tabla 11. Comparación del alcance y los objetivos de la responsabilidad ampliada del productor belga, italiana y holandesa para la legislación sobre neumáticos (ELV - vehículos al final de su vida útil). Traducida de Winternitz et al. (2019).

Las tasas de tratamiento holandesas también pueden considerarse como un éxito parcial. Si bien son un éxito, debido a las altas tasas de reutilización y recauchutado, esas tasas dependen de la exportación, lo que se refleja en sus ahorros de emisiones de carbono relativamente bajos.

2.2.4 Comparación entre los casos de estudio.

2.2.4.1 Características comunes

2.2.4.1.1 Factores comunes de éxito

Los casos analizados son aquellos sistemas EPR que mejor promueven la gestión de neumáticos en los niveles superiores de la jerarquía de residuos dentro de la UE (Winernitz et al, 2019). En los tres casos, la responsabilidad asignada al productor no es puramente financiera, sino también física. Los PRO contratan directamente a los recolectores y también influyen en el proceso de tratamiento. Esto se ha logrado combinando instrumentos regulatorios y financieros en forma de obligación de recolección tras uso con un objetivo de 100% (regulatorio) y una tarifa de eliminación anticipada como tarifa visible (económica). El uso de infraestructura también es similar en los tres casos. Todos los sistemas han partido de infraestructura previamente existente, concibiendo una nueva logística para la recolección. Los principales puntos de recogida son los talleres o las tiendas de neumáticos. En todos los sistemas, los municipios continúan recolectando neumáticos de manera voluntaria, aunque la cantidad recogida por esta vía representa el menor volumen. Los PRO contratan a recolectores privados que entregan los neumáticos a instalaciones de tratamiento principalmente privadas. El grado de participación en el tratamiento es diferente: tanto Recytyre (Bélgica) como RecyBEM (Países

Bajos) tienen un grupo de instalaciones de tratamiento aprobadas, entre las que los recolectores pueden elegir. Pero mientras Recytyre (Bélgica) subcontrata por completo los objetivos de tratamiento a sus recolectores, RecyBEM (Países Bajos) está más involucrado en el proceso. Ecopneus de Italia es la que mayor control tiene sobre la organización del tratamiento de los neumáticos usados.

2.2.4.2 Debilidades comunes

En todos los casos, parte de la carga financiera recae en el contribuyente, ya que parte del coste de gestión de los neumáticos usados se deja a los municipios. Ninguna tasa ambiental cubre en su totalidad los costes de limpieza de los neumáticos eliminados ilegalmente, y solo el sistema belga compensa parcialmente a los municipios por la recolección. **Lamentablemente, ninguno de los expertos entrevistados cree que su respectivo sistema EPR fomenta el ecodiseño de neumáticos.**

2.2.4.3 Desafíos comunes

Los sistemas EPR generalmente se enfrentan al desafío de controlar a los oportunistas y las recolecciones históricas previas. Los free-riders son productores de neumáticos que ni participan en un esquema de EPR, ni asumen individualmente sus responsabilidades. Mientras que sus neumáticos se venden en el mercado nacional, son los productores que sí participan en un EPR los que asumen los costes de esos NFU provenientes de free-riders. Dentro de los sistemas belga y holandés, el procedimiento habitual es que los PRO detecten y denuncien a estos oportunistas a los reguladores, quienes luego tienen la tarea de procesarlos (NVRD, 2018; OVAM, 2018; VVSG, 2018). Dentro del sistema italiano, los PRO no están involucrados en la detección de free-riders. El free-riding es casi imposible en Italia, debido a la vinculación legal de los permisos de venta a la pertenencia al PRO (Public Authority, 2018). Sin embargo, un requisito previo para esta práctica es la colaboración activa entre las autoridades competentes, es decir, los ministerios encargados de la gestión y el comercio de residuos.

La gestión de las existencias históricas difiere significativamente entre los distintos casos. Si bien estos neumáticos están completamente excluidos en los Países Bajos, en el sistema belga se excluyen parcialmente y el sistema italiano los incluye por completo.

2.2.5 Diferencias principales

2.2.5.1 Diferencias de alcance

Ninguno de los casos analizados tiene el mismo alcance. Si bien Bélgica e Italia son comparables, el sistema EPR holandés se limita únicamente a neumáticos de vehículos ligeros (hasta 3,5 toneladas) y sus remolques.

2.2.5.2 Diferencias de objetivos

Si bien todos los sistemas tienen objetivos de recogida del 100%, solo Bélgica y los Países Bajos tienen un objetivo de recuperación de material. Bélgica tiene un límite adicional para la recuperación de energía. Ninguno tiene objetivos separados de reutilización y recauchutado, ya que Bélgica y los Países Bajos los incluyen en los objetivos de recuperación de material.

Los objetivos marcados se reflejan en el rendimiento del sistema. Al comparar las tasas de reutilización y recauchutado, se destaca la exportación, ya que tiene un impacto significativo en el desempeño ambiental. Esto está probado por el caso holandés. La reutilización de neumáticos dentro de la UE está limitada debido a la necesidad de cumplir con una profundidad mínima de la banda de rodadura

en toda la UE de 1,6 mm para los neumáticos de los turismos (Consejo Europeo, 1989). Se sospecha que esta es la razón por la que los Países Bajos exportan una gran cantidad de neumáticos para su reutilización fuera de la UE (principalmente África), donde están permitidas menores profundidades mínimas de la banda de rodadura. Sin embargo, el impacto ambiental que genera el transporte de larga distancia hace que la reutilización en los Países Bajos sea la opción menos conveniente a nivel ambiental.

La figura 35 muestra que el potencial de reutilización local y recauchutado en los Países Bajos tiene margen de mejora en comparación con las tarifas belgas e italianas. Sin embargo, el tratamiento predominante de los neumáticos de desecho en 2015 en los Países Bajos fue la exportación (48%). Esto fue en detrimento de la reutilización local y además condujo a la tasa más baja de recuperación de material en 2015. Las tasas de recuperación de material más altas las alcanzó Bélgica, lo que puede atribuirse al objetivo de alta recuperación de material en su EPR. Italia tiene las tasas de reutilización y recauchutado locales más altas, pero con mucho las tasas de recuperación de energía más altas. Esto puede deberse al incentivo para que los talleres clasifiquen los neumáticos aptos para su reutilización y recauchutado y la falta de objetivos de tratamiento posterior.

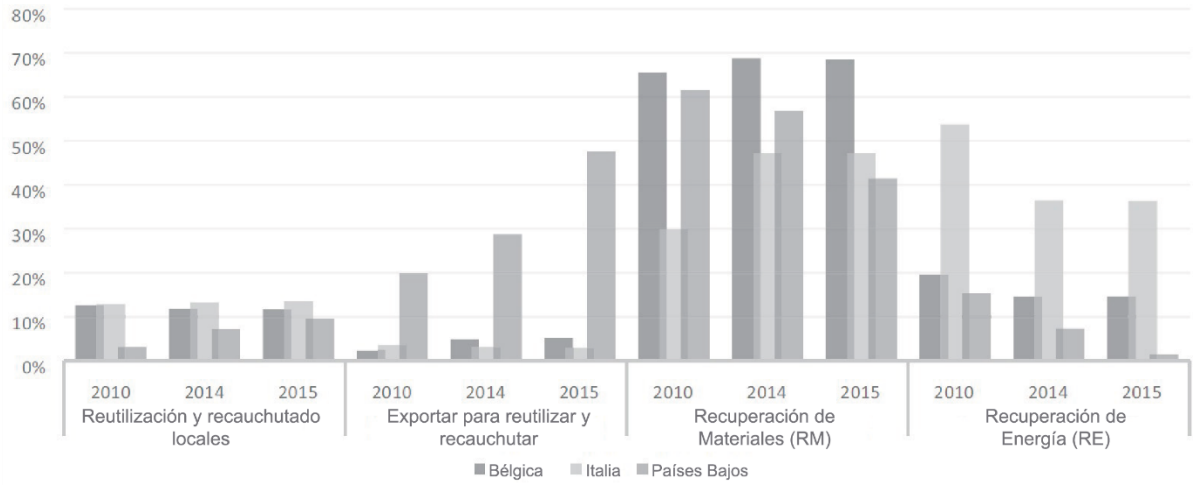


Figura 35. Comparación de las tasas de tratamiento en Bélgica, Italia y los Países Bajos. Traducida de Winternitz et al. (2019).

2.2.6 PRO individuales versus múltiples

Mientras que Bélgica y los Países Bajos no tienen competencia en el nivel PRO, Italia claramente la tiene con 37 PRO en funcionamiento. Obviamente, el marco legal influye en la formación de una o varias PRO. Si la legislación no requiere la formación de múltiples PRO, es probable que se forme una sola PRO, ya que este es el caso dominante en la UE, ver Tabla 10.

2.2.7 Lecciones aprendidas

El diseño básico de la mayoría de los sistemas EPR para neumáticos usados consiste en una obligación de devolución en combinación con una tarifa de eliminación avanzada. La obligación de devolución hace que el productor sea físicamente responsable, la tarifa que lo sea financieramente. Muchos sistemas optaron por implementar la tarifa de eliminación avanzada como una tarifa visible, lo que tiene las ventajas de ser transparente para el consumidor y de ayudar a detectar a los oportunistas.

En general, los principales objetivos de EPR son el aumento de la recolección de residuos, la reducción de residuos, la eficiencia de recursos y el ecodiseño. Según los casos de estudio, la EPR para neumáticos tiene un éxito parcial en estos casos. No se pudo encontrar evidencia concluyente de que la EPR para neumáticos conduzca a mejoras en la reducción de desechos. El sistema EPR tampoco ha fomentado el ecodiseño de los neumáticos. Sin embargo, se ha descubierto que el EPR para neumáticos promueve la eficiencia de los recursos aumentando el reciclaje y, por lo tanto, potencialmente reemplazando el material virgen a través de materiales reciclados. La EPR para neumáticos también ha tenido éxito en el aumento de las tasas de recogida. En general, se ha descubierto que la EPR para neumáticos es una herramienta útil para:

(1) Reducir el vertido incontrolado y el almacenamiento ilegal:

La literatura consultada, así como la investigación realizada en estos casos de caso, sugieren que la EPR es la mejor opción disponible para prevenir la eliminación ilegal futura, así como para ayudar en la recolección de existencias ilegales históricas. Esto se logra mediante una mayor recolección.

(2) Incrementar la eficiencia de los recursos:

La investigación sugiere que para lograr una alta eficiencia de los recursos se deben proporcionar objetivos legales para la recuperación de materiales. Esto lo corrobora el caso italiano, que no tiene objetivos legales de recuperación de material y exhibe la tasa de recuperación de energía más alta entre los casos de estudio.

(3) Subir en la jerarquía de residuos:

La EPR tiene el potencial de mover el tratamiento de neumáticos usados hacia arriba en la jerarquía de residuos. Sin embargo, la reutilización y el recauchutado son solo deseables desde el punto de vista medioambiental si se pueden aplicar al mercado local. Una vez que los neumáticos se exportan, su desempeño ambiental disminuye significativamente. Además, los neumáticos suelen exportarse fuera de Europa y, por lo tanto, es probable que lleguen a países con una reglamentación de residuos menos estricta. Esto, a su vez, puede llevar a que la gestión de residuos de neumáticos se encuentre en la parte inferior de la jerarquía de residuos. Por lo tanto, se concluye que el reciclaje es la opción de tratamiento de desechos más deseable después de la reutilización local y el recauchutado.

Los casos analizados sugieren que las principales herramientas para ascender en la jerarquía de residuos son:

- Metas cuantitativas: se necesitan objetivos claros, pero sobre todo que se traduzcan en metas cuantitativas. De los casos analizados, el que tenía objetivos y metas cuantitativas (Bélgica) logró los mejores resultados. Lo que sugiere que tales objetivos influyen en el rendimiento del tratamiento. Por tanto, deberían definirse objetivos para la recuperación de material. Es posible que sea necesario imponer un límite a los métodos de tratamiento menos deseados (por ejemplo, recuperación de energía) para lograr los mejores resultados. Una obligación de devolución debe estar respaldada por un objetivo de recogida del 100%.
- Definición precisa del estado de los residuos: una definición clara de cuándo un neumático se convierte en desperdicio dentro de la legislación parece tener el potencial de maximizar la reutilización y el recauchutado local. La legislación italiana es un buen ejemplo de esta práctica, donde el diseño de la legislación incentiva a los talleres a capitalizar la reutilización y el

recauchutado, lo que lleva a las tasas de reutilización y recauchutado locales más altos y los más bajos para la exportación.

Los casos tanto de Italia como de los Países Bajos muestran que un sistema EPR no garantiza el tratamiento de residuos de la forma más respetuosa con el medio ambiente. Un sistema EPR solo logrará sus objetivos si se diseña, implementa y hace cumplir adecuadamente. De los casos estudiados, es probable que los PRO busquen la opción de tratamiento más económica dentro del Marco legislativo. La solución más económica aparentemente es la recuperación de energía en Italia y la exportación para su reutilización o recauchutado en los Países Bajos. Por tanto, es recomendable establecer claramente el tratamiento más deseado dentro de la legislación.

Se han identificado dos enfoques generales para configurar sistemas EPR para neumáticos. Primero está el enfoque inclusivo de Bélgica, donde la legislación establece principios generales y los detalles del sistema se acuerdan periódicamente con el sector. Este enfoque tiene la ventaja de ofrecer una gran flexibilidad para ajustar o introducir nuevos objetivos. Por ejemplo, la inclusión de existencias históricas en el alcance del sistema puede introducirse gradualmente, si el sector se muestra inicialmente reacio a aceptar la responsabilidad de las existencias históricas. Sin embargo, como se desprende de la situación actual con los recolectores, es aconsejable un mecanismo legal que permita al gobierno hacer cumplir las condiciones mínimas de un acuerdo.

En segundo lugar, está el modelo italiano que cuenta con una legislación fuerte y clara que impone los objetivos del gobierno al sector. Las ventajas del sistema italiano son la eliminación virtual del free-riding y la inclusión de acciones históricas. Sin embargo, si no se agregan objetivos de recuperación de material, es probable que las tasas de recuperación de energía sigan siendo relativamente altas.

La infraestructura municipal sigue siendo necesaria para la recogida, limpieza de neumáticos eliminados ilegalmente y la reducción de existencias históricas (excepto en Italia) y sus costes no siempre están cubiertos por el sistema EPR. Aunque los municipios no están legalmente obligados a recolectar neumáticos en ninguno de los casos estudiados, la mayoría continúa haciéndolo voluntariamente. La integración de la recaudación municipal en el sistema EPR, incluida una compensación financiera adecuada, tiene el potencial de minimizar el coste para los contribuyentes. Además, cuanto más amplio sea el alcance de los tipos de neumáticos incluidos en la legislación (como en Bélgica o Italia), menor será el coste para los contribuyentes. Como muestra el caso holandés, un alcance limitado tiene el potencial de que los PRO exploten su sólida posición en el mercado cobrando por la recolección de cualquier neumático fuera del alcance estipulado. Esto puede dar lugar a una mayor carga financiera para los municipios y las empresas, además de ser un obstáculo para la reducción de las existencias históricas. Ninguno de los sistemas EPR investigados logra transferir la carga financiera en su totalidad del contribuyente al que contamina (es decir, el fabricante de neumáticos y el usuario de neumáticos).

2.3 Desafíos en la implementación de la responsabilidad ampliada del productor en una economía emergente: el caso de China

Asia y América Latina representan alrededor del 8% de los sistemas de EPR mundiales, e incluyen los casos de economías emergentes como China, India, Brasil, México, Filipinas, Tailandia, Chile y Colombia. China ha producido y consumido la mayor cantidad de neumáticos en el mundo, representando el 38% de la producción mundial en 2018 (National Oficina de Estadísticas, 2019). Según los datos estadísticos de la Asociación de la Industria del Caucho china (CRIA), este país tenía aproximadamente 350 millones de unidades de NFU en 2018, con un peso de alrededor de 14 millones de toneladas, y su tasa de crecimiento anual es de alrededor del 8% (Ni, 2019). Sin embargo, debido a la gestión ineficaz de NFU, la tasa de utilización formal de neumáticos usados en China es inferior al 50%, con una tendencia a la baja (Hao, 2019). El gobierno ha cerrado muchas pequeñas empresas de tratamiento de residuos y reciclaje de neumáticos debido a la contaminación ambiental. Por ejemplo, 11 de las 13 empresas de tratamiento de NFU en Nantong, una ciudad de la provincia de Jiangsu, fueron cerradas permanentemente; y a las dos restantes se les pidió que suspendieran la producción para mejorar sus instalaciones ambientales en 2018. Como resultado, más de la mitad de los NFU se descartan, apilan, se queman o se eliminan ilegalmente. Estos NFU han sido fuente de contaminación, generando un continuo detrimento del medio ambiente (Sun et al., 2017).

El tratamiento razonable de los NFU se ha convertido en un tema medioambiental de interés mundial debido a la posible contaminación asociada con el tratamiento informal y la eliminación incontrolada (Su, Yang y Ling, 2015). Para hacer frente a los problemas que plantean los NFU, la mayoría de los países desarrollados han implementado la responsabilidad ampliada del productor (EPR). Para promover eficazmente la EPR, es necesario identificar y caracterizar a las diferentes partes interesadas, incluidos productores, distribuidores, recicladores y recauchutadores, así como las infraestructuras de procesamiento locales (Ferrao et al., 2008). Además, es fundamental desarrollar un sistema integrado de gestión (SIG) para la implementación de la EPR (Subulan et al., 2015; Uruburu et al., 2013).

El gobierno chino ha hecho esfuerzos para aliviar los problemas derivados de los NFU. En 2011, la Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma (NDRC, por sus siglas en inglés) incluyó a los NFU como una de las áreas clave para la utilización integral de recursos durante el 12º Plan Quinquenal de China. En 2013, el Consejo de Estado alentó a promover la refabricación de NFU y luego el Ministerio de Industria e Información publicó las condiciones de entrada para las empresas de remanufactura de NFU. **En 2015, el Ministerio de Hacienda y Administración Tributaria del Estado distribuyó una póliza con incentivo fiscal (devolución del 50% del impuesto al valor añadido) para incentivar a las empresas a producir neumáticos recauchutados, caucho reciclado y caucho granulado**. **Desafortunadamente, todavía existen muchos desafíos, como una infraestructura poco fiable, tecnologías de eliminación poco desarrolladas, la falta de un estándar unificado para los productos reciclados y los altos costes de recolección (CTRA, 2016). Aprendiendo de las experiencias de los países desarrollados (Ferrao et al., 2008; Uruburu et al., 2013), la NDRC de China organizó un debate sobre si se puede incluir la EPR en el desarrollo de un sistema de gestión de NFU en marzo y junio de 2019 (NDRC, 2019).** Según el documento de la NDRC, el primer paso para establecer el sistema de gestión de NFU es definir los roles y responsabilidades de las partes interesadas.

La gestión de la cadena de suministro se superpone con la economía circular para el tratamiento y la recuperación de productos EOL (Liu et al, 2018). **El trabajo de Hu et al. (2021) tiene como objetivo desarrollar un SIG de la cadena de suministro que considere el ciclo de vida completo de los NFU.**

Además, los autores identifican las barreras para la implementación del sistema en China, considerando las perspectivas de diferentes partes interesadas. Sus resultados pueden proporcionar ideas para que el gobierno chino gestione y utilice eficazmente los niveles EoL para el desarrollo posterior de un sistema EPR para NFU.

2.4 Un sistema integrado de gestión de la cadena de suministro de NFU y barreras para su promoción.

Aprendiendo de dos estudios previos (Ferrao et al., 2008; Park et al., 2018), los autores desarrollan un sistema ISCM para tratar los problemas que surgen con los NFU a partir de consideraciones de ciclo de vida. Basado en el actual sistema de gestión de NFU en China, proponen primero el sistema ISCM. Además, identifican las barreras en las diferentes etapas del ciclo de vida de los niveles de EoL y aquellas relacionadas con las diferentes partes interesadas para la promoción del sistema.

2.4.1 Un sistema integrado de gestión de la cadena de suministro para NFU

Las cadenas de suministro de avance y retroceso deben integrarse para gestionar eficazmente los NFU y recuperar valor (Pedram et al., 2017; Yadollahinia et al., 2018). Como se ha comentado, el sistema EPR para neumáticos ha sido ampliamente adoptado por la mayoría de los países europeos, y las responsabilidades de las partes interesadas estaban claramente definidas por las legislaciones (ETRMA, 2015; Sienkiewicz et al., 2012). **Un sistema de EPR está coordinado por una organización que está bajo la supervisión del gobierno (Torretta et al., 2015). La recogida y el reciclaje de NFU en China siguen siendo voluntarios.** Como se mencionó anteriormente, el gobierno chino ha intentado definir las responsabilidades de varias partes interesadas, como los fabricantes de automóviles y los fabricantes de neumáticos. **Además, la existencia de canales informales e ilegales para la recogida y eliminación de NFU ha dañado el sistema de su gestión**. Basado en un sistema maduro de gestión de NFU en Europa (Sienkiewicz et al., 2012) y considerando las condiciones reales de China, **Hu et al. (2021) proponen un SIG para NFU desde la perspectiva de todas las partes interesadas. La figura 36 describe todas las partes interesadas y sus roles en el SIG, así como los flujos materiales y monetarios**. Actualmente, en el mercado chino la recogida y el tratamiento de NFU están orientados al precio. No hay una responsabilidad ni obligación claras para cada parte interesada. Los fabricantes o importadores de neumáticos solo son responsables de su producción y venta. **Los NFU son recolectados principalmente por vendedores ambulantes, y la mayoría de ellos fluyen hacia canales informales e ilegales (por ejemplo, extracción ilegal de aceite) ya que es más rentable que la recolección y el tratamiento formal.** Sin embargo, los canales informales e ilegales están prohibidos por las regulaciones y, por lo tanto, algunos de ellos han sido cerrados por los gobiernos locales. Algunos NFU se envían a canales formales, donde se tratan y reciclan como caucho recuperado, caucho en polvo y otros productos. **Los productos de los canales formales e informales coexisten en el mercado. En general, la gestión de los NFU es desordenada y carece de una planificación unificada.**

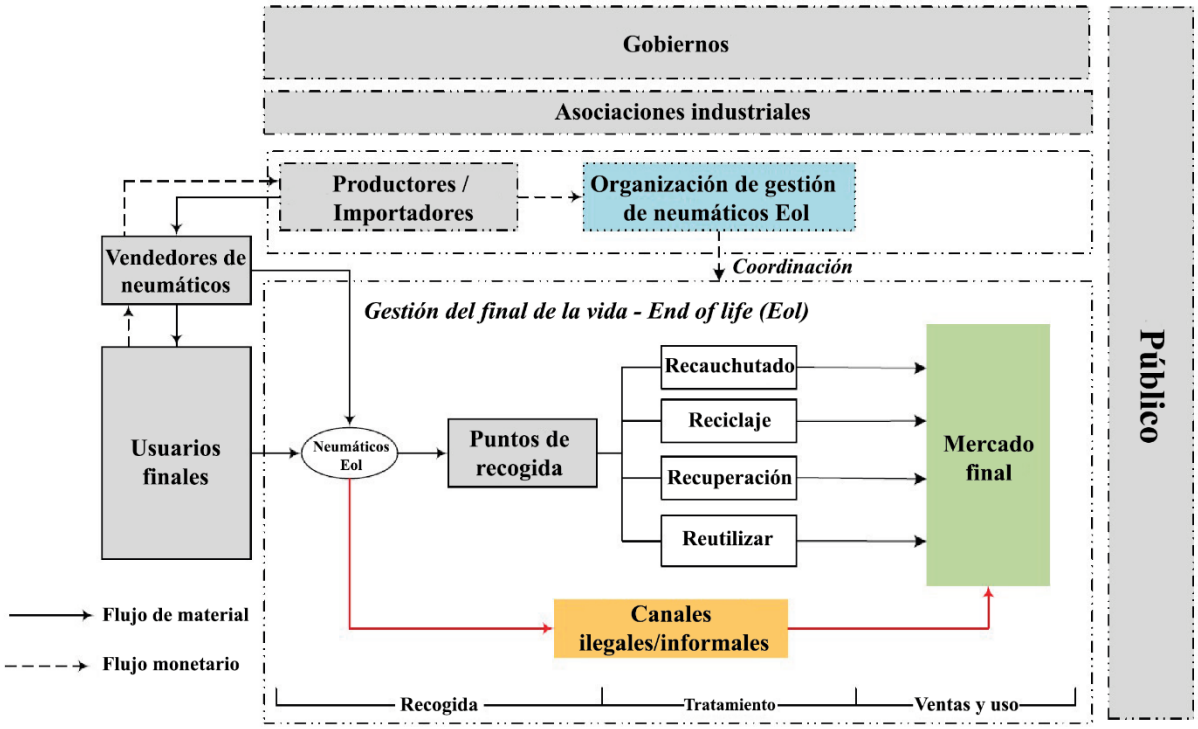


Figura 36. Un sistema integrado de gestión de la cadena de suministro para NFU en China. Traducida de Hu et al. (2021).

El SIG propuesto cubre tres etapas clave de la cadena de suministro de los NFU, desde la recolección, el tratamiento, hasta la venta y el uso de productos "4R" (recauchutados / reciclados / recuperados / reutilizados) (Zhu et al., 2014). En el sistema propuesto, los NFU fluyen desde los usuarios finales hasta los puntos de recogida formales. Luego, pasan por empresas 4R para su desmantelamiento y procesamiento. Finalmente, estos productos se venden y utilizan para diversos fines. Además de los interesados a lo largo de las cadenas de suministro, como los recolectores, los productores de neumáticos nuevos y los reproductores de NFU, otros interesados como los gobiernos, los usuarios finales y el público en general también pueden motivar o ejercer presión sobre el SIG. Por lo tanto, es necesaria la coordinación entre las cadenas de suministro (Zhao y Zhu, 2018), por lo que los autores proponen que se requiera una organización de gestión coordinadora como actor crítico para organizar todas las actividades relacionadas y coordinar a todos los actores. En el SIG propuesto, los gobiernos desarrollan regulaciones y políticas para afectar a las partes interesadas a lo largo de las cadenas de suministro. Sus funciones incluyen: definir las responsabilidades de las partes interesadas y supervisarlas, recaudar y asignar tarifas de tratamiento, educar al consumidor y penalizar el tratamiento ilegal. Las asociaciones de la industria apoyan a las partes interesadas a lo largo de las cadenas de suministro mediante la recopilación y el análisis de datos, la asistencia técnica y de gestión, que vincula a los gobiernos y las partes interesadas a lo largo de tres etapas clave de la cadena de suministro de los NFU.

2.4.2 Barreras para promover el SIG para NFU.

Para promover un sistema SIG, especialmente en China, existen varias barreras a lo largo de todo el ciclo de vida de los NFU. Además, hay diferentes partes interesadas a través de tres etapas clave, recogida de NFU, tratamiento de NFU, venta y uso de productos "4R" (mercado), así como

coordinación de la gestión del ciclo de vida. A continuación, Hu et al. (2021) describen las diferentes barreras en cada una de las fases del tratamiento de NFU.

2.4.2.1 Recolección de NFU

Con el aumento del número de vehículos, el consumo de neumáticos en China ha crecido de forma espectacular. Sin embargo, no existe un número exacto de NFU al año. Todos los datos de los diferentes informes son estimados por instituciones con grandes desviaciones. Tanto las fuentes como los destinos de los NFU son imprecisos en China. La barrera más crítica para promover el sistema SIG de NFU puede ser la ausencia de mecanismos estadísticos con sistemas de información para rastrear el flujo de material (Dhouib, 2014; Tong et al., 2018). Así, se identifica la primera barrera, que se relaciona principalmente con el gobierno.

B1: Falta de métricas y datos estadísticos (registro, estadísticas y trazabilidad).

La recolección limitada es una barrera común para la implementación de un SIG (Park et al., 2018). China aún no ha establecido un sistema completo de recolección de NFU. Los vendedores ambulantes son los principales recolectores, pero la mayoría son informales. Su gestión está únicamente condicionada por las ganancias. Si el precio baja, puede detenerse la recogida de NFU. Así, la recogida de NFU no es estable, lo que repercute negativamente en la implementación del SIG (Banguera et al., 2018). Por ejemplo, la tasa de utilización formal de NFU en China fue inferior al 50% en 2018. Los recolectores formales son una parte importante de un sistema de recolección, pero son pocos y demasiado pequeños. Por lo tanto, el sistema de recolección actual no es completamente formal, lo que lleva a la segunda barrera relacionada con los recolectores.

B2: Falta de un sistema de recogida completamente formal.

Los usuarios finales no tienen conocimiento ni interés en devolver sus neumáticos usados, mientras que los distribuidores de neumáticos no toman iniciativas para recogerlos. En esta circunstancia, el número de recolectores formales es insuficiente. En términos de coste, los recolectores formales deben invertir en instalaciones y equipos. Además, los vendedores ambulantes reducen el coste mediante la evasión fiscal (CTRA, 2016). No existe una fuente de apoyo financiero para los recolectores formales, ya que China aún no ha implementado un impuesto ecológico o una tasa sobre la eliminación de NFU. Así, se identifica la tercera barrera, que está relacionada con los usuarios finales, el gobierno y los recolectores.

B3: Alto coste sin apoyo financiero para recolectores formales.

2.4.2.2 Tratamiento de NFU

El reciclaje por desvulcanización (Asaro et al., 2018) y el recauchutado (Dabic-Ostojic et al., 2014) de NFU puede recuperar valor y reducir los desechos. El gobierno chino ha emitido una política fiscal preferencial para promover la utilización integral de los NFU: un reembolso del 50% del impuesto al valor añadido para las empresas que producen neumáticos recauchutados, caucho reciclado y caucho desmenuzado. Desafortunadamente, esta política de incentivos fiscales no se ha implementado por completo. Según la investigación de la CRIA, la mitad de las 50 empresas calificadas aún no reciben la devolución de impuestos. Sobre la base de la discusión anterior, se identifica la cuarta barrera relacionada con el gobierno.

B4: Implementación incompleta de incentivos fiscales.

En la planificación industrial china para NFU realizada por el CTRA, se sugieren cuatro opciones de tratamiento para NFU: caucho desvulcanizado, caucho granulado, pirólisis y recauchutado (CTRA, 2016). Debido a la falta de las tecnologías avanzadas, la proporción de las dos opciones más ventajosas para el medio ambiente (pirólisis y recauchutado) es muy pequeña. En consecuencia, la mayoría de los NFU se ven obligados a ser tratados por caucho desvulcanizado y caucho desmenuzado, ocupando actualmente el 70% de la utilización de NFU en China. La desvulcanización puede ser un enfoque razonable para el reciclaje de NFU (Asaro et al., 2018), sin embargo, estos tratamientos causan contaminación secundaria por el proceso de desulfuración (Li, Xu y Gao, 2010). Aunque han surgido algunos nuevos procesos más limpios, pocas empresas de reciclaje los han adoptado. Las soluciones de tratamiento subdesarrolladas han dañado gravemente el ecosistema y esto ha provocado la preocupación del público por el medio ambiente y por su propia salud.

En este escenario y con la situación actual en la industria del reciclaje, se identifican tres barreras:

B5: Falta de tecnologías maduras y ecológicas para el tratamiento y la eliminación de NFU.

B6: Existencia de procesos de tratamiento desactualizados o ilegales.

B7: Preocupación en la opinión pública de que los procesos de eliminación de NFU afecten a su salud.

2.4.2.3 Ventas y uso de productos "4R" (Mercados)

Muchos estudios han explorado la valorización de los NFU, como el uso de polvo de NFU como absorbente para la recuperación de aceite derramado (Lin, Huang y Shern, 2008), produciendo carbón activado a partir de NFU (Molino et al., 2018), y el uso de fibra de acero de NFU como sustituto de la fibra de acero comercial en morteros de cemento (Onuaguluchi y Banthia, 2018). Hay muchos mercados para el uso de NFU en Europa, incluidos los productos de reciclaje (por ejemplo, caucho desmenuzado), productos de recuperación (por ejemplo, recuperación de energía) y otros materiales derivados de los neumáticos (por ejemplo, asfalto engomado) (ETRMA, 2015). En China, los mercados finales de los NFU son inmaduros y los usuarios finales desconfían de los productos “4R”. Las actividades de promoción insuficientes son una razón importante. Por ejemplo, el mercado de neumáticos recauchutados se está reduciendo debido a la percepción insegura y de baja calidad de los usuarios finales. Los neumáticos recauchutados se utilizan ampliamente en Europa (ETRMA, 2015) y países desarrollados como Portugal, los neumáticos recauchutados son más baratos que los neumáticos nuevos (Ferrao et al., 2008). Por lo tanto, se identifican dos barreras relacionadas con el público y los usuarios finales:

B8: Falta de publicidad efectiva de los productos “4R” para el público y los clientes potenciales.

B9: Percepción pública de baja calidad e inseguridad de los productos “4R” provenientes de los NFU.

Los neumáticos están hechos de una variedad de componentes: caucho, negro de carbón, acero y textiles. En los últimos años, los recicladores de Europa han realizado importantes inversiones en I+D para desarrollar nuevos mercados finales para materiales derivados de neumáticos (ETRMA, 2015). Sin embargo, **no existe una planificación oficial que considere estos productos “4R” en China**, y los recicladores prestan más atención a los productos de caucho. **Debido a las limitadas alternativas de reciclaje, los mercados finales para los NFU tratados son pequeños e inestables**. Los nuevos mercados de productos derivados de neumáticos pueden estimular el sector del reciclaje.

Al igual que en Europa, la falta de estándares para los productos reciclados es un desafío importante para los mercados de reciclaje (CTRA, 2016; ETRMA, 2015). Actualmente, los recicladores obtienen productos a partir de NFU de acuerdo con sus propias especificaciones. Así, productos con diferentes características, especificaciones y calidades están inundando el mercado final. Por lo tanto, los recicladores se muestran reacios a invertir en equipos y tecnologías para producir productos de alta calidad. Aprendiendo de Europa, la estandarización puede ayudar a los mercados finales de NFU a ser más fiables y económicamente viables (ETRMA, 2015).

Con base en la discusión anterior, se identifican las siguientes tres barreras relacionadas con los mercados finales:

B10: Falta de planificación general para materiales derivados de neumáticos (cables de acero, textiles y negro de humo)

B11: Falta de mercados finales sostenibles y estables para los productos "4R"

B12: Falta de estándares unificados para los productos "4R" en los mercados finales

2.4.2.4 Coordinación de la gestión del ciclo de vida

Los fabricantes de neumáticos y una gran cantidad de vendedores están ubicados en diferentes áreas. Es un desafío coordinar sus esfuerzos relacionados con la gestión de NFU. Para responder a este desafío, una organización independiente puede coordinar todo el SIG (Govindan et al., 2012). El gobierno de los Estados Unidos estableció el Consejo de Gestión de NFU en 1989, y los países europeos establecieron la primera organización de responsabilidad del productor (PRO) en 1995. En la actualidad, China no tiene una organización similar para administrar todo el sistema de tratamiento y distribución de NFU. Aunque la Asociación de la Industria del Caucho de China (CURBIA) de la rama de utilización integral de caucho de desecho se estableció en China, las empresas no están obligadas a unirse a CURBIA como miembros, y al menos el 60% de las empresas de la industria aún no forman parte de ella. CURBIA solo sirve a sus empresas miembro y juega un papel rector. Su función y posicionamiento determinan que no puede cumplir con los requisitos obligatorios para el tratamiento y eliminación de NFU bajo las posibles regulaciones nacionales. Por lo tanto, se sugiere una organización específica bajo el sistema de gestión de NFU con los roles y responsabilidades comentadas anteriormente.

A partir de la situación descrita, se identifica una barrera en la coordinación de la gestión del ciclo de vida:

B13: Falta de una organización específica para coordinar y supervisar las empresas para la utilización integral de NFU.

2.5 Discusión e implicaciones

2.5.1 Discusión de resultados

Los resultados del análisis realizado por Hu et al. (2021) revelan dos tipos de barreras: prominentes y causales. Las barreras prominentes afectan y se ven afectadas por otros factores, por lo que se pueden considerar como un "núcleo" de barreras y se deben abordar a corto plazo. Las barreras causales afectan a otros factores, por lo que pueden considerarse más elementales y pueden ser más difíciles de superar.

2.5.1.1 Discusión sobre barreras prominentes

Tanto B12 (Falta de estándares unificados para productos "4R" en los mercados finales) como B4 (Implementación incompleta de incentivos fiscales) tienen valores de prominencia altos, pero valores netos de causa-efecto bajos. Tales resultados implican que las dos barreras deben tratarse a corto plazo y, de resolverse, no deberían causar otros problemas en el futuro.

B4 (Implementación incompleta de incentivos fiscales) es la segunda barrera más prominente. Muchas empresas de reciclaje de NFU en China no reciben subsidios fiscales, por lo que el gobierno debería simplificar los pasos del proceso y auditar periódicamente las condiciones del subsidio fiscal. Se encontró que los incentivos económicos podrían estimular la recolección de NFU (de Figueiredo y Mayerle, 2008). Este resultado revela además la importancia y urgencia de otorgar subsidios a las empresas de reciclaje. También se demuestra que B4 se ve afectada significativamente por B1 y B12. **Ese resultado indica que la información estadística y las normas de productos son importantes para que las empresas de tratamiento formal de neumáticos usados reciban subvenciones fiscales. Sin datos ni estándares de calidad y sin tecnología es difícil para el gobierno implementar el subsidio fiscal de manera efectiva.**

2.5.1.2 Discusión sobre barreras elementales

B1 (Falta de mecanismos estadísticos (registro, estadísticas y trazabilidad) para NFU) y B13 (Falta de una organización específica para coordinar y supervisar empresas para la utilización integral de NFU) son barreras elementales que están más allá del nivel empresarial. Lamentablemente, ni el gobierno ni las asociaciones industriales han tomado medidas para desarrollar un mecanismo estadístico y fomentar una organización de coordinación.

Los resultados de B1 muestran que los mecanismos estadísticos deben establecerse a corto plazo y luego mejorarse continuamente. La falta de mecanismos estadísticos se ha convertido en un tema importante y urgente para la promoción del sistema de gestión de NFU. El establecimiento de sistemas de información tiene como objetivo rastrear todo el ciclo de vida de un neumático. Un SIG se basa en gran medida en datos reales, como la formulación de políticas, la recopilación, el pago de tarifas de eliminación y la evaluación del desempeño general.

Por otro lado, B13 (Falta de una organización específica para coordinar y supervisar las empresas para la utilización integral de NFU) tiene el segundo valor de causa-efecto más grande y tiene un efecto significativo sobre B12 y B4. Este resultado confirma además que la falta de una organización específica para los NFU es un obstáculo importante para la implementación del sistema de gestión de NFU. La falta de un sistema de gestión específico es la mayor diferencia de China con la mayoría de los países europeos. Es necesario establecer esa organización específica que pueda fusionarse con las asociaciones existentes para coordinar de manera efectiva el sistema de gestión de NFU.

Sorprendentemente, las dos barreras más esenciales identificadas en este estudio provienen de las etapas de recolección y coordinación, más que de las etapas de tratamiento y uso. Este resultado es diferente de un estudio anterior sobre la gestión de cartuchos EoL (Shi et al., 2019). Una posible explicación es que se está recolectando una cantidad insuficiente de NFU para recauchutar, reciclar o recuperar. Varias empresas de reciclaje se quejan de la insuficiente cantidad recolectada para satisfacer su capacidad de procesamiento. Además, los principales recolectores son vendedores ambulantes, lo que genera incertidumbre sobre la recolección de NFU. Con el SIG, la información recopilada puede contribuir a definir claramente las responsabilidades de los productores y hacer que

presten más atención a la recolección. Además, la organización especificada (por ejemplo, una organización responsable del productor) puede subsidiar a los recolectores formales para alentar aún más sus esfuerzos.

2.5.2 Implicaciones para la gestión de NFU.

China se ha convertido en el mayor productor y usuario de neumáticos del mundo. Por lo tanto, cómo lidiar con los NFU es un gran desafío. Para el gobierno, la tarea urgente es facilitar el desarrollo de estándares unificados para productos “4R” en los mercados finales. Para desarrollar tales estándares, serán necesarios esfuerzos conjuntos entre el gobierno, asociaciones industriales y los fabricantes de neumáticos. El gobierno puede asignar dicho trabajo a asociaciones industriales, mientras que la asociación industrial puede trabajar con los principales fabricantes de neumáticos y empresas de tratamiento de NFU para desarrollar estándares razonables. La promoción de un SIG de NFU depende de diferentes partes interesadas. Como indican las dos barreras destacadas (B3 y B4), la presión financiera es ahora un gran desafío para las empresas de recolección y reciclaje, y estas dos barreras deben abordarse a corto plazo. De acuerdo con los sistemas de gestión de EoL en Europa y Estados Unidos, las empresas de recolección y reciclaje pueden recibir un apoyo financiero especial y, al mismo tiempo, los productores o usuarios finales deben pagar las tarifas de eliminación. Por lo tanto, antes de la promoción de un SIG de NFU, el gobierno debe identificar las tarifas de servicio (p. ej., recolección y eliminación) y aclarar cómo cobrarlas.

Las dos barreras elementales muestran que el gobierno y las asociaciones industriales desempeñan un papel fundamental en un SIG de NFU. Aunque el gobierno central ha comenzado a llevar a cabo extensas discusiones sobre la implementación de un sistema de gestión de NFU, aún se necesitan más esfuerzos. **Es necesario establecer una organización específica para la gestión de NFU, que puede ser patrocinada por la asociación de la industria o autorizada por el gobierno. Se espera que la organización específica (p. Ej., PRO) contribuya al funcionamiento del SIG de NFU a largo plazo. Al trabajar con las asociaciones de la industria y los principales fabricantes de neumáticos, el gobierno puede establecer un mecanismo estadístico para los NFU y desarrollar estándares técnicos y de calidad para los productos 4R**. Asimismo, resulta necesario fortalecer la aplicación de incentivos fiscales y estandarizar el sistema de reciclaje. Además de las implicaciones prácticas, los resultados del trabajo de Hu et al. (2021) también respaldan el marco teórico (el SIG que se muestra en la figura 36) desde una perspectiva de la cadena de suministro y de las partes interesadas para examinar las barreras para la gestión de NFU. La B1, relacionada con el desarrollo de un sistema estadístico, es una barrera prominente y elemental, que proviene de la etapa de recolección de NFU y se relaciona principalmente con el gobierno y las asociaciones industriales. La B4 es una barrera importante sobre si el gobierno proporciona apoyo financiero a las empresas que tratan los NFU de manera efectiva, que es desde la etapa de recolección. La B12 trata sobre los estándares de los productos "4R" desde la etapa de ventas, que necesita un esfuerzo conjunto del gobierno, asociaciones industriales y empresas líderes. Finalmente, la B13, como barrera elemental, trata de la gestión integrada del ciclo de vida de los NFU.

2.6 Discusión y conclusiones

En el trabajo de Hu et al (2021) se desarrolla un SIG para NFU y se identifican las barreras para la promoción y coordinación de dicho sistema a partir de tres etapas del ciclo de vida (recolección, tratamiento, venta y uso). Luego se identifican las barreras más urgentes y elementales. Para la

promoción del SIG de NFU, las tres etapas y la coordinación están afectadas por los dos tipos de barreras.

En el corto plazo, el gobierno debería desarrollar estándares técnicos y de calidad para los productos "4R", así como implementar completamente los incentivos fiscales. Los estándares unificados de los productos "4R" son extremadamente importantes para los mercados finales, pero se descuidaron en los estudios anteriores. El mercado final puede estimular la recogida y eliminación de NFU. El gobierno necesita regular los mercados finales estandarizando productos y tecnologías. Mientras tanto, es necesario establecer mecanismos estadísticos (registro y trazabilidad) mediante el desarrollo de sistemas de información. A largo plazo, es necesario crear una organización profesional de terceros, que se pueda fusionar a partir de asociaciones existentes, para que la gestión de NFU coordine todos los procesos y las partes interesadas asociadas para la gestión de NFU. La literatura existente sobre los sistemas de gestión de la cadena de suministro de circuito cerrado para NFU se centró en la discusión de la recolección y eliminación de NFU. Sin embargo, un sistema de gestión maduro (por ejemplo, un sistema EPR en uno de los países europeos) funciona bien bajo la coordinación de una organización específica. Por lo tanto, es necesario desarrollar en China un SIG para NFU con una organización de terceros profesional.

Cabe mencionar que este estudio se ha centrado mucho en el flujo de NFU o cadenas de suministro inversas. Es necesario identificar las barreras relacionadas con las cadenas de suministro avanzadas, especialmente las barreras en la fase de diseño del producto.

2.7 Implantación reciente del sistema EPR en Colombia.

Colombia es una de las economías emergentes que ha adoptado e implementado sistemas de EPR. Siguiendo la tendencia internacional y para adherirse a la OCDE, Colombia introdujo el principio de EPR en su primera política nacional de gestión de residuos peligrosos en 2005 (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005). Desde 2007, se han aplicado las regulaciones de EPR, dirigidas a materiales de desecho peligrosos específicos, como envases de pesticidas domésticos (2007), medicamentos caducados (2009), baterías pequeñas, bombillas y ordenadores (2010), y se han ampliado aún más para cubrir flujos de desechos no peligrosos como como neumáticos usados (2010). A partir de 2017, estos siete flujos de residuos estaban sujetos a las regulaciones de EPR. Se espera que los sistemas EPR colombianos se expandan aún más para incluir otros productos al final de su vida útil, como equipos eléctricos y electrónicos.

En el estudio realizado por Park et al. (2018) se examinan dos aspectos clave del sistema EPR colombiano, su gobernanza y desempeño, particularmente en el caso de los residuos de neumáticos. En Colombia, el desperdicio de neumáticos había atraído la atención política debido a sus importantes implicaciones ambientales y de salud. Cada año, Colombia importa entre 5,5 y 6,7 millones de unidades de neumáticos (DIAN, 2017) para satisfacer la creciente demanda de movilidad. Entre 2002 y 2015, la cantidad de automóviles, autobuses, camiones, camionetas, motocicletas, remolques y otros vehículos en las carreteras colombianas aumentó aproximadamente de 3.8 millones a 12 millones (Ministerio de Transporte, 2015). Sin embargo, Colombia no contaba con ningún plan de gestión de residuos para los neumáticos al final de su vida útil, y la creciente cantidad de neumáticos de desecho simplemente se abandonaba en los espacios públicos o se quemaba en hornos artesanales (Pirachic an-Mayorga et al., 2014; Rueda Verde, 2013). Los NFU son altamente resistentes a la biodegradación natural o la descomposición fotoquímica. Los neumáticos almacenados incorrectamente son caldo de cultivo potencial para los vectores de enfermedades y pueden lixiviar

metales (Ferrao et al., 2008; Sienkiewicz et al., 2012; Torretta et al., 2015). Otro riesgo de la reserva de neumáticos es el fuego, que es especialmente difícil y costoso de extinguir, y contamina el aire, el suelo y el agua (Jang et al., 1998). Si bien la quema al aire libre, el abandono incontrolado y la eliminación de neumáticos en vertederos están ahora legalmente prohibidos (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), se estima que todavía se encuentran cerca de dos millones de neumáticos en la vía pública o quemados sin los controles adecuados (Franco, 2016).

Para comprender la gobernanza y el desempeño del sistema EPR de neumáticos en Colombia, Park et al. (2018) primero examinan los roles y responsabilidades de las partes interesadas y cómo se llevaron a cabo las tareas asignadas. Después analizan el funcionamiento del sistema EPR en términos de recolección y procesamiento de NFU para evaluar hasta qué punto logró los objetivos previstos para la gestión de residuos. Estos investigadores encontraron una serie de problemas que obstaculizan el logro de los objetivos de EPR, muchos de los cuales están particularmente relacionados con el contexto de un mercado emergente. Así, analizan esos desafíos en detalle y discuten enfoques alternativos para abordarlos extrayendo lecciones de las experiencias de EPR en otros países.

2.8 Descripción del sistema EPR de neumáticos colombiano

En la Resolución 1457 de 2010, el Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia especificó los roles y responsabilidades de los actores del sistema de EPR de NFU. La Resolución impuso obligaciones tanto financieras como físicas para el manejo adecuado de los NFU a los productores e importadores de neumáticos (prohibiendo la eliminación incontrolada e ilegal de neumáticos), al tiempo que propuso roles de apoyo para otros actores en la cadena de valor de los neumáticos. La figura 37 muestra las partes interesadas en el sistema EPR de neumáticos, así como los flujos de material y monetarios entre ellos.

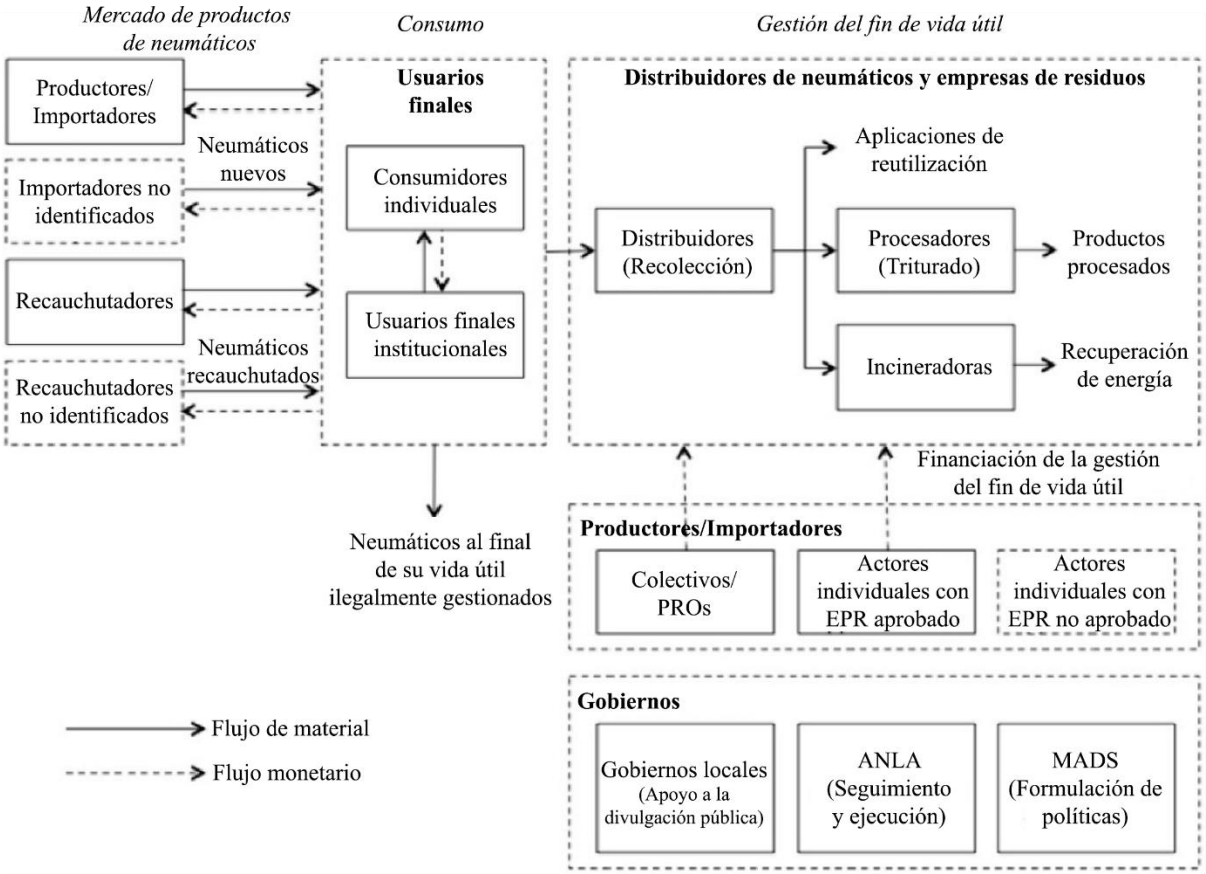


Figura 37. Partes interesadas en el sistema EPR de neumáticos colombiano y flujos monetarios y de material. Traducida de Park et al. (2018).

La Tabla 17 analiza la asignación de responsabilidades y tareas para el sistema EPR de neumáticos colombiano según el marco de la OCDE. Colombia adoptó la responsabilidad financiera y administrativa total del productor (Hickle, 2014), donde los productores e importadores de neumáticos asumen todas las responsabilidades financieras (es decir, recaudación y desembolso de tarifas) y operativas (por ejemplo, operaciones y coordinación) con respecto a la gestión al final de su vida útil. Como actor clave en el sistema EPR, los productores e importadores también realizan auditorías internas, administran las empresas miembros (en el caso de colectivos/PRO), apoyan el proceso de consulta, formulan y evalúan las políticas. El modelo colombiano es diferente del modelo de responsabilidad compartida, donde los municipios tienen responsabilidades financieras y de gestión parciales. En el sistema EPR de neumáticos colombiano, el municipio juega un papel mínimo, solo apoyando en labores de divulgación pública. En general, el sistema EPR de neumáticos de Colombia muestra una fuerte característica de gobernanza privada con una participación mínima del gobierno.

Función de gobierno	Gobiernos (MADS, ANLA, autoridades ambientales)	Productores/importadores (individual) o PROs (colectivo)	Gobiernos locales/ Municipios
Recaudación y desembolso de cuotas de producción		XXX	
Operaciones		XXX (a través de compañías de residuos)	
Coordinación		XXX	X
Consulta a las partes interesadas	XXX	XX	
Formulación y evaulación de políticas	XXX	XX	
Registro de productores	XXX	XX	
Acreditación de PROs	XXX		
Seguimiento	XXX	XX	
Aplicación	XXX		

* XXX (entidad principal que realiza funciones), XX (la entidad a veces realiza una función), X (la entidad rara vez realiza una función).

Tabla 12. Estructura de gobierno y asignación de tareas del ERP colombiano. Traducida de Park et al. (2018).

Las responsabilidades de los productores e importadores están a cargo principalmente de cinco PROs. El PRO más grande puede ejercer un poder monopolístico debido a su cobertura de mercado dominante. Pero en el caso de la EPR de neumáticos colombiana, la relación entre el mayor (es decir, Rueda Verde) y el segundo mayor PRO (es decir, Sistema Verde) parece ser más complementaria que competitiva**. El PRO más grande está compuesto principalmente por importadores de neumáticos y trabaja con empresas de residuos que procesan NFU en granulados de caucho, mientras que el segundo PRO más grande está compuesto principalmente por importadores y fabricantes de vehículos, y trabaja con un productor de cemento para la recuperación de energía a partir de NFU. Sin embargo, esta dinámica puede cambiar ya que Sistema Verde se ha expandido rápidamente con una capacidad considerable para la recuperación de energía.** Esto plantea la pregunta de cómo garantizar una distribución adecuada de la carga de la recaudación y la igualdad de condiciones para múltiples competidores, porque en Colombia aún no existe una cámara de compensación, un organismo neutral que asuma ese rol (OCDE, 2016).

2.9 Desempeño del sistema EPR de neumáticos de Colombia: recolección y tratamiento de neumáticos al final de su vida útil

Como resultado de la operación de los dos sistemas EPR más grandes, las unidades de neumáticos recolectadas aumentaron entre 2012 y 2016 (Fig. 38). En 2016 se recolectaron aproximadamente 2.9 millones de unidades de neumáticos, lo que equivale a 45.800 toneladas. A lo largo de los cinco años, las recaudaciones reportadas fueron superiores a los objetivos de recaudación exigidos por la Resolución 1457, aunque la diferencia entre las dos no fue significativa excepto en el primer y quinto año. Esto muestra que el sistema EPR de neumáticos colombiano efectivamente aumentó la

recolección y eliminó efectivamente los neumáticos abandonados en los espacios públicos hasta cierto nivel. Pero este sigue siendo un nivel bajo (es decir, 45%) en comparación con muchos otros países de Europa, que recogieron y recuperaron más del 90% de los neumáticos al final de su vida útil, o los EE. UU., que recuperó el 88%, tal y como muestra la Tabla 13. Portugal adoptó el sistema EPR en 2006 y recogió 90.000 toneladas de residuos de neumáticos en 2009, que ya era más del 100% de los neumáticos puestos en el mercado (Niza et al., 2014).

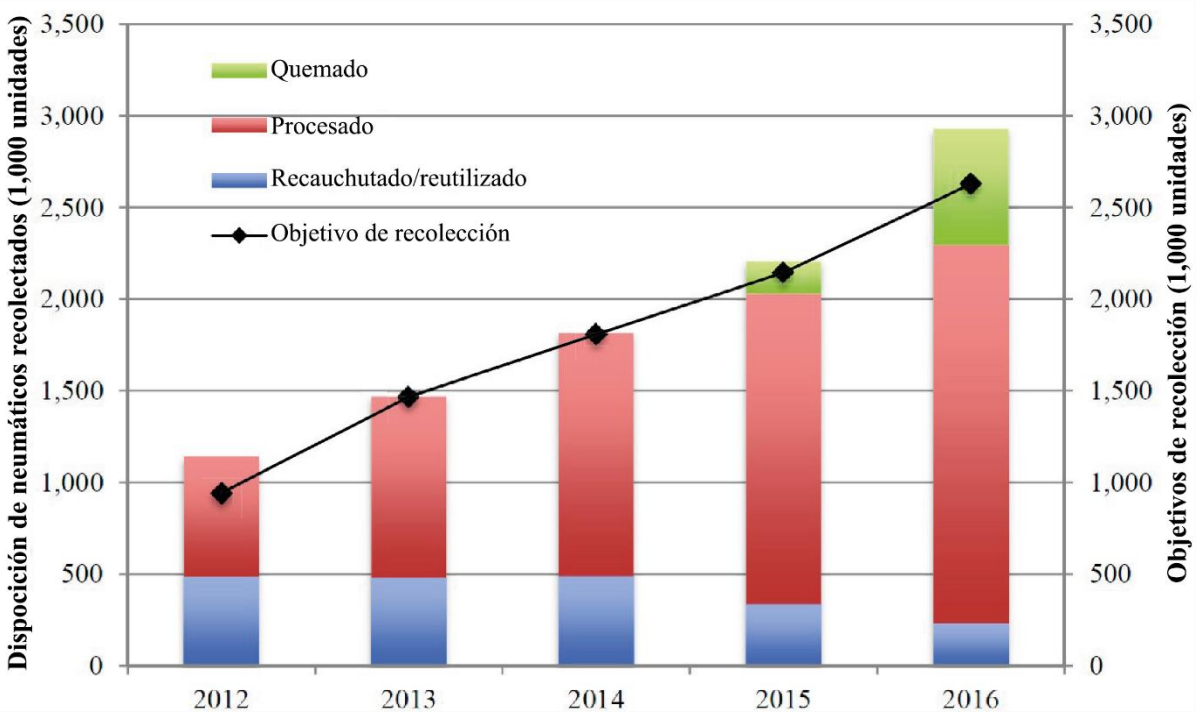


Figura 38. Disposición de neumáticos recolectados (recauchutados / reutilizados, procesados o quemados) y objetivos de recolección (en 1,000 unidades) entre 2012 y 2016. Traducida de Park et al. (2018).

País	Colombia	Portugal	España	EU28+[e]	EE.UU
Año de los datos	2016	2009	2010/2011	2015	2015
Recollección (toneladas)	45,804	90,000	177,234	3,868,000	4,038,800[f]
Tasa de recolección (Objetivo)	45% (40%)	103% (95%)	54%	>90%	88%
Tasa de reutilización[a]	8%	-	9%	18%	-
Tasa de reciclaje (Objetivo)[b]	70%[d]	98% (65%)	51%	46%	40%
Tasa de recuperación[c]	22%	-	40%	28%	48%

Fuentes: Portugal (Niza et al., 2014), España (Uruburu et al., 2013), EU28 + (ETRMA, 2014, 2017), EE. UU. (USTMA, 2017).
a La reutilización incluye recauchutado y reutilización de segunda mano.
b Las opciones de reciclaje incluyen la producción de granulado de caucho, reciclaje de acero o textiles, uso de llantas de desecho en ingeniería civil y otras opciones.
c La recuperación se refiere a las opciones de recuperación de energía, incluida la termólisis y la producción de electricidad.
d Considera el peso de los neumáticos usados procesados sin conocer las aplicaciones finales.
e Incluye 28 países de Europa, además de Noruega, Suiza, Serbia y Turquía.
f Esta cifra excluye la cantidad de neumáticos recauchutados o reutilizados.

Tabla 13. Gestión de NFU en los países seleccionados. Traducida de Park et al. (2018).

Todos los neumáticos recolectados fueron recauchutados/reutilizados, procesados o quemados. En Colombia, la reutilización de neumáticos de desecho no era una práctica común. Durante los últimos cinco años, solo se reportaron dos casos de reutilización (por ejemplo, la reutilización de neumáticos de desecho en la construcción del campo de entrenamiento militar y un tanque de agua), que correspondieron a menos del 0.2% del total de unidades de neumáticos recolectadas ese año. El

recauchutado de neumáticos constituyó un mercado bastante estable, pero mostró una tendencia a la baja, especialmente en los últimos dos años. Por el contrario, las unidades de neumáticos procesados (principalmente en granulados de caucho) aumentaron de manera constante durante los cinco años. En 2009, solo había una planta de procesamiento en la región de Antioquia, pero el número de plantas de procesamiento de neumáticos aumentó a 22 en 2016 (Cardozo, 2016). Sin embargo, es importante señalar que no hubo más información sobre las aplicaciones finales, con respecto a cuántas toneladas de productos procesados se utilizaron realmente para qué opciones de reutilización. En esa circunstancia coincide con la ERP española. Se sabe que alrededor del 50% y el 60% de los productos procesados, en promedio, se vendieron realmente (Suarez, 2016). Esto significa que una parte significativa de los productos procesados pueden permanecer almacenados en las instalaciones de procesamiento, lo que aumenta las cargas financieras y los riesgos comerciales para esas empresas procesadoras.

La quema de neumáticos recolectados como combustible ocurrió por primera vez en 2015 con el establecimiento del nuevo PRO, que tenía un contrato exclusivo con una planta de cemento. En 2016 se quemaron alrededor de 5.530 toneladas de neumáticos en un horno de cemento, casi cuatro veces la cantidad que se quemó en 2015. En un corto plazo, se espera que la recuperación de energía de los NFU aumente rápidamente considerando la capacidad existente. El horno de cemento que se utiliza actualmente para la recuperación de energía tiene una capacidad para quemar 20.000 toneladas de neumáticos troceados al año, y hay hornos adicionales que pueden quemar más NFU cuando estén convenientemente equipados y cuenten con los permisos requeridos.

2.10 Desafíos observados y enfoques de mejora

Al examinar la gobernanza y el desempeño del sistema EPR de neumáticos en Colombia, se observan varios desafíos que obstaculizan el logro de los objetivos de la EPR. En esta sección, Park et al. (2018) primero discuten temas directamente relacionados con los objetivos ambientales del EPR, y después examinan la estructura de gobierno y de incentivos, para conocer si cada parte tiene incentivos suficientes para llevar a cabo las tareas asignadas. También se analizan otros temas relacionados con la transparencia, el marco legal y el monitoreo/cumplimiento. Finalmente, se hacen propuestas de políticas basadas en las experiencias de otros países.

2.10.1 Efectividad ambiental

El objetivo clave de la EPR es garantizar una gestión ambientalmente eficaz de los desechos al final de su vida útil, siguiendo la jerarquía de desechos (OCDE, 2001). En consecuencia, el sistema EPR de neumáticos debe priorizar sus esfuerzos en el siguiente orden: 1) reducir la generación de residuos de neumáticos (por ejemplo, extendiendo su vida útil a través de los cambios de diseño), 2) facilitar su reutilización (por ejemplo, reutilizando la carcasa o mejorando recauchutado), 3) promover el reciclaje y otras formas de recuperación de materiales (por ejemplo, mediante la expansión de tecnologías de reciclaje que cubren la producción de neumáticos cortados, triturados, astillas, granulados de caucho y polvo de caucho, que se pueden utilizar para diversas aplicaciones en la construcción, carreteras / construcción e ingeniería de carreteras) y 4) recuperación de energía (por ejemplo, quemando neumáticos de desecho en hornos de cemento o calderas industriales). Estudios previos de Análisis del Ciclo de Vida (ACV) confirmaron que el reciclaje de materiales de residuos de neumáticos proporciona mayores beneficios ambientales que la recuperación de energía, pues solo se recupera el 37% de la energía original incorporada en los neumáticos (Feraldi et al., 2013; Sienkiewicz et al., 2012; Torretta et al., 2015). En el contexto colombiano donde casi todos los neumáticos son

importados, es difícil esperar que el esquema EPR colombiano proporcione fuertes incentivos para cambios en el diseño de neumáticos. Esto mismo le ocurre al TNU español. Aunque se produzca un cambio de diseño, como agregar sílice en lugar de negro de humo para extender la vida útil de los neumáticos, aumentaría el precio de los neumáticos y la demanda interna podría ser insignificante (Milanez y Bührs, 2009). Entonces, la siguiente prioridad debería ser el reciclaje de materiales. Colombia depende únicamente de la trituración mecánica para producir gránulos de caucho que actualmente tienen una demanda limitada e inestable. Bajo la alta incertidumbre en términos de ventas y retornos a largo plazo, algunas empresas, como Parque Ambiental Mundo S.A han cerrado (Rueda Verde, 2015), y la mayoría de los procesadores siguen siendo pequeños con capacidades de procesamiento limitadas (Rueda Verde, 2013). Un documento de auditoría publicado por ANLA (2016a) señaló numerosos problemas en la recolección, almacenamiento y procesamiento de residuos de neumáticos, como el incumplimiento ambiental (p. Ej., Excedencia en el nivel de ruido, ausencia de plan de contingencia, actores no autorizados) y la comisión de múltiples errores. Esto muestra que el mercado del reciclaje de neumáticos aún no está completamente establecido y funciona de manera ineficaz debido a la falta de capacidades técnicas y de gestión de las empresas de residuos.

En Colombia sería crucial explorar e invertir en tecnologías de reciclaje (p. Ej., trituración criogénica o húmeda, pirólisis, etc.) para ampliar aún más las opciones de uso de los productos reciclados de los residuos de neumáticos (p. Ej., barreras contra la erosión, estructura de estabilización de pendientes, rompeolas, refugios contra avalanchas, vertederos operaciones de construcción, calzado y otros productos realizados con residuos de neumáticos). Para promover el reciclaje de neumáticos y su recuperación de material, un PRO en España invirtió en la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, como un nuevo tipo de hormigón en masa. Se trataba de autoabastecerse y salvaguardar el futuro de la cadena de valor de los neumáticos al final de su vida útil en lugar de depender de los subsidios gubernamentales o los fondos públicos (Uruburu et al., 2013). También es importante que los gobiernos nacionales/locales y el sector público desempeñen un papel en la promoción del desarrollo de mercados secundarios y de reciclaje, por ejemplo, a través de la contratación pública (ETRMA, 2014), o creando las condiciones para las innovaciones ambientales (Milanez y Bührs, 2009; OCDE, 2001). La región de Flandes en Bélgica estableció un objetivo de recuperación (es decir, el porcentaje de reutilización, recauchutado y reciclaje debe ser de al menos el 55%) y apoyó el reciclaje de materiales de neumáticos usados mediante un impuesto sobre la incineración y una legislación que permita el uso de caucho granulado en campos deportivos (OCDE, 2016). La Administración de Protección Ambiental de Taiwán estableció e implementó un programa de reciclaje de neumáticos para subsidiar la industria de reciclaje de neumáticos, con fondos recaudados de los impuestos y cargas impuestas a los fabricantes e importadores de neumáticos (Chang, 2008). En Corea del Sur, los gobiernos locales subvencionan o conceden préstamos a tasas de interés bajas a la industria del reciclaje (OCDE, 2016).

En Colombia, algunos de los desechos de neumáticos aún se manejan a través de canales ilegales, fuera de los controles regulatorios. Se sabe que aproximadamente el 10% de los neumáticos usados generados en Colombia se exportan a Venezuela y Ecuador, lo que incluye el comercio ilegal (Cardozo, 2016). El procesamiento no autorizado de neumáticos usados, conocido como “regrabado” (es decir, tallado), presenta riesgos como acuaplaning o explosión (Rueda Verde, 2013). La eliminación incontrolada y la quema ilegal de neumáticos siguen siendo frecuentes, lo que socava los objetivos del sistema EPR de neumáticos. Además de la EPR, se deben fortalecer sus políticas complementarias, como las medidas de control de la contaminación contra actividades ilegales y la regulación aduanera contra los contrabandistas (Kojima et al., 2009). A corto plazo, se deben promover opciones de

recuperación de energía (p. ej., el horno de cemento o las calderas industriales pueden usar hasta 20-30% del combustible derivado de neumáticos como sustituto de combustible) para evitar la acumulación de neumáticos recolectados (Feraldi et al., 2013).

2.10.2 Estructura de gobierno e incentivos

El modelo EPR colombiano impone responsabilidades financieras y operativas a los productores e importadores de neumáticos, mientras que no ofrece suficientes incentivos o recompensas para alentar la participación de otros actores en la cadena de valor, incluidos los usuarios finales, distribuidores, proveedores de servicios de gestión de residuos y autoridades. Los usuarios finales individuales e institucionales de los neumáticos no están sujetos a los requisitos legales en virtud de la EPR. Particularmente sin ningún retorno económico, tienden a tener un bajo nivel de conocimiento e interés en devolver sus neumáticos usados. Los consumidores en Colombia tienden a conservar los neumáticos usados por si hay alguna avería en los nuevos, y después de un tiempo, los neumáticos viejos se abandonan junto con otros residuos sólidos municipales (Rueda Verde, 2013). Sin embargo, en muchos países desarrollados, los usuarios finales pagan tasas ecológicas o impuestos sobre los productos EPR (Uruburu et al., 2013) o, en algunos casos, los consumidores pagan una tasa más visible durante la devolución (Hickle, 2014). Es posible que cobrar a los consumidores no funcione de manera realista según los tipos de productos y contextos. En el caso de los RAEE tailandeses, los consumidores reciben reembolsos, que provienen de los "fondos de reciclaje" establecidos mediante un impuesto de reciclaje a los fabricantes e importadores (Kojima et al., 2009).

Los distribuidores, en muchos casos, no se comprometen voluntariamente con la recolección adecuada de los NFU, especialmente sin un incentivo económico. Los responsables de un PRO señalaron que los distribuidores tienden a no informar a los transportistas a tiempo para recoger los neumáticos recolectados, lo que aumenta la ineficiencia y los costes en logística (Cardozo, 2016). Otros países como Portugal y Canadá obligan a los distribuidores a aceptar los productos al final de su vida útil para poder vender otros nuevos (Hickle, 2014), o los centros de acopio reciben un subsidio o tarifa para cubrir los costes (Ferrao et al., 2008; Kojima et al., 2009; Manomaivibool y Vassanadumrongdee, 2011). Los procesadores de residuos también sufren desincentivación económica debido al subdesarrollado mercado del reciclaje. Particularmente en los mercados emergentes, el reciclaje tiende a no ser rentable debido a la tecnología y/o infraestructuras precarias, el bajo número de instalaciones de procesamiento o los costes de recolección y transporte relativamente altos (Quariguasi Frota Neto y Van Wassenhove, 2013). Para superar estas barreras, la legislación de RAEE en China proporciona un subsidio a los recicladores, apoyando y promoviendo las actividades de reciclaje, particularmente cuando los desechos electrónicos se comercializan a un valor positivo en el mercado secundario (Kojima et al., 2009). Dependiendo del tipo de actores y contextos locales, se pueden examinar y determinar la aplicación de varios instrumentos económicos, tales como tarifas de eliminación anticipada, depósito/reembolso, combinación de impuestos o subsidios a los distintos agentes.

Actualmente, los municipios y los gobiernos locales solo participan en campañas de divulgación y educación pública debido a la separación legal de sus roles. Sin embargo, la infraestructura pública existente para la recolección y transporte de los residuos sólidos municipales puede ser un gran activo para el sistema EPR, particularmente cuando el sistema EPR aún está en desarrollo (Hickle, 2014). Se puede considerar el modelo de responsabilidad compartida, donde el gobierno local tiene una responsabilidad financiera y física parcial por la recolección y clasificación de los residuos (OCDE, 2001). Además, el sector informal puede ofrecer un apoyo significativo para la recolección de

materiales reciclables. En uno de los estados de Brasil, con gobiernos locales y un fondo de una empresa conjunta brasileño-británica que controla el 70% del mercado de remodelado de neumáticos, los importadores de neumáticos establecieron un programa en el que los recicladores y las personas sin hogar recogían los residuos de neumáticos y los vendían a las empresas (Milanez y Bührs, 2009). El programa fue aparentemente eficiente y ayudó a los importadores de neumáticos a cumplir con sus obligaciones legales. Colombia puede aprender de estas prácticas sobre cómo involucrar y beneficiarse de la infraestructura y los recursos existentes.

2.10.3 Transparencia, seguimiento/cumplimiento y marco legal

La evaluación de los programas de EPR requiere una gran cantidad de información sobre el flujo material y / o monetario entre todos los actores del sistema. Esto, a su vez, requiere un sistema de gestión de información eficiente que pueda recolectar, verificar y reportar datos para el cálculo de indicadores relevantes (Comisión Europea, 2014) El sistema EPR de neumáticos en Colombia carece de un sistema de gestión de información eficiente, como el registro en línea implementado en el sistema EPR de neumáticos portugués (Niza et al., 2014), o un sistema de subasta electrónica en España (Uruburu et al., 2013). En general, faltan algunos de los datos necesarios (por ejemplo, aplicaciones finales de los productos reciclados, costes y cobros), no están disponibles públicamente (por ejemplo, códigos y la cantidad de neumáticos importados) o no son fácilmente accesibles (por ejemplo, entidades y casos que no cumplen). El análisis y la evaluación también se vuelven difíciles cuando los datos existen en diversas formas y deben recogerse de diversas fuentes. Los centros de recolección y los procesadores de neumáticos registran sus datos en copias impresas y los reportan en cada transacción. Luego, los PRO los compilan manualmente y ANLA revisa algunos de esos registros por separado, que son procesos en gran medida ineficientes y costosos.

Las evaluaciones del programa EPR de neumáticos de Brasil encontraron que los gobiernos estatales no participaron en el debate de la política de EPR y, por lo tanto, no participaron en su seguimiento. Esto resultó en la carga concentrada de la gestión y control en una sola autoridad (Milanez y Bührs, 2009). También se observó un problema similar en Colombia. La compleja responsabilidad de supervisar el cumplimiento legal, realizar evaluaciones y hacer cumplir las sanciones recae en una sola autoridad, ANLA. Los recursos limitados en esta única organización parecían causar retrasos y lagunas en el seguimiento y la aplicación. A partir de 2016, no se han aplicado sanciones. Colombia debe explorar formas de mejorar la rentabilidad de la supervisión y gestión, lo que incluye estrategias de comunicación, métodos de evaluación y modelos de gobernanza (por ejemplo, múltiples PROs). Un enfoque alternativo sería compartir funciones de supervisión con las autoridades locales y otros agentes (OCDE, 2001), o incluso compartir funciones adicionales. En Austria, el Ministerio de Medio Ambiente tiene la capacidad de organizar la recolección y el tratamiento de los flujos de residuos y carga los costes al PRO cuando no cumple con sus obligaciones (OCDE, 2016). Una parte de los recursos necesarios puede provenir de las multas o impuestos pagados por fabricantes que incumplan la normativa. Este fue el caso de España, en el que estos fondos se utilizaron para financiar el reciclaje y la recuperación de residuos de neumáticos no gestionados y para apoyar programas ambientales relacionados (Sienkiewicz et al., 2012).

Otro papel importante de la autoridad gubernamental, MADS en el caso de la EPR colombiana, es mejorar el marco legal para que se alcancen los objetivos de la EPR de una manera económicamente eficiente. Como una forma de promover la recuperación de valores de los residuos de neumáticos, el MADS debería establecer objetivos de reciclaje/recuperación además de los objetivos de recogida. Estos objetivos deben definirse cuidadosamente teniendo en cuenta el contexto local, especialmente

cuando el mercado de los productos reciclados no está bien establecido. Si bien los objetivos deben establecerse firmemente, el gobierno debe permitir flexibilidad para cumplirlos (OCDE, 2001). Definir estrictamente las aplicaciones de uso puede entorpecer el desarrollo de otros usos innovadores. También es importante que el gobierno proporcione políticas complementarias para promover el desarrollo de tecnologías de reciclaje y sus mercados (Milanez y Bührs, 2009).

2.11 Discusión y conclusiones sobre el caso de Colombia

En Colombia, los neumáticos al final de su vida útil han planteado preocupaciones ambientales cada vez mayores en ausencia de controles reglamentarios y a consecuencia del rápido incremento del número de vehículos. Se observa que la introducción del EPR ha aumentado con éxito la cantidad de neumáticos recolectados, pero en un grado relativamente pequeño en comparación con la recolección en muchos otros países desarrollados. Más importante aún, el sistema EPR de neumáticos no logró completamente su objetivo de cerrar el ciclo de uso de materiales debido a que los mercados de reciclaje están en un estadio muy incipiente y existe poca capacidad para la recuperación de energía. El análisis también destaca los problemas de gobernanza en el funcionamiento del sistema EPR. Colombia adoptó una responsabilidad financiera y de gestión total del productor sin ningún instrumento económico, lo que resultó en la concentración de responsabilidades y la participación insuficiente de algunos actores importantes en la cadena de producción de neumáticos. Para abordar estos desafíos, el estudio de Park et al. (2018) ofrece algunas recomendaciones de política. En primer lugar, para garantizar la eficacia ambiental del sistema EPR, es necesario mejorar el marco legal definiendo objetivos claros y permitiendo flexibilidad en el nivel de cumplimiento. En particular, es clave promover la innovación tecnológica y los mercados de reciclaje para cerrar el ciclo de uso de materiales, y esto puede estar respaldado por las inversiones de los productores y/o las políticas gubernamentales. En segundo lugar y para compartir la carga de trabajo, el funcionamiento y la administración eficaz del sistema EPR requieren la participación y colaboración de todos los actores clave a lo largo de toda la cadena de valor, Asimismo, deben proporcionarse incentivos apropiados en forma de requisitos legales y/o instrumentos económicos, y deben usarse los recursos existentes, como la infraestructura de gestión de residuos, los actores informales, así como las autoridades de supervisión de los gobiernos locales. Por último, es necesario establecer un sistema de gestión de la información eficiente para recopilar, evaluar y monitorear los datos, y para respaldar las evaluaciones periódicas de los sistemas de EPR en Colombia. Cabe destacar, que la EPR solo puede contribuir a la gestión eficaz de residuos y a la economía circular cuando se adapta al contexto local de acuerdo con la experiencia y a partir del aprendizaje continuo.

3. Responsabilidad ampliada del productor y EC

3. Responsabilidad ampliada del productor y economía circular

3.1 Introducción

Los gobiernos nacionales, regionales y locales han comenzado recientemente a presentar el concepto de economía circular (EC) como un nuevo camino hacia la sostenibilidad y la prosperidad económica. La defensa de este concepto inconsistente y controvertido (Korhonen et al., 2018) se produce en medio de una creciente preocupación por el agotamiento de los recursos, un aumento de generación de residuos y la superación de los límites planetarios inducidos por actividades humanas en la biosfera (Henckens et al., 2014; Rockstrom et al., 2009). Se argumenta ampliamente que la EC enfrenta estos desafíos emergentes mediante la desaceleración, el cierre y la reducción de los circuitos de recursos, es decir, maximizando la utilidad funcional de los materiales y la energía (Geissdoerfer et al., 2017; Stahel, 2010). La EC va más allá de las medidas anteriores de valorización de residuos y las iniciativas de producción más limpia hacia una perspectiva de sistemas integrados que abordan las prácticas de producción y consumo (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Vermeulen et al., 2018).

La Comisión Europea (CE) enmarca la EC junto con las oportunidades económicas que establecen que "la EC impulsará la competitividad de la Unión Europea (UE) al proteger a las empresas contra la escasez de recursos y los precios volátiles, ayudando a crear nuevas oportunidades de negocio e innovadoras y más eficientes formas de producir y consumir" (Comisión Europea, 2015, p. 1). Los gobiernos nacionales también han diseñado estrategias específicas, incluidos los Países Bajos, Francia e Italia; con los Países Bajos estableciendo un objetivo inicial de un 50% menos de uso de material primario para 2030 (Ministerio de Infraestructura y Medio Ambiente y Ministerio de Economía, 2016). Si bien las preocupaciones ambientales y económicas que sustentan la EC pueden percibirse como nuevas, los medios a través de los cuales se están abordando se manifiestan a través de prácticas organizativas más convencionales o antiguas, que incluyen objetivos de reciclaje más elevados, legislación sobre residuos y compromisos de responsabilidad ampliada del productor (EPR) (Comisión Europea, 2015; Milios, 2018).

Los expertos han dedicado mucho tiempo a analizar nuevos modelos y estrategias comerciales relacionados con la EC (Bocken et al., 2016; Lüdeke-Freund et al., 2018). Sin embargo, también es necesario reflexionar y examinar estas antiguas iniciativas y prácticas de EC para comprender su idoneidad y capacidad para facilitar y abordar las preocupaciones sociales emergentes que se evidencian en el debate actual sobre EC.

Los estados miembros de la UE son libres de elegir cómo organizar la recogida y el tratamiento de los neumáticos, que se informa a la Asociación Europea de Fabricantes de Neumáticos y Caucho (ETRMA); la mayoría de los estados miembros, como ya se ha mencionado anteriormente, han adoptado sistemas EPR, que han recuperado con éxito grandes cantidades de neumáticos usados (las tasas de recuperación de neumáticos al final de su vida útil (EoL) en Europa están por encima del 90% desde 2007) (ETRMA, 2017; ETRMA, 2018). Sin embargo, a pesar de esos niveles tan altos de recuperación, hay poca sustitución directa (circuito cerrado), es decir, los neumáticos nuevos tienen un bajo contenido de caucho reciclado (ECHA, 2017). De hecho, hasta el 50% de los neumáticos recolectados se queman, por lo general, para la recuperación de energía (Scott, 2015), un problema que se agrava aún más pues el caucho natural es designado como una materia prima crítica (Comisión Europea, 2017). Si bien se debate y explora la viabilidad tecnológica de dicha sustitución directa de material mediante desvulcanización (Myhre et al., 2012), existe una cuestión más amplia sobre la organización

y los resultados del desempeño de la EPR como un sistema de EC antiguo para hacer frente a los desafíos sociales emergentes.

Investigaciones anteriores sobre EPR y reciclaje de neumáticos en la UE han examinado las diversas opciones de tratamiento (Torretta et al., 2015) y el progreso en los estados miembros, incluido el abandono constante del vertido (Sienkiewicz et al., 2012). Alternativamente, como se ha visto en el estudio de la implementación de EPR en la UE realizado por Winternitz et al. (2019), se demuestra que un sistema EPR no garantiza necesariamente que los neumáticos de desecho se eliminen de la manera más beneficiosa para el medio ambiente. Del mismo modo, Lonca et al. (2018) examinaron las compensaciones de una mayor circularidad material de los neumáticos con otros indicadores de sostenibilidad, por ejemplo, salud humana y de los ecosistemas. Su investigación encontró que una mayor circularidad del material es beneficiosa desde la perspectiva de los recursos, pero no necesariamente desde otras perspectivas ambientales (Lonca et al., 2018). Esta investigación evidencia la complejidad de organizar los sistemas de eliminación de una manera dinámica poniendo de manifiesto los problemas potencialmente conflictivos dentro de los procesos de fin de vida.

En este escenario, el trabajo de Campbell et al. (2020) tiene como objetivo examinar críticamente la organización y el rendimiento de un sistema EPR existente, para reflexionar sobre sus fortalezas y su idoneidad para hacer frente a las necesidades más amplias dentro del debate actual sobre EC. En base a esto, intentan responder a la pregunta "¿con qué eficacia funcionan los sistemas EPR actuales teniendo en cuenta las metas actuales de EC?". Los autores usan la EPR para neumáticos en los Países Bajos como caso de estudio para explorar esta pregunta. Este estudio, por lo tanto, agrega una comprensión práctica de la contribución de la EPR a la EC y proporciona información tanto para EPR nuevos como existentes a nivel mundial.

3.2 Revisión de la literatura

3.2.1 Economía circular: orígenes, historia e implementación

Si bien el concepto de EC en sí se remonta a 1989 (Pearce y Turner, 1989), la idea se basa en un largo historial de literatura sobre límites de recursos y transformaciones ecológicas como los “Límites del crecimiento” (Meadows et al., 1972), la "Tragedia de los bienes comunales" (Hardin, 1968), "La economía de la futura nave espacial tierra" (Boulding, 1966), "Lo pequeño es hermoso" (Schumacher y Ernst, 1973) y "El círculo que se cierra” (Commoner, 1971).

Más recientemente, la EC ha extraído sus fundamentos teóricos de la Ecología Industrial (IE) (Aryes, 1989; Saavedra et al., 2018), de la Cuna a la Cuna (McDonough y Braungart, 2002) y la Economía del Rendimiento (Stahel, 2010). El concepto de EC se basa ampliamente en la premisa de retener el uso funcional de productos y materiales dentro de la esfera económica durante el mayor tiempo posible. Esta concepción está siendo defendida, en particular, por consultoras del sector privado, p. ej. la Fundación Ellen MacArthur (Reino Unido) y Circle Economy (NL). Las estimaciones sugieren que el resultado acumulativo de las políticas de EC anteriores ha dado como resultado la retención de valor de tan solo el 6% de los materiales globales, el 12% dentro de la UE, lo que obliga a plantear nuevos enfoques que permitan aumentar la retención y rendimiento del material (Haas et al., 2015).

La EC también se discute como un concepto evolutivo (Blomsma y Brennan, 2017; Reike et al., 2018). En el marco de este estudio resultan muy interesantes las tres fases del concepto de EC (EC 1.0, EC 2.0, EC 3.0) propuesto por Reike et al. (2018). En primer lugar, EC 1.0 (1970-1990) se caracteriza por el desempeño de prácticas de gestión de residuos, concibiendo la producción de residuos como un

problema de contaminación ambiental que debe abordarse mediante políticas de fin de vida útil. Con esta visión inicial se comenzaron a desarrollar y operar plantas de tratamiento e incineración de residuos, especialmente en países del Norte.

La segunda fase, EC 2.0 (1990-2010), comienza con el desarrollo de muchas estrategias "ganar-ganar", que utilizan los residuos de unos como materia prima y recursos valiosos para otros, dentro del concepto de ecología industrial (EI) (Frosch y Gallopoulos, 1989), una producción más limpia (Fresner, 1998), simbiosis industrial (Chertow, 2000), sistema producto-servicio (PSS) (Goedkoop et al., 1999) y EPR (Davis y Wilt, 1994). Fue entonces cuando el concepto de EC fue acuñado por primera vez por Pearce y Turner (1989) y cuando aparecieron ideas asociadas, como “biomimetismo” (Benyus, 1998), “de la cuna a la cuna” (McDonough y Braungart, 2002) y “economía del rendimiento” (Stahel, 2010). Este período también vio la implementación generalizada de sistemas integrados de gestión (SIG) y reciclaje de residuos, incluidos los sistemas EPR, que imponían nuevas responsabilidades a los agentes del sector privado (Reike et al., 2018).

La tercera fase de EC 3.0 (desde 2010) aparece cuando las discusiones sobre el concepto de EC se generalizaron ante el temor de que la situación sobrepasara los límites planetarios (Rockstrom et al., 2009), el agotamiento de recursos, la pérdida de biodiversidad, generación excesiva de residuos, etc. (Reike et al., 2018). Esto ha llevado a la necesidad de gestionar el uso de materiales de un modo más integrado y holístico, que tiene como objetivo ralentizar, reducir, estrechar y cerrar los ciclos de recursos de manera sistémica a través de cambios en las estructuras y patrones de producción y consumo (Reike et al., 2018). Sin embargo, este es también un período en el que se conciben diferentes visiones de la EC, que son transformadoras o reformistas según su posición con respecto a la capacidad del capitalismo para superar los límites de recursos y desvincular la degradación ecológica del crecimiento económico (Reike et al., 2018; Calisto Friant et al., 2020).

La implementación de actividades y políticas relacionadas con la EC se produce en una variedad de contextos y escalas geográficas. Por tanto, las prácticas de EC van desde programas nacionales, p. Ej. La "Ley de Promoción" de China de 2009 a políticas internacionales, p. Ej. la Comisión Europea, 2014 CE "Action Plan" (Ghisellini et al., 2016), modelos de negocio y estrategias de empresas individuales (Lüdeke-Freund et al., 2018). Los expertos han tratado de definir las actividades de EC a través de las opciones de retención de valor potencial que se pueden iniciar a lo largo del ciclo de vida de un producto o material, comúnmente descrito como la jerarquía “R”. Estos van desde las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar), cuatro y hasta las diez “R”. Una revisión reciente de 69 de estos imperativos “R” describió una síntesis de 10 opciones integrales de retención de valor (Reike et al., 2018). Si bien la narrativa y el nuevo esquema de EC gira entorno a su “novedad”, gran parte del enfoque político de la UE en materia de EC sigue basándose en las prácticas más antiguas (Comisión Europea, 2015; Gregson et al., 2015; WFD 2018/851, 2018). En la tabla 14 se definen diez opciones de retención de valor.

R_principios	Descripción
R0-Rechazar	Para que los consumidores compren menos. También para productores que pueden negarse a utilizar materiales o diseños específicos.
R1-Reducir	Vinculado a los productores, haciendo hincapié en el ciclo de vida del producto, p. Ej. menos material por unidad de producción (desmaterialización).
R2_Revender/Reusar	Segundo consumidor de un producto que apenas necesita adaptación y funciona como nuevo.
R3-Reparar	Poner de nuevo en funcionamiento, reemplazando elementos después de defectos menores.
R4-Reacondicionar	La referencia a un producto grande de varios componentes permanece intacta mientras se reemplazan los componentes, lo que resulta en una actualización general del producto.
R5-Refabricar	La estructura completa de un producto multicomponente se desmonta, revisa, limpia y, cuando es necesario, se reemplaza o repara con un proceso industrial.
R6_Reutilizar	Popular en diseño industrial y comunidades artísticas. Al reutilizar productos desechados o componentes adaptados para otra función, el material cobra una nueva vida.
R7-Reciclar	Procesamiento de corrientes mixtas de productos o corrientes de residuos postconsumo, incluida la trituración, fusión y otros procesos para capturar materiales (casi) puros. Los materiales no mantienen la estructura de su producto y se pueden volver a aplicar en cualquier lugar. El reciclaje primario ocurre B2B, mientras que el reciclaje secundario ocurre después de la recolección municipal.
R8-Recuperar	Captar la energía incorporada en los residuos, vinculándola a la incineración en combinación con la producción de energía.
R9-Reminería	reducir el volumen de residuos mediante, por ejemplo, su incineración y la recuperación de terreno, siendo generalmente posible pero limitada la producción de materiales reciclados

Tabla 14. Opciones de retención de valor. Traducida de Campbell et al. (2020).

3.2.2 Responsabilidad ampliada del productor y EC

Una de esas prácticas más veteranas de EC es la EPR, que se define como “una estrategia de protección ambiental para alcanzar un objetivo de disminución del impacto ambiental total de un producto, al hacer que el fabricante del producto sea responsable de todo el ciclo de vida del producto y especialmente para la recogida, reciclaje y retirada final del producto” (Lindhqvist, 2000, p. 37). Fundamentalmente, el concepto implica integrar la responsabilidad en todo el ciclo de vida del producto, donde las responsabilidades de gestión de los residuos físicos y monetarios (generalmente asignadas a las autoridades y los consumidores) se transfieren a los productores y fabricantes.

La EPR surgió en la década de 1990, basándose en las experiencias de los gestores de residuos, los recicladores y un enfoque político preocupado por promover iniciativas de producción más limpia (Lindhqvist, 2000). Estos desarrollos ilustraron el papel más proactivo que desempeñaron los actores del sector privado en estos primeros sistemas de EC, otorgándoles una mayor responsabilidad por la administración de sus productos. Estas configuraciones "público-privadas" representaron nuevos programas de dirección practicados por los gobiernos, a diferencia de la política de gestión de residuos convencional de años anteriores (CE 1.0) (Reike et al., 2018; Vermeulen y Weterings, 1997).

Como se ha comentado, la EPR se basa en el "principio de que quien contamina paga", incentivando a los productores a prevenir la generación de residuos, mientras (supuestamente) fomenta el diseño

ecológico y apoya los procesos de fin de vida apropiados, p. Ej. promover actividades de reciclaje y reutilización (Deutz, 2009; Ferrao et al., 2008). Sin embargo, estudios anteriores muestran que las actividades de EPR se centran abiertamente en las actividades de fin de vida, negando una perspectiva de ciclo de vida integrado que persigue la mejora continua y un mayor rendimiento ambiental a través, por ejemplo, de la elección de materiales y el diseño de opciones de desmontaje (Vermeulen y Weterings, 1997). La UE ha encomendado la responsabilidad de la eliminación de vehículos, baterías y acumuladores, residuos eléctricos y electrónicos a los productores, mientras que la mayoría de los estados miembros han implementado adicionalmente una organización de responsabilidad del productor para procesar neumáticos usados (Deutz, 2009; Comisión Europea, 2014; ETRMA, 2015; Winternitz et al., 2019). Los Estados miembros deben asegurarse de que sus esquemas de EPR tengan una acogida adecuada y esquemas accesibles.

3.2.3 Tratamiento para neumáticos y Jerarquía R.

Los neumáticos son materiales termoendurecibles, lo que dificulta la recuperación del material debido al proceso de vulcanización durante la fabricación (ver Adhikari et al., 2000; Medina et al., 2018). Los neumáticos son una combinación de caucho sintético y natural, negro de carbón, compuestos elastoméricos, cables de acero y fibras textiles, además de otros varios compuestos orgánicos e inorgánicos (Torretta et al., 2015). Los compuestos naturales y sintéticos actúan como selladores, mientras que las cuerdas de fibra y acero dan estructura y soportan tensiones (Feraldi et al., 2013).

Existen varias prácticas de tratamiento principales para los neumáticos EoL, ver Tabla 15. En primer lugar, la reutilización del producto (R2), que implica la venta directa de un neumático cuya banda de rodadura todavía es lo suficientemente profunda para un uso seguro. En segundo lugar, recauchutado (R5), que implica la sustitución de la banda de rodadura exterior de un neumático, cuando su estado general es insuficiente. La reutilización (R6) de un neumático para usos alternativos, para los cuales no fue diseñado originalmente, como la protección de pistas de carreras, materiales para obras de arte, columpios, etc. La molienda (R7) implica la trituración y granulación del neumático para extraer caucho y otros componentes, como acero y fibras textiles (Aiello et al., 2009; Landi et al., 2018a, 2018b). La molienda produce caucho de calidad relativamente baja, lo que significa que solo un pequeño porcentaje (1-5%) se puede usar en neumáticos nuevos. La desvulcanización (R7), que como se ha comentado ya, es un proceso tecnológico donde el caucho se recicla químicamente para obtener caucho de mayor calidad que se puede utilizar en mayor porcentaje en neumáticos nuevos (hasta 30%) (Myhre et al., 2012). Sin embargo, esta tecnología aún no es comercialmente viable y no se ha implementado a gran escala (Saiwari et al., 2019). Finalmente, la pirólisis (R8) es el uso de altas temperaturas (sin oxígeno) y aditivos químicos, para la recuperación de energía, negro de humo, carbón activado, aceite y acero de los NFU; si se gestiona bien, el proceso puede tener emisiones relativamente bajas (Myhre et al., 2012; Myhre y MacKillop, 2002; Sienkiewicz et al., 2012). Además, la incineración (R8) implica la quema de neumáticos con oxígeno para la recuperación de energía (a menudo para hornos de cemento y otros hornos industriales); este proceso es menos complejo que la pirólisis, pero crea una cantidad significativa de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire (Myhre y MacKillop, 2002), lo que la convierte en menos sostenible.

R_principios	Descripción
R0-Rechazar	Mediante la reducción de la propiedad de vehículos y el uso de modos de transporte alternativos
R1-Reducir	Mediante extensión de vida útil
R2_Revender/Reusar	Reutilizar neumáticos desechados que sean seguros y funcionales
R5-Refabricar	Mediante recauchutado de neumáticos desechados funcionalmente aptos
R6_Reutilizar	Reutilizar sin o con menos tratamiento físico o químico
R7-Reciclar	Mediante procesos que incluyen desvulcanización y trituración.
R8-Recuperar	Recuperación de energía por pirólisis o incineración

Tabla 15. Jerarquía "R" para el caso de neumáticos. Traducida de Campbell et al. (2020).

Si bien la noción de "jerarquía R" puede presuponer un conjunto prescriptivo y preferible de operaciones de recuperación, estas solo se relacionan con los atributos del producto o material y no tienen en cuenta factores contextuales y de sistemas más amplios, p. Ej. la recuperación de energía que podría significar una estrategia R más baja, podría ser preferible en algunos contextos y condiciones. La decisión sobre la opción de tratamiento más eficaz generalmente se puede determinar mediante la realización de un análisis del ciclo de vida (ACV). Varios estudios han explorado esta cuestión exacta en diferentes contextos nacionales (Corti y Lombardi, 2004; Clauzade et al., 2010; Li et al., 2010; Fiksel et al., 2011; Feraldi et al., 2013; Ortíz-Rodríguez et al., 2017). Existe un amplio consenso en que la recuperación de energía como combustible solo puede capturar hasta el 40% de la energía incorporada en los neumáticos (Amari et al., 1999). Sin embargo, estas evaluaciones difieren en términos de geografía y alcance, no están estandarizadas, son difíciles de comparar y, en general, muestran resultados contradictorios e inconsistentes. Esto apunta a la necesidad de la realización de ACVs regionales (sociales) más estandarizados e imparciales, con datos locales, que puedan informar a los sistemas EPR específicos sobre la mejor opción de recuperación y tratamiento en cada caso.

Los nuevos modelos de negocio de EC basados en la 'economía del rendimiento', como los sistemas de productos y servicios (PSS), que promueven el alquiler de productos, fomentando en el consumidor la idea consumir el producto en lugar de poseerlo, podrían facilitar opciones de retención de alto valor (Camilleri, 2018; Kjaer et al., 2019; Stahel, 2010). De hecho, las empresas que mantienen la propiedad de sus neumáticos están incentivadas a diseñar neumáticos duraderos (R1), reutilizables (R2), recauchutables (R6) y reciclables (R7). Sin embargo, este no es siempre el caso, y se necesita una regulación estricta y una gestión cuidadosa ante posibles efectos de rebote para garantizar que el PSS conduzca a resultados ambientales positivos (Demyttenaere et al., 2016; Hobson y Lynch, 2016; Junnila et al., 2018).

3.3 Análisis e implicaciones futuras

Como se ha comentado anteriormente, el sistema holandés cumple los estándares mínimos y los objetivos establecidos en los PAL de 2003, así como los objetivos voluntarios de los PRO. Sin embargo, también tiene muchos obstáculos, debilidades y limitaciones clave tanto desde la perspectiva de la EC 2.0 como desde la EC 3.0. Los autores describen estos desafíos y proponen recomendaciones que, después de una cuidadosa adaptación, también podrían proporcionar información útil para los EPR nuevos y existentes en otros países:

Recomendaciones desde una perspectiva de la EC 2.0:

1. Promoción de la recuperación de mayor valor: en los Países Bajos se demuestra un gran enfoque en el reciclaje, sin embargo, el reciclaje de neumáticos produce actualmente granulado de baja calidad que no se puede utilizar en grandes cantidades en neumáticos nuevos. Este enfoque en la recuperación de material es, por tanto, una forma de reciclaje descendente, que no permite cerrar los bucles de recursos. En su lugar, se debe dar mayor prioridad a otras opciones de recuperación como la reventa, el recauchutado y la reutilización. Además, debe fomentarse el ecodiseño para que los NFU sean más fáciles de refabricar y reciclar y para que los neumáticos nuevos puedan contener mayores cantidades de caucho granulado sin comprometer su calidad. En este sentido, sería necesaria una mayor inversión en I+D y podría ser implementada por la obligación de utilizar un porcentaje de la tasa a la gestión de residuos para financiarla. Se puede establecer un fondo autónomo o establecido por el gobierno para administrar esta parte de la tarifa para financiar innovaciones transformadoras y disruptivas. Otra opción es establecer una tarifa diferenciada basada en la sostenibilidad de los neumáticos (durabilidad, reciclabilidad, porcentaje de contenido reciclado, etc.) para incentivar el ecodiseño y la innovación en el mercado.

2. Gestión de las exportaciones: como ya se comentó, en los Países Bajos un gran porcentaje de los NFU se exporta para su reutilización y recauchutado (alrededor del 33% en 2017). Si bien estas son opciones de recuperación de alto valor, en teoría, la falta de monitoreo sobre el destino de estos neumáticos no garantiza una recuperación ambientalmente segura. Por lo tanto, es clave establecer mecanismos para evitar que se produzcan exportaciones y tener una mayor supervisión sobre el destino de las exportaciones y la eliminación final de los neumáticos. Esta es una cuestión crítica ya que los neumáticos pueden producir impactos adversos para la salud humana y ambiental si no se reciclan adecuadamente (Li et al., 2010; Verschoor et al., 2018) Sin embargo, controlar las exportaciones y seguir los neumáticos a través de sus múltiples usos y propietarios es un proceso complejo. Una posible solución a este problema sería sensibilizar a los consumidores y mejorar el proceso de inspección anual del automóvil para que los neumáticos no se desechen antes de que alcancen la profundidad mínima de la banda de rodadura. Esto mantendría los neumáticos en uso por más tiempo, mejoraría su valor para los clientes y evitaría que se exportaran, mejorando la reducción de emisiones e impactos derivados del transporte. La medida anterior tendría que combinarse con controles estrictos sobre la exportación de neumáticos de segunda mano para que los neumáticos con una profundidad de dibujo por debajo del estándar mínimo no se exporten para su reutilización directa. Además, debería reforzarse la aplicación de los controles de exportación de neumáticos usados para que no se exporten a países que no cumplan con las normas sociales y medioambientales holandesas.

Recomendaciones desde una perspectiva CE 3.0:

1. Alcanzar las opciones de retención de mayor valor (R0, R1): tener neumáticos más duraderos es quizás una de las estrategias más importantes, que puede conducir a mejoras significativas en la sostenibilidad, ya que reduce directamente el consumo total de neumáticos (R1 - reducir). Hasta ahora, el sistema EPR actual no ha hecho nada a este respecto, y el consumo de neumáticos ha aumentado entre 2004 y 2017. El PRO podría trabajar directamente con los fabricantes e importadores de neumáticos para diseñarlos de una manera que garantice su durabilidad. Esto tiene el beneficio adicional de reducir la cantidad de recursos gastados en la gestión de NFU más adelante en el ciclo de vida del producto. Las campañas de concienciación entre los consumidores también pueden aumentar la vida útil de los neumáticos y se pueden realizar mediante una combinación de etiquetas de productos y campañas en los medios. Esta estrategia R1 ocupa el segundo lugar en la jerarquía de

retención de valor, lo que genera considerables beneficios, gracias a la reducción de la presión sobre los recursos naturales (caucho, hierro, fibras, etc.) y los impactos evitados de la producción, uso y eliminación de neumáticos. Un problema es que los fabricantes, centrados en mejorar las prestaciones de sus neumáticos realizan un diseño que aguas abajo dificulta seriamente su tratamiento, condicionando seriamente, por ejemplo, el reciclado de los mismos (ERTA, 2019). Ante estas circunstancias, la promoción del ecodiseño para conjugar prestaciones y gestión de residuos tras el uso se antoja fundamental.

Una estrategia aún más eficaz sería reducir el consumo de neumáticos reduciendo la necesidad de adquirirlos (R0 – rehusar/evitar). Esto podría lograrse mediante una planificación urbana y regional eficaz, así como políticas que fomenten el uso del transporte público, el ferrocarril, el ciclismo y la intermodalidad entre ellos. Sin embargo, estas políticas están más allá del alcance de un PRO y, por lo tanto, solo pueden ser establecidas por los gobiernos nacionales, provinciales y municipales. Esto muestra las limitaciones de los sistemas EPR en general, especialmente con las opciones de retención de valor más alto: R0 y R1. Para implementar estas medidas, un porcentaje de la tasa de contribución a la gestión de residuos se puede entregar a una agencia gubernamental o una institución autónoma responsable de reducir el consumo total de material y la huella ecológica. Por lo tanto, esta agencia podría desarrollar soluciones de transporte innovadoras que trabajasen para reducir la necesidad de neumáticos, como redes ferroviarias nacionales mejoradas y soluciones de planificación urbana sostenible.

2. Colaboración y gobernanza de múltiples partes interesadas: el sistema EPR existente carece de una conexión y colaboración efectivas entre los productores y recicladores de neumáticos. Esto inhibe la innovación de productos con respecto a la aplicación de caucho recuperado. Por lo tanto, el sistema EPR para neumáticos en los Países Bajos podría mejorarse integrando aún más a los miembros de recicladores, trituradores y procesadores con la asociación BEM. Esto reforzaría la colaboración en toda la cadena de valor y garantizaría que el sistema EPR no solo incentive opciones de recuperación de bajo coste.

El sistema de EPR holandés ha ignorado las consideraciones de gobernanza socialmente inclusiva. Varios expertos han señalado la importancia de estos aspectos para construir una EC justa y plenamente sostenible (Hobson y Lynch, 2016; Kirchherr et al., 2017; Merli et al., 2018; Millar et al., 2019; Moreau et al., 2017), que aborda cuestiones de propiedad intelectual, transferencia de tecnología, propiedad, métodos de producción, distribución de beneficios y participación en los procesos de toma de decisiones. Si bien el sistema EPR holandés tiene una estructura de gobernanza exitosa que incluye a todos los productores e importadores relevantes, no incluye las particularidades más allá de los miembros directos de la industria. Esto reduce la capacidad de supervisión democrática, transparencia y rendición de cuentas, lo que conduce a resultados ineficaces en términos de opciones de recuperación y salud humana y ambiental. Para mejorar esto, es clave fomentar una mayor participación de la sociedad civil y las autoridades públicas en la gobernanza, supervisión y gestión del sistema EPR. Esto se puede lograr obligando a la Asociación BEM a incluir un cierto porcentaje de miembros de la sociedad civil, que representan los intereses de los ciudadanos y el medio ambiente natural. Esto obligaría al sistema EPR a considerar y abordar preocupaciones sociales y ambientales más amplias y mejoraría la transparencia general y la responsabilidad del sistema.

3. Supervisión efectiva y mejora continua del sistema de EPR: considerando que los objetivos de recolección no se han ajustado desde 2003 y siguen estando vagamente definidos, es clave actualizar los objetivos y explorar la dirección futura del sector. De hecho, los objetivos de recuperación

establecidos no solo no son lo suficientemente ambiciosos, sino que ya se cumplieron en el año en que se establecieron.

Establecer metas renovadas es particularmente importante ya que el sistema actual promueve una tarifa de contribución de gestión de residuos estándar y generalmente baja, lo que ha incentivado las opciones de recuperación de bajo coste y baja calidad sobre las de mayor retención de valor. Además, el sistema de monitoreo existente informa solo de los volúmenes recolectados y los procesos de tratamiento. Esto deja lagunas en los datos sobre cómo se utilizan los materiales recuperados y cuál es el destino final de los neumáticos exportados, todo lo cual puede ocultar prácticas insostenibles.

Por lo tanto, la regulación y la supervisión del sistema EPR a través de una política gubernamental eficaz, la supervisión de la sociedad civil y la mejora continua de los objetivos y los incentivos para las opciones de retención de mayor valor (especialmente R0-R6) es, por lo tanto, clave. Además, es necesario revisar las formas en que se eligen las mejores opciones de procesamiento (incluido el procedimiento de selección para los operadores de gestión de residuos) y las formas en que se llevan a cabo las inversiones para lograr mejoras continuas en nuevas opciones de recuperación (por ejemplo, I+D en desvulcanización o pirólisis). Un mejor monitoreo, transparencia, supervisión y participación de la sociedad civil en estos procesos es clave para asegurar la mejora continua del sistema EPR y para promover prácticas de diseño y recuperación social y ambientalmente sostenibles.

4. Mejorar los resultados sociales y ambientales generales más allá de los NFU: las consecuencias de los usos potencialmente dañinos para el medio ambiente del caucho granulado muestran la debilidad de centrarse únicamente en la recuperación, en lugar de hacerlo en los resultados reales de sostenibilidad. También plantea la pregunta, con respecto a la gobernanza de la cadena de valor ampliada, de si los productores deberían tener una responsabilidad continua más allá del primer procesamiento del producto. Dichas capacidades ampliadas deberían realizarse solo después de un ACV regional imparcial, no conflictivo, dirigido a maximizar la circularidad, la justicia social y la sostenibilidad. De hecho, en situaciones tan complejas, tener una investigación clara y datos a mano es vital para planificar las mejores opciones de recuperación posibles teniendo en cuenta la salud humana y ecológica. Además, debe establecerse e implementarse un plan para mejorar los resultados de sostenibilidad de toda la cadena de suministro de neumáticos en coordinación con una estructura de EPR más democrática e inclusiva. Esto puede garantizar que el sistema EPR no solo recicle NFU, sino que también genere mejoras tangibles en términos de resultados socioecológicos y demanda de materias primas. El objetivo general de una EC no es solo cerrar los circuitos de recursos, sino reducir la presión de las actividades humanas en el planeta para garantizar el bienestar de las generaciones actuales y futuras (Kirchherr et al., 2017; Korhonen et al., 2018). Por tanto, un sistema de EPR debe entenderse como un componente de un objetivo de política más amplio, cuyo objetivo es reducir de manera sostenible y equitativa la huella ambiental general de un país.

5. Modelos de negocios circulares: se podría alentar el servicio circular o los modelos de negocio de alquiler basados en el rendimiento de los neumáticos, en lugar de vender grandes cantidades de neumáticos, para incentivar un mantenimiento de mayor valor para productores y consumidores (Stahel, 2010). De hecho, en las condiciones adecuadas, un PSS puede conducir a una EC sostenible, tal y como se comentó anteriormente.

Las brechas identificadas y estas soluciones propuestas brindan una oportunidad para que la organización EPR pase de ser una entidad de gestión de NFU a un verdadero impulsor de la circularidad, desempeñando un papel transformador al abordar los desafíos sociales y ambientales

contemporáneos. En esta transición, el sistema debe ser más inclusivo, democrático y adaptable a la introducción de mejoras continuas. Los sistemas existentes están fragmentados, hacen una gestión aislada de los NFU y deberían integrarse para trabajar colectivamente y con mayor transparencia.

Las recomendaciones antes mencionadas están en línea con las de la directiva de residuos de la UE actualizada, que pide que los sistemas de EPR incluyan requisitos de diseño ecológico para reducir los impactos ambientales, así como para mejorar la transparencia, la presentación de informes, el seguimiento y la colaboración con la sociedad civil. Por lo tanto, ahora existe una oportunidad única para revisar el sistema de EPR holandés a través de estrategias holísticas de EC 3.0, que conduzcan a un mejor bienestar humano y funcionamiento del ecosistema.

En esa línea, a continuación, se detalla la evolución exigida por el marco legislativo en la UE y en España. Si la Directiva europea 2006/12/CE establecía que el coste de la gestión de residuos debía recaer sobre el productor de residuos original o sobre los poseedores de residuos actuales o anteriores, la Directiva 2008/98/CE describía la jerarquía de residuos a considerar y priorizar: prevención, preparación para la reutilización, reciclaje, otras recuperaciones (por ejemplo, recuperación de energía), y eliminación responsable. Esta última directiva permitía que los estados miembros tomaran medidas para fomentar las opciones que ofrecieran el mejor resultado ambiental en cada caso. En particular, las medidas que afectan a la gestión de NFU incluyen la reutilización (incluido el recauchutado de neumáticos), el reciclaje o la recuperación de energía. la Directiva 2018/851, de 30 de mayo de 2018, que modificó la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos introduce aspectos más ambiciosos acerca de la gestión de estos últimos en la Unión Europea. Así, indican que dicha gestión debe mejorarse y transformarse en una gestión sostenible de las materias con miras a proteger, preservar y mejorar la calidad del medio ambiente, así como a proteger la salud humana, garantizar la utilización prudente, eficiente y racional de los recursos naturales, promover los principios de la economía circular, mejorar el uso de la energía renovable, aumentar la eficiencia energética, reducir la dependencia de la Unión de los recursos importados, crear nuevas oportunidades económicas y contribuir a la competitividad a largo plazo.

Finalmente, y en la misma línea, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) aprobó el nuevo Real Decreto 731/2020 “que acelerará la transición del sector de los NFU hacia un modelo de economía circular”. Además, entre otras cuestiones, prohíbe el depósito en vertederos de los neumáticos de gran tamaño, cuestión hasta el momento permitida, y prioriza que la reutilización de los neumáticos, definiendo las condiciones que deben reunir los neumáticos de segundo uso y los recauchutados para su comercialización.

El nuevo Real Decreto 731/2020 modifica el Real Decreto 1619/2005 sobre la gestión de NFU, “para lograr una gestión más eficaz de este residuo y consolidar los progresos implementados en su gestión a lo largo de los quince años de vigencia de la normativa. Se trata de un paso previo a la adaptación a los nuevos requisitos de la responsabilidad ampliada del productor que se introducirán a través de la trasposición de la nueva Directiva (UE) 2018/851 sobre la materia, para la que el Gobierno está tramitando el anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados.

El nuevo Real Decreto 731/2020 contiene varias medidas encaminadas a mejorar la eficiencia y los resultados del sistema de gestión de los neumáticos fuera de uso. Entre ellas, destacan:

- la prohibición del depósito en vertederos de los neumáticos de gran tamaño, con diámetro superior a 1.400 milímetros, y su incorporación al sistema de gestión bajo la responsabilidad

ampliada del productor. Con esta modificación, todos los neumáticos de reposición –a excepción de las ruedas de las bicicletas- pasan a ser objeto de gestión para su reutilización o reciclado.

- se da prioridad a la reutilización de los neumáticos usados que se gestionen. Con el objeto de facilitarlo, el Real Decreto define las condiciones que deben reunir tanto los neumáticos de segundo uso como los recauchutados para su posterior comercialización. Asimismo, la norma detalla la información que debe suministrarse sobre ellos al consumidor, preferiblemente de forma electrónica.
- la definición, para cada año y en cada Comunidad Autónoma, de las responsabilidades de recogida y gestión que corresponden a los sistemas colectivos de responsabilidad ampliada del productor, lo que evitará problemas de acumulación y retrasos en la recogida de los residuos en los puntos de generación. Esta información resultará de especial utilidad a las autoridades competentes en sus tareas de supervisión y control de las operaciones que integran el flujo de gestión de este residuo.

Estas mejoras introducidas redundarán en un mayor control y trazabilidad de la gestión, lo que ayudará a evitar la acumulación de los NFU y, en definitiva, a mejorar la protección del medio ambiente.

Hay que destacar que, con el objeto de incluir en los sistemas de gestión al mayor número de neumáticos usados posible, el Real Decreto amplía las actuales obligaciones de gestión que corresponden a los productores de los neumáticos. De un lado, la norma establece que los productores quedan obligados a gestionarlos cuantas veces sea necesario hasta su completa valorización, incluyendo la gestión del neumático si vuelve a ser comercializado como producto de segunda mano o recauchutado. Y, de otro, amplía la definición de productor de neumático a aquellos fabricantes de neumáticos recauchutados en España sobre carcasas importadas y a los importadores de neumáticos de segunda mano o recauchutados, lo que les convierte en sujetos de la responsabilidad ampliada de la gestión de los NFU. También tendrán que cumplir con dichas obligaciones los Centros Autorizados de Tratamiento (CAT) para los neumáticos procedentes de los vehículos para los que no dispongan de justificación de su gestión. Hasta el momento, no estaban sujetos a ella.

Con el objeto de que el conjunto de los NFU sea gestionado, el Real Decreto habilita al MITECO para definir los criterios que permitan la asignación de la responsabilidad que corresponde a cada sistema colectivo de responsabilidad, y a su publicación en la web de los valores correspondientes antes del 15 de marzo de cada año.

Con este segundo conjunto medidas, el Real Decreto 731/2020 busca resolver los problemas de gestión que surgen cuando se sobrepasan las cuotas asignadas a cada sistema colectivo de responsabilidad, debido a la existencia de neumáticos –por ejemplo, los neumáticos preparados para su reutilización-, que hasta ahora no computaban en la responsabilidad de los productores.

3.4 Discusión y Conclusiones sobre EPR y EC.

El trabajo de Campbell et al. (2020) examina y evalúa la estructura, la organización, el desempeño y las limitaciones potenciales del sistema EPR holandés como un caso de estudio para explorar cómo sistemas de EC 2.0 más veteranos pueden adaptarse y satisfacer las preocupaciones sociales más amplias incluidas en los debates actuales de EC 3.0 (es decir, preocupaciones sobre suministro de recursos, límites planetarios, generación de residuos, impactos sociales, etc.). Este estudio aporta una

comprensión práctica de la relación entre EPR y EC, y la capacidad de la primera para contribuir a la segunda.

A pesar de que el caso holandés representa un ejemplo exitoso de iniciativas de EC 2.0 y el cumplimiento de las obligaciones de la legislación nacional, este análisis detectó siete limitaciones y problemas que pueden ser la base para modificar y crear un EPR que satisfaga las necesidades de la EC 3.0. Los sistemas EPR actuales de EC 2.0 pueden lograr altas tasas de recuperación, pero no reducen el consumo general de recursos ni promueven la circularidad total, en línea con lo planteado por la EC 3.0. Por lo tanto, este trabajo sugiere fortalecer el sistema EPR proponiendo una perspectiva transformadora a largo plazo, que puede abordar cuestiones relativas a la transparencia, inclusión, suficiencia, sostenibilidad y mejora continua. Estas lecciones podrían aplicarse a diferentes contextos y corrientes de residuos con una cuidadosa investigación y adaptación. Además, dadas las características del sistema EPR holandés y dado que la circularidad en los Países Bajos está intrínsecamente ligada a una circularidad europea y global, cualquier exportación debería controlarse y regularse estrictamente para garantizar la retención de alto valor y la sostenibilidad.

Esta investigación desvela los límites del reciclaje y las operaciones de recuperación tradicionales. La EC se caracteriza a menudo como una herramienta para cerrar los bucles de recursos y convertir los desechos en recursos. Sin embargo, las opciones de recuperación de baja calidad complican esto, ya que un circuito cerrado para neumáticos no se puede establecer simplemente con las tecnologías actuales. Si bien la desvulcanización podría mejorar los resultados de recuperación, no es comercialmente operativa a gran escala y solo permite el uso de hasta un 30 % de caucho secundario en neumáticos nuevos; todavía lejos de representar un circuito cerrado. Esto muestra los límites de R3-10 y la importancia de implantar estrategias de suficiencia, especialmente R0-1 para alcanzar una EC con resultados tangibles en términos de reducción de la demanda de material y huella ecológica. Los puntos anteriores están más allá del alcance del trabajo realizado por Campbell et al. (2020) y demuestran la complejidad de la EC y la necesidad de estudios de casos específicos para mejorar su gestión e implementación.

Cabe mencionar que los conocimientos y recomendaciones extraídos del trabajo de Campbell et al. (2020) se limitan a la recuperación de neumáticos en los Países Bajos, y se necesita más investigación en otros contextos para desarrollar recomendaciones específicas y mejor adaptadas culturalmente para cada caso. En particular, la investigación multidisciplinar con actores y partes interesadas clave podría ser una forma eficaz de construir soluciones para una revisión sostenible, circular y participativa de los sistemas de EPR.

También es necesario un análisis comparativo futuro de los sistemas EPR de la UE para descubrir cómo interfieren entre sí en el contexto del mercado único. Un estudio más amplio también podría proporcionar más información sobre los problemas y desafíos estructurales para los sistemas EPR en general y descubrir otras mejores prácticas posibles para los sistemas EPR desde una perspectiva de EC.

4. Gestión de NFU en España a principios del s. XXI

6. Gestión de NFU en España en la primera década del s. XXI.

Para finalizar, se describen las acciones desempeñadas en España para la mejora de la gestión de NFU durante la primera década del presente siglo. En España existen dos SIG que se estructuran bajo el esquema EPR: SIGNUS y TNU. El primero era en 2010 el responsable de aproximadamente el 90% de la recogida toral de NFU. Esa cuota de mercado en 2020 bajo al 70% dado el paulatino crecimiento experimentado por TNU.

Uruburu et al (2013) describían el sistema español recogiendo datos únicamente de SIGNUS. Así, afirmaban que en comparación con el del resto de la UE presentaba un número relativamente mayor de puntos de recogida y el valor más bajo de toneladas recogidas por punto de generación, destacando la necesidad de emprender acciones para mejorar la eficiencia general del sistema. En este sentido, se apuntaba al desarrollo de un nuevo modelo de recogida más eficaz. Además, los expertos mencionaban que sería necesaria una mayor coordinación entre los SIG de neumáticos europeos para llevar a cabo una evaluación comparativa de la operativa que permitiera a cada país implementar las buenas prácticas empleadas por otros.

En paralelo, el sistema EPR español SIGNUS continuaba trabajando para optimizar los costes y procesos de gestión, tratando de mantener un equilibrio entre el volumen de NFU y la capacidad de recuperación del sistema, buscando usos finales para los neumáticos que se adaptasen a las circunstancias reales del mercado.

Por otra parte, la recuperación de NFU en aplicaciones innovadoras se estableció como un objetivo clave por parte de la dirección de SIGNUS. Aunque los volúmenes gestionados hace una década eran solo anecdóticos (3.808 toneladas en 2010), se esperaba un gran crecimiento en el futuro. Hace diez años ya se estaban monitoreando muchos usos diferentes, algunos de los cuales mostraban ya resultados prometedores.

El SIG español se mostraba proactivo planteando planes de prevención de EoL. Estos planes se entendían entonces como una herramienta fundamental para el cumplimiento de la prevención de la generación de NFU y el fomento de la reducción, el reciclaje y otras formas de recuperación con el fin de proteger el medio ambiente. SIGNUS realizaba la labor de elaboración y seguimiento de estos planes, cuyo principal objetivo era identificar los mecanismos para: (a) alargar la vida útil de los neumáticos, (b) facilitar la reutilización, (c) facilitar el reciclaje y otras formas de recuperación e (d) incorporar medidas de prevención que se podían adoptar a lo largo de las diferentes fases del ciclo de vida del neumático (es decir, diseño, producción, distribución y consumo).

Además, con el firme compromiso de gestionar con éxito las fases de control y seguimiento del plan, SIGNUS estaba llevando a cabo (a) el registro de resultados de las medidas tomadas, (b) la identificación de posibles cambios de tendencia derivados de cambios de legislación en todas las fases del ciclo de vida de los neumáticos, así como los avances tecnológicos y el desarrollo de nuevos mercados de recuperación y (c) el análisis de tendencias, basado en información publicada por organismos medioambientales de prestigio y por los sectores del caucho y de los neumáticos.

El lanzamiento de planes de prevención demostraba el compromiso preventivo de las empresas afiliadas a SIGNUS y la firme intención de la empresa de llevarlos a cabo, aunque la responsabilidad de implementar las medidas de prevención recayera en última instancia en cada empresa afiliada.

Asimismo, SIGNUS, consciente de que las campañas de concienciación y comunicación públicas son cuestiones clave para una gestión ambientalmente racional de los residuos, continuaba el progreso de años anteriores y estaba aumentando constantemente su relación con organismos nacionales e internacionales, presencia en los medios y cooperación con los diferentes actores.

Las actividades no operativas del SIG español incluían también su participación en una serie de proyectos de I+D que tenían como principal objetivo el desarrollo de nuevas aplicaciones para los materiales obtenidos de los NFU. El más relevante fue el uso de materiales de NFU en hormigón.

El SIG español se preocupaba por descubrir y promover nuevas formas de recuperación que, lejos de estar atadas a la errónea y peligrosa noción de que el uso de materiales reciclados debe ser subvencionado, o requiere fondos públicos, pretendían que sean autosuficientes, lo que les permitiría salvaguardar el futuro de la cadena de valor de los NFU. Según el estudio de Uruburu et al. (2013), el SIG español estaba involucrado en varios proyectos sobre ese tema y planeaba seguir dedicando más recursos a ese fin.

Además, se estaba realizando una importante inversión en el área de sistemas de información con el fin de lograr una mejor gestión de la información operativa; mejor soporte a usuarios, clientes y proveedores; para tener datos económicos y financieros rápidos y fiables a disposición del SIG. Esta herramienta estratégica aportaría una gran credibilidad al modelo y sería la base de los informes de gestión que se enviaban periódicamente a las autoridades.

Los autores descubrieron que la estrategia de comunicación de la empresa española carecía de una herramienta estandarizada que respaldase este enfoque de cooperación con los SIG europeos, aunque la Asociación Europea de Fabricantes de Neumáticos y Caucho (ETRMA) estaba apoyando a los SIG en esos temas que requieren un trato directo con las instituciones europeas (por ejemplo, lograr el estado de fin de desperdicio para los neumáticos EoL).

Así, si bien los planes de prevención reforzaban la implantación de las medidas de prevención y facilitaban el reconocimiento e identificación de las medidas ya adoptadas por las empresas del sector por iniciativa propia, era necesario reforzar el concepto de prevención en otros ámbitos para optimizar los resultados. Con respecto a la reciclabilidad, SIGNUS estaba haciendo un esfuerzo significativo para desarrollar mercados de recuperación orientados al uso de caucho en mezclas bituminosas para pavimentos de carreteras y otras aplicaciones industriales.

En cuanto al papel de los SIG en esta área de prevención, es interesante señalar que la capacidad de adoptar medidas de prevención siempre es mayor para los fabricantes que para el resto de actores, ya que sientan las bases del producto y pueden influir en cuestiones a lo largo del ciclo de vida del neumático. En cualquier caso, se destacaba el firme compromiso de SIGNUS en las fases de control y seguimiento, además de su liderazgo global en los planes de prevención.

6.1 Discusión y Conclusiones sobre las acciones emprendidas

En este contexto, el caso español era considerado especialmente relevante por los autores por (a) su dimensión (9% del total de neumáticos EOL EU27), (b) su generación de neumáticos EOL específicos y atomizados y la red de recogida `` puerta a puerta '' (con 34.357 puntos de recogida en 2011), (c) los rápidos avances realizados en la correcta gestión de los NFU al 100% y (d) la forma en que el SIG afrontaba de forma proactiva los nuevos retos.

Aunque el principio de responsabilidad ampliada del productor está ampliamente establecido en todo el territorio español en lo que respecta a los NFU, las prácticas de importación ilegal (y no declarada) de neumáticos y las ventas incontroladas por Internet siguen siendo cuestiones importantes por resolver. Necesitan una fuerte implicación de las autoridades locales, no solo en España sino también en los países vecinos. En cuanto a la jerarquía de residuos a considerar y priorizar, el estudio mostraba cómo el SIG está llevando a cabo una amplia gama de actividades para encontrar nuevos usos técnica y económicamente viables para los NFU, especialmente en la categoría de reciclaje y material de recuperación.

Considerando el área de prevención de residuos de la Directiva y los planes y programas a desarrollar por cada miembro de la UE, el SIG destacaba la promoción y búsqueda de aplicaciones innovadoras y de recuperación, entre las que destacaba el esperado y alentador aumento del 250% en el uso de polvo en mezclas asfálticas.

Cabe destacar que el compromiso del SIG español con los grupos de interés externos e internos se describía en diversas actividades de comunicación y campañas publicitarias. El compromiso a la hora de implementar planes locales de gestión de residuos era uno de los principales requisitos señalados en la Directiva en vigor por aquel entonces.

Al contrastar las políticas de gestión aplicadas, el desarrollo de planes futuros y los resultados obtenidos desde su fundación, se podía concluir que SIGNUS estaba bastante bien alineada con la visión estratégica y los objetivos establecidos en el marco de la legislación europea del momento.

Además, el SIG español demostraba ser un instrumento eficaz para la gestión de NFU. Se consideraba ejemplar a nivel internacional por la forma en que abordaba el difícil desafío de ''convertir los residuos en un recurso'' de la manera más económica posible y con las máximas garantías ambientales, aunque las demandas de un entorno en continuo cambio obligaban a la empresa a buscar continuamente nuevos recursos y contramedidas para superar las dificultades.

A principios de siglo, el principal desafío para el futuro a medio plazo, no solo para España, sino también para toda la industria europea del neumático, era establecer el fin del estado de residuo de los productos derivados del neumático.

Así, el IMS español también se involucraba en los planes de acción estratégicos desarrollados para lograr ese objetivo, como las actividades de estandarización de la calidad del material de los NFU, realizando evaluaciones de ciclo de vida actualizadas que demostrasen el grado de beneficios ambientales de las operaciones de reciclaje y valorización, y mostrando cómo un producto de desecho podía convertirse en un recurso valioso, con un impacto ambiental aún menor.

Para finalizar, es importante destacar la creciente conciencia medioambiental entre los usuarios finales que ya se percibía hace una década, incluyendo el respeto por el medio ambiente cada vez más como criterio de compra. Este hecho podía facilitar la venta de neumáticos más respetuosos con el medio ambiente. Esta situación se podría ver favorecida por otro desarrollo interesante de los neumáticos, a saber, la introducción de un etiquetado que indicara la eficiencia del neumático en términos de consumo de combustible, ruido y otros parámetros.

5. Conclusiones Finales

7. Conclusiones Finales

La aplicación del análisis bibliométrico siguiendo las etapas clásicas del Tech Mining ha permitido conocer las principales tendencias de los términos más generales vinculados al tratamiento de los NFU, saber qué se está haciendo a nivel mundial y qué instituciones están detrás de cada trabajo.

En lo referente a tecnologías aplicadas para el tratamiento de NFU se obtiene un predominio indiscutible acerca de los procesos de pirólisis con un crecimiento significativo y sostenido en los últimos 20 años. Se trata de la tecnología más completa en cuanto a valoración material y energética de los NFU, aunque la necesidad de una elevada inversión en infraestructura limita mucho su implantación. Las firmas con mayor presencia en esta materia son Bridgestone, Continental, Cabot y Batelle, seguidas a mayor distancia por Michelin.

En lo relativo al aceite extraído tras procesos de pirolisis destacan por sus publicaciones científicas instituciones como Chulalongkorn University de Tailandia, Leeds University del Reino Unido, el National Institute of Technology indio y la Universidad del País Vasco (EHU). En la desulfurización de los aceites extraídos en procesos de pirólisis y a escala nacional destaca el trabajo realizado por la Universidad del País Vasco, a la que le sigue en número de patentes el CSIC y, a mayor distancia, las universidades de Castilla La Mancha y Zaragoza.

A pesar de la conveniencia de la desvulcanización como tecnología para la recuperación y regeneración del caucho de cara a cerrar el círculo y contribuir significativamente a la EC, el estudio ha desvelado una pobre evolución desde la última década. Lamentablemente, en la actualidad los resultados de recuperación que ofrece esta tecnología son todavía pobres, presentando problemas de contaminación y sin llegar a ser comercialmente viable. Aun así, actualmente destaca en número y variedad de publicaciones la Universidad estadounidense de Akron, seguida por la Universidad de Milano-Bicocca. Después vale la pena mencionar a la Universidad iraní de Ferdowsi, por sus aportaciones en procesos y agentes de desvulcanizado, junto con la aplicación de microondas.

De la búsqueda en artículos científicos por palabras clave, destaca el número de artículos publicados sobre uso de restos de neumáticos para obtener materiales verdes como el hormigón “engomado”, como aglutinante o como partículas y mezclas para asfalto. En menor medida, aparecen aplicaciones del betún y del modificador de caucho granulado (CRM) utilizado también en mezclas asfálticas. De entre las instituciones que realizan estas investigaciones destacan, por ejemplo, la Clemson University de Carolina del sur en EE. UU. y las universidades chinas Tinajin University y Changan University. A escala nacional destaca la Univeristat Politècnica de València con 7 aportaciones, siendo la segunda del mundo con mayor número de publicaciones relacionas con las partículas de caucho. Si el análisis se hace por países, China se presenta como el gran dominador seguida por EE. UU y, a mucha distancia, les sigue la India. Los países europeos tienen una destacada contribución en las aplicaciones de partículas de caucho, empleo de bitúmenes y residuos de neumáticos en general. Sin embargo, España está a la cola de los países con mayor presencia, con prácticamente la mitad de las aportaciones que su vecina Portugal. Si la agrupación se hace por continentes, el continente asiático lidera el ranking, seguido a mucha distancia por América del Norte. Dentro de la supremacía asiática, destacan sobre todo las aplicaciones para asfalto y cemento.

En lo relativo a la interacción y colaboración entre las instituciones dedicadas a la investigación de aplicaciones industriales de trozos y partículas de caucho, se puede observar una estrecha actividad entre la Universidad de Changan, la Clemson University, la Universidad de Hong Kong, y la Universidad

Tongji, convirtiéndose claramente en las universidades más conectadas y con mayor capacidad de realizar avances significativos en este campo.

La búsqueda desvela cuatro aplicaciones principales a partir de caucho reciclado ordenadas de mayor a menor número de registros de patentes como sigue: hormigones y cementos, fibras obtenidas del caucho, asfaltos y reutilización de cables de acero. Ha sorprendido el auge de las aplicaciones a partir de fibras, destacando las de vidrio y las de carbono sobre el resto. Se intuye que la considerable citación de fibras poliméricas está relacionada con el creciente interés en usar las partículas de caucho mezcladas con otros polímeros para obtener plásticos reciclados, cemento y hormigón.

Otro resultado interesante es el creciente uso de sílice sustituyendo al negro de humo como material de relleno más sostenible. Tanto es así, que desde 2017 hay más publicaciones sobre aplicación de sílice que sobre negro de humo en la literatura científica.

Se indagó acerca de las empresas líderes en las aplicaciones anteriormente mencionadas, encontrando siete organizaciones con actividad destacada en tres de las cuatro aplicaciones: KR, KIM IN JUNG, GK TECH INST CO LTD, KOREA HIGWAY AIRPORT TECH, HWANG, IK HYUN, DAEWOO ENGINEERING CO. y HYUNDAI MOTOR COMPANY. Cada una tiene su perfil, pero en general prevalece el interés por las aplicaciones en hormigón y cemento, seguidas por las patentes de aplicaciones realizadas para el asfalto, quedando las fibras en último lugar y a mucha distancia de las anteriores. Si se agrupan las empresas por países, existe un claro dominio de Corea, seguida de lejos, por Japón; únicos países que patentan en todas las aplicaciones, incluidos los cables de acero. Japón destaca además por tener a las fibras como principal interés. Les siguen a mucha distancia y con patentes en tres de las cuatro categorías los EE. UU. y Australia. Nuevamente el continente asiático es el gran dominador a nivel empresarial. En este sentido, entre los fabricantes de neumáticos hay que destacar el trabajo de Bridgestone, que lidera el registro de patentes en aplicaciones para asfalto y fibras.

En cuanto a los resultados del análisis TFIDF, destacan con mayor puntuación términos generales, seguidos con registros con alusiones a distintos tipos de materiales y a las distintas partes del neumático. En tercer lugar, aparecen registros vinculados a propiedades mecánicas de los materiales que componen el neumático y los términos relaciones con la polución y cuidado del medio ambiente. Esto último resulta interesante en la medida en que pone de manifiesto una conciencia ambiental cada vez mayor de las empresas, así como de la presión legislativa y social ejercida por la administración y sociedad en su conjunto.

Por último, en cuanto al análisis de términos, organizaciones, autores y países emergentes obtenidos a partir del método FUSE, con mayor número de registros y puntuación se encuentran términos vinculados a mejoras en los procesos de reciclados de neumáticos, mejoras en el proceso de pirólisis y empleo de nanotubos de carbón a partir de neumáticos reciclados. En cuanto a empresas, las ya mencionadas Bridgestone, Goodyear, Continental y Michelín destacan por sus elevados registros, y las universidades de Jiangsu y Tsinghua por su mayor puntuación. El ranking de expertos lo encabezan Li Zhaohe, Li Hongqi y Zhen Zhili, todos de la universidad de Beijing. Por último, entre los los países emergentes aparecen Jordania, Camboya, Dijiboouti y Kuwait.

Con todo, se puede concluir que el mayor interés y esfuerzo se haya actualmente en el continente asiático, quizá porque entre sus economías emergentes se encuentra China, país responsable de prácticamente el 40% de la producción de neumáticos a nivel mundial, viéndose los gobiernos obligados a resolver el problema ambiental que esto supone. En este sentido, se aprecia en los últimos

años un creciente interés en la mejora de tecnologías destinadas al reciclaje de NFU y en la búsqueda de aplicaciones que den salida a los stocks de caucho reciclado. Sin embargo, el interés por la recuperación y regeneración de caucho se encuentra todavía estancando, dados los pobres resultados que todavía ofrecen tecnologías como la desvulcanización. Es muy probable que con la creciente y constante presión legislativa y la búsqueda de mejorar la circularidad de la industria esta tendencia cambie en los próximos años.

Del breve estado del arte realizado sobre sistemas EPR se extrae que es el sistema de gestión más común para tratar los neumáticos de desecho en la UE. De los 27 estados miembros de la UE en la actualidad, 21 han implementado la EPR. Fuera de la UE, Noruega, Suiza y Turquía tienen EPR para NFU. Más allá de Europa, la EPR para neumáticos se vuelve menos popular, pero aún se puede encontrar en la mayoría de las provincias canadienses y algunos estados americanos, así como en Corea del Sur.

Del análisis de la implantación de EPR en tres de los casos más exitosos de la UE (Bélgica, Países Bajos e Italia) se puede concluir que el diseño básico de la mayoría de los sistemas EPR para NFU consiste en una obligación de devolución en combinación con una tarifa de eliminación avanzada. Los expertos coinciden en que la implementación de la tarifa visible resulta transparente para el consumidor y ayuda a detectar a los oportunistas.

En general, los principales objetivos de un sistema EPR son el aumento de la recolección de residuos, la reducción de residuos, la eficiencia de recursos y el ecodiseño. Lamentablemente, de los casos de estudio analizados en la UE se desprende que estos objetivos solo se alcanzan parcialmente, pues no hay evidencias de una reducción de residuos y en ningún caso se ha fomentado el ecodiseño entre los fabricantes de neumáticos.

Lo que es evidente es que la EPR reduce en todos los casos el vertido incontrolado y el almacenamiento ilegal, ayuda en la recolección de existencias históricas y promueve la eficiencia de los recursos aumentando el reciclaje. Asimismo, contribuiría en mayor medida a fomentar la eficiencia de los recursos si se proporcionaran objetivos legales específicos para la recuperación de materiales y energía. Esto lo corrobora el caso italiano, que no tiene objetivos legales de recuperación de material y exhibe la tasa de recuperación de energía más alta entre los casos de estudio. En esa misma línea, la EPR tiene el potencial de mover el tratamiento de NFU hacia arriba en la jerarquía de residuos. Sin embargo, la reutilización y el recauchutado son solo deseables desde el punto de vista medioambiental si se pueden aplicar en mercados locales. Para ello, es imprescindible definir objetivos imponiendo un límite a los métodos de tratamiento menos deseados (por ejemplo, recuperación de energía) para lograr los mejores resultados. Además, una definición clara de cuándo un neumático se convierte en residuo dentro de la legislación parece tener el potencial de maximizar la reutilización y el recauchutado local.

Los casos tanto de Italia como de los Países Bajos demuestran que un sistema EPR no garantiza el tratamiento de residuos de la forma más respetuosa con el medio ambiente. Resulta evidente que los PRO buscan la opción de tratamiento más económica dentro de su marco legislativo, por tanto, sería muy recomendable establecer claramente el tratamiento más deseado dentro de la legislación en cada caso en particular.

Se han identificado dos enfoques generales para configurar los sistemas EPR para neumáticos. Primero está el enfoque inclusivo de Bélgica, donde la legislación establece principios generales y los detalles

del sistema se acuerdan periódicamente con el sector. En segundo lugar, está el modelo italiano que cuenta con una legislación fuerte y clara que impone los objetivos del gobierno al sector.

Cabe destacar que la infraestructura municipal sigue siendo necesaria para la recogida, gestión de neumáticos eliminados ilegalmente y la reducción de existencias históricas (excepto en Italia) y sus costes no siempre están cubiertos por el sistema EPR. En ese contexto, ninguno de los sistemas EPR investigados logra transferir la carga financiera en su totalidad del contribuyente al que contamina (es decir, el fabricante de neumáticos y el usuario de neumáticos).

Fuera de la UE, a medida que han surgido más sistemas EPR en los países en desarrollo, se han observado muchos desafíos relacionados con su implementación. Algunos desafíos comúnmente reconocidos incluyen la ausencia de sistemas de gestión de residuos bien establecidos, reciclaje limitado, ausencia de partes interesadas importantes, mucha dependencia de incentivos financieros, existencia de un gran sector informal, así como requisitos reglamentarios e institucionales débiles. Las investigaciones de los sistemas EPR de residuos electrónicos en China, Tailandia e India señalan las dificultades para identificar a los productores, debido a la prevalencia de productores sin ningún registro, empresas de reparación/pequeños ensambladores y contrabandistas, así como mayores oportunidades de falsificación. Mientras tanto, ha habido un reconocimiento cada vez mayor de los roles económicos y ambientales positivos asumidos por el sector informal (p. Ej., Reducir los costes de manejo de desechos y el vertido en vertederos, brindar un servicio alternativo de recolección gratuita y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero). Por lo tanto, las discusiones recientes se han centrado en cómo integrar el sector informal al sistema para asegurar sus contribuciones positivas, al tiempo que se mitigan los impactos ambientales negativos de eliminación y procesamiento.

Para promover un SIG de NFU existen varias barreras a lo largo de todo el ciclo de vida de los neumáticos. En el trabajo de Hu et al. (2021) se describen las diferentes barreras en cada una de las fases del tratamiento de NFU para el caso de China. Así, en la fase de recolección se identifican como barreras:

- B1: Falta de métricas y datos estadísticos (registro, estadísticas y trazabilidad).
- B2: Falta de un sistema de recogida completamente formal.
- B3: Alto coste sin apoyo financiero para recolectores formales.

En la fase de tratamiento, los autores destacan las siguientes barreras:

- B4: Implementación incompleta de incentivos fiscales.
- B5: Falta de tecnologías maduras y ecológicas para el tratamiento y la eliminación de NFU.
- B6: Existencia de procesos de tratamiento desactualizados o ilegales.
- B7: Preocupación en la opinión pública de que los procesos de eliminación de NFU afecten a su salud.

En la fase de Venta y uso de productos “4R” destacan las siguientes barreras:

- B8: Falta de publicidad efectiva de los productos “4R” para el público y los clientes potenciales.
- B9: Percepción pública de baja calidad e inseguridad de los productos “4R” provenientes de los NFU.
- B10: Falta de planificación general para materiales derivados de neumáticos (cables de acero, textiles y negro de humo).
- B11: Falta de mercados finales sostenibles y estables para los productos "4R".

- B12: Falta de estándares unificados para los productos "4R" en los mercados finales.

Finalmente, los autores identifican una barrera crítica en lo relativo a la coordinación de la gestión del ciclo de vida:

- B13: Falta de una organización específica para coordinar y supervisar las empresas para la utilización integral de NFU.

Según los expertos, tanto B12 (Falta de estándares unificados para productos “4R” en los mercados finales) como B4 (Implementación incompleta de incentivos fiscales) son barreras que deben tratarse a corto plazo y, de resolverse, no deberían causar otros problemas en el futuro. También se demuestra que B4 se ve afectada significativamente por B1 y B12. Ese resultado indica que la información estadística y las normas de productos son importantes para que las empresas de tratamiento formal de NFU reciban subvenciones fiscales. Sin datos, estándares de calidad ni tecnología es difícil para el gobierno implementar el subsidio fiscal de manera efectiva.

Por otra parte, B1 (Falta de mecanismos estadísticos (registro, estadísticas y trazabilidad) para NFU) y B13 (Falta de una organización específica para coordinar y supervisar empresas para la utilización integral de NFU) son barreras mucho más difíciles de soslayar pues van más allá de lo gestionable a nivel empresarial.

La falta de mecanismos estadísticos se ha convertido en un tema importante y urgente para la promoción del sistema de gestión de NFU. Un SIG se basa en gran medida en la gestión de datos reales, como la formulación de políticas, la recopilación, el pago de tarifas de eliminación y la evaluación del desempeño general. Por otro lado, es necesario establecer esa organización específica que pueda fusionarse con las asociaciones existentes y coordinar de manera efectiva el sistema de gestión de NFU.

Así, se puede concluir que, en el corto plazo, los gobiernos de países emergentes deberían desarrollar estándares técnicos y de calidad para los productos “4R”, así como implementar completamente los incentivos fiscales. Asimismo, el gobierno necesita regular los mercados finales estandarizando productos y tecnologías. Mientras tanto, es necesario establecer mecanismos estadísticos (registro y trazabilidad) mediante el desarrollo de sistemas de información. A largo plazo, es necesario crear una organización profesional de terceros, equivalente a un PRO, que se pueda fusionar a partir de asociaciones existentes, para que la gestión de NFU coordine todos los procesos y las partes interesadas asociadas a dicha gestión.

Obviamente, estas barreras aparecerán en mayor o menor medida dependiendo de las características particulares de cada país. En Colombia, país que ha implantado recientemente un sistema EPR para NFU, se observa que la introducción del sistema EPR ha aumentado con éxito la cantidad de neumáticos recolectados, pero en un grado relativamente pequeño en comparación con la recolección en muchos otros países desarrollados. Más importante aún, el sistema EPR de neumáticos no logró completamente su objetivo de cerrar el ciclo de uso de materiales debido a que los mercados de reciclaje están en un estadio muy incipiente y existe poca capacidad para la recuperación de energía. Cabe destacar la existencia de problemas de gobernanza en el funcionamiento del sistema EPR. Colombia adoptó una responsabilidad financiera y de gestión total del productor sin ningún instrumento económico, lo que resultó en la concentración de responsabilidades y la participación insuficiente de algunos actores importantes en la cadena de producción de neumáticos.

Para superar estos problemas sería recomendable, en primer lugar, mejorar el marco legal definiendo objetivos claros y permitiendo flexibilidad en el nivel de cumplimiento. En particular, es clave promover la innovación tecnológica y los mercados de reciclaje para cerrar el ciclo de uso de materiales, y esto puede ser respaldado por las inversiones de los productores y/o las políticas gubernamentales. En segundo lugar, el funcionamiento y la administración eficaz del sistema EPR requieren la participación y colaboración de los actores clave a lo largo de toda la cadena de valor para repartir la carga derivada de la gestión. Además, deben proporcionarse incentivos apropiados, en forma de requisitos legales y/o instrumentos económicos, y los recursos existentes, como la infraestructura de gestión de residuos, los actores informales, así como las autoridades de supervisión de los gobiernos locales. Por último, es necesario establecer un sistema de gestión de la información eficiente para recopilar, evaluar y monitorear los datos, y para respaldar las evaluaciones periódicas de los sistemas de EPR en Colombia.

Los expertos destacan que la EPR solo puede contribuir a la gestión eficaz de residuos y a la EC cuando se adapta al contexto local de acuerdo con la experiencia y a partir del aprendizaje continuo. En este sentido, si bien las preocupaciones ambientales y económicas que sustentan la EC pueden percibirse como nuevas, los medios a través de los cuales se están abordando se manifiestan a través de prácticas organizativas más convencionales o antiguas, que incluyen objetivos de reciclaje más elevados, legislación sobre residuos y compromisos de responsabilidad ampliada del productor (EPR).

Como se ha comentado anteriormente, los sistemas EPR actuales pueden lograr altas tasas de recuperación, pero no son capaces de reducir el consumo general de recursos ni de promover la circularidad total, en línea con lo planteado por la actual definición de EC 3.0. Por lo tanto, se sugiere fortalecer el sistema EPR proponiendo una perspectiva transformadora a largo plazo, que pueda abordar cuestiones relativas a la transparencia, inclusión, suficiencia, sostenibilidad y mejora continua.

Relacionando la EPR con la EC, Campbell-Johnston et al. (2020) detectaron siete limitaciones y problemas que pueden ser la base para modificar y crear un EPR que satisfaga las necesidades de la EC 3.0:

- Promoción de la recuperación de mayor valor: se debe dar mayor prioridad a opciones de recuperación como la reventa, el recauchutado y la reutilización. Además, debe fomentarse el ecodiseño para que los NFU sean más fáciles de refabricar y reciclar y para que los neumáticos nuevos puedan contener mayores cantidades de caucho granulado sin comprometer su calidad. En este sentido, sería necesaria una mayor inversión en I+D y podría ser implementada por la obligación de utilizar un porcentaje de la tasa a la gestión de residuos para financiarla. Otra opción es establecer una tarifa diferenciada basada en la sostenibilidad de los neumáticos.
- Gestión de las exportaciones: si bien estas son opciones de recuperación de alto valor, en teoría, la falta de supervisión sobre el destino de estos neumáticos no garantiza una recuperación ambientalmente segura.
- Alcanzar las opciones de retención de mayor valor (R0, R1): tener neumáticos más duraderos es quizás una de las estrategias más importantes, ya que reduce directamente el consumo total de neumáticos (R1-reducir). Una estrategia aún más eficaz sería minimizar el consumo de neumáticos reduciendo la necesidad de adquirirlos (R0–rehusar/evitar). Esto podría lograrse mediante una planificación urbana y regional eficaz, así como con políticas de movilidad sostenible.
- Colaboración y gobernanza de múltiples partes interesadas: los sistemas EPR existentes carecen, en general, de una conexión y colaboración efectivas entre los productores y recicladores de

neumáticos. Esto inhibe la innovación de productos con respecto a la aplicación de caucho recuperado.

- Supervisión efectiva y mejora continua del sistema de EPR: es clave actualizar los objetivos y explorar la dirección futura del sector. Establecer metas renovadas es particularmente importante ya que el sistema actual promueve una tarifa de contribución de gestión de residuos estándar y generalmente baja, lo que ha incentivado las opciones de recuperación de bajo coste y baja calidad sobre las de mayor retención de valor. Además, el sistema de monitoreo existente informa solo de los volúmenes recolectados y los procesos de tratamiento. Esto deja lagunas en los datos sobre cómo se utilizan los materiales recuperados y cuál es el destino final de los neumáticos exportados, todo lo cual puede ocultar prácticas insostenibles. Por lo tanto, la regulación y la supervisión del sistema EPR a través de una política gubernamental eficaz, la supervisión de la sociedad civil y la mejora continua de los objetivos y los incentivos para las opciones de retención de mayor valor (especialmente R0-R6) resulta critica. Además, es necesario revisar las formas en que se eligen las mejores opciones de procesamiento (incluido el procedimiento de selección para los operadores de gestión de residuos) y las formas en que se llevan a cabo las inversiones para lograr mejoras continuas en nuevas opciones de recuperación (por ejemplo, I+D en desvulcanización o pirólisis). Un mejor monitoreo, transparencia, supervisión y participación de la sociedad civil en estos procesos es clave para asegurar la mejora continua del sistema EPR y para promover prácticas de diseño y recuperación social y ambientalmente sostenibles.
- Mejorar los resultados sociales y ambientales generales más allá de los NFU: las consecuencias de los usos potencialmente dañinos para el medio ambiente del caucho granulado muestran la debilidad de centrarse únicamente en la recuperación, en lugar de hacerlo en los resultados reales de sostenibilidad. También se plantea la pregunta, con respecto a la gobernanza de la cadena de valor ampliada, de si los productores deberían tener una responsabilidad continua más allá del primer procesamiento del producto. Dichas capacidades ampliadas deberían realizarse solo después de un ACV regional imparcial, no conflictivo, dirigido a maximizar la circularidad, la justicia social y la sostenibilidad.
- 5. Modelos de negocios circulares: se podría alentar el servicio circular o los modelos de negocio de alquiler basados en el rendimiento de los neumáticos, en lugar de vender grandes cantidades de neumáticos, incentivando un mantenimiento de mayor valor para productores y consumidores.

Las brechas identificadas y estas soluciones propuestas brindan una oportunidad para que la organización EPR pase de ser una entidad de gestión de NFU a un verdadero impulsor de la circularidad, desempeñando un papel transformador al abordar los desafíos sociales y ambientales contemporáneos. En esta transición, el sistema debe ser más inclusivo, democrático y adaptable a la introducción de mejoras continuas. Los sistemas existentes están fragmentados, hacen una gestión aislada de los NFU y deberían integrarse para trabajar colectivamente y con mayor transparencia.

Las recomendaciones antes mencionadas están en línea con las de la directiva de residuos de la UE actualizada, que pide que los sistemas de EPR incluyan requisitos de ecodiseño para reducir los impactos ambientales, así como para mejorar la transparencia, la presentación de informes, el seguimiento y la colaboración con la sociedad civil.

La Directiva 2018/851, de 30 de mayo de 2018, que modificó la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos, introduce aspectos más ambiciosos acerca de la gestión de estos últimos en la UE. Así, indica que dicha gestión debe mejorarse y transformarse en una gestión sostenible de las materias primas con miras a proteger, preservar y mejorar la calidad del medio ambiente, así como a proteger la salud

humana, garantizar la utilización prudente, eficiente y racional de los recursos naturales, promover los principios de la economía circular, mejorar el uso de la energía renovable, aumentar la eficiencia energética, reducir la dependencia de la UE de los recursos importados, crear nuevas oportunidades económicas y contribuir a la competitividad a largo plazo.

En el caso español, y en la misma línea, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) aprobó el nuevo Real Decreto 731/2020 que acelerará la transición del sector de los neumáticos fuera de uso hacia un modelo de economía circular. Además, entre otras cuestiones, prohíbe el depósito en vertederos de los neumáticos de gran tamaño, cuestión hasta el momento permitida, y prioriza la reutilización de los neumáticos, definiendo las condiciones que deben reunir los neumáticos de segundo uso y los recauchutados para su comercialización.

El nuevo Real Decreto 731/2020 modifica el Real Decreto 1619/2005 sobre la gestión de NFU, para lograr una gestión más eficaz de este residuo y consolidar los progresos implementados en su gestión a lo largo de los quince años de vigencia de la normativa anterior. Se trata de un paso previo a la adaptación a los nuevos requisitos de la responsabilidad ampliada del productor que se introducirán a través de la trasposición de la nueva Directiva (UE) 2018/851 sobre la materia, para la que el Gobierno está tramitando el anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados.

El nuevo Real Decreto 731/2020 contiene varias medidas encaminadas a mejorar la eficiencia y los resultados del sistema de gestión de los NFU. Entre ellas, destacan:

- la prohibición del depósito en vertederos de los neumáticos de gran tamaño, con diámetro superior a 1.400 milímetros, y su incorporación al sistema de gestión bajo la responsabilidad ampliada del productor. Con esta modificación, todos los neumáticos de reposición –a excepción de las ruedas de las bicicletas- pasan a ser objeto de gestión para su reutilización o reciclado.
- se da prioridad a la reutilización de los neumáticos usados. Con el objeto de facilitarlo, el Real Decreto define las condiciones que deben reunir tanto los neumáticos de segundo uso como los recauchutados para su posterior comercialización. Asimismo, la norma detalla la información que debe suministrarse sobre ellos al consumidor, preferiblemente de forma electrónica.
- la definición, para cada año y en cada Comunidad Autónoma, de las responsabilidades de recogida y gestión que corresponden a los sistemas colectivos de responsabilidad ampliada del productor, lo que evitará problemas de acumulación y retrasos en la recogida de los residuos en los puntos de generación. Esta información resultará de especial utilidad a las autoridades competentes en sus tareas de supervisión y control de las operaciones que integran el flujo de gestión de este residuo.

Estas mejoras introducidas redundarán en un mayor control y trazabilidad de la gestión, lo que ayudará a evitar la acumulación de los NFU y, en definitiva, a mejorar la protección del medio ambiente.

Con el objeto de incluir en los sistemas de gestión al mayor número posible de NFU, el Real Decreto amplía las actuales obligaciones de gestión que corresponden a los productores de los neumáticos. De un lado, la norma establece que los productores quedan obligados a gestionarlos cuantas veces sea necesario hasta su completa valorización, incluyendo la gestión del neumático si vuelve a ser comercializado como producto de segunda mano o recauchutado. Y, de otro, amplía la definición de productor de neumático a aquellos fabricantes de neumáticos recauchutados en España sobre carcasas importadas y a los importadores de neumáticos de segunda mano o recauchutados, lo que

les convierte en sujetos de la responsabilidad ampliada de la gestión de los NFU. También tendrán que cumplir con dichas obligaciones los Centros Autorizados de Tratamiento (CAT) para los neumáticos procedentes de los vehículos para los que no dispongan de justificación de su gestión. Hasta el momento, no estaban sujetos a ella.

Con el objeto de que el conjunto de los NFU sea gestionado, el Real Decreto habilita al MITECO para definir los criterios que permitan la asignación de la responsabilidad que corresponde a cada sistema colectivo de responsabilidad, y a su publicación en la web de los valores correspondientes antes del 15 de marzo de cada año.

Con este segundo conjunto medidas, el Real Decreto 731/2020 busca resolver los problemas de gestión que surgen cuando se sobrepasan las cuotas asignadas a cada sistema colectivo de responsabilidad, debido a la existencia de neumáticos –por ejemplo, los neumáticos preparados para su reutilización-, que hasta ahora no computaban en la responsabilidad de los productores.

En este contexto y a nivel nacional, el caso español SIGNUS era considerado en 2010 por ciertos autores especialmente relevante por (a) su dimensión (9% del total de NFU en EU27), (b) su generación de NFU específicos y atomizados y la red de recogida `` puerta a puerta '' (con 34.357 puntos de recogida en 2011), (c) los rápidos avances realizados en la correcta gestión de los NFU al 100% y (d) la forma en que el SIG afrontaba de forma proactiva los nuevos retos.

Aunque el principio de responsabilidad ampliada del productor está establecido en todo el territorio español en lo que respecta a los NFU, las prácticas de importación ilegal (y no declarada) de neumáticos y las ventas incontroladas por Internet siguen siendo cuestiones importantes que resolver. Se requiere una fuerte implicación de las autoridades locales, no solo en España sino también en los países vecinos. En cuanto a la jerarquía de residuos a considerar y priorizar, el estudio de Uruburu et al. (2013) mostró cómo el SIG estaba llevando a cabo en la primera década del presente siglo una amplia gama de actividades para encontrar nuevos usos técnica y económicamente viables para los NFU, especialmente en la categoría de reciclaje y recuperación de material.

Considerando el área de prevención de residuos de la Directiva anterior y los planes y programas a desarrollar por cada miembro de la UE, en SIGNUS destacaba la promoción y búsqueda de aplicaciones innovadoras de recuperación de NFU, entre las que destacaba el esperado y alentador aumento del 250% en el uso de polvo en mezclas asfálticas.

Cabe subrayar que el compromiso del SIG español con los grupos de interés externos e internos se describió en diversas actividades de comunicación y campañas publicitarias. El compromiso a la hora de implementar planes locales de gestión de residuos era uno de los principales requisitos señalados en la Directiva europea anterior a la actual.

Al contrastar las políticas de gestión aplicadas, el desarrollo de planes futuros y los resultados obtenidos desde su fundación, los expertos concluían que SIGNUS estaba bastante bien alineada con la visión estratégica y los objetivos establecidos en el marco de la legislación europea depropcipios de siglo.

Además, el SIG español había demostrado ser un instrumento eficaz para la gestión de NFU. Se consideraba ejemplar a nivel internacional por la forma en que abordaba el difícil desafío de ''convertir los residuos en recursos'' de la manera más económica posible y con las máximas garantías ambientales, aunque las demandas de un entorno en continuo cambio obligaban a la empresa a

buscar continuamente nuevos recursos y contramedidas para superar las dificultades. Así, el SIG español también se involucraba en los planes de acción estratégicos desarrollados para lograr ese objetivo, como las actividades de estandarización de la calidad del material de los NFU, realizando evaluaciones de ciclo de vida actualizadas que demostraran el grado de beneficios ambientales de las operaciones de reciclaje y valorización, y mostrando cómo un producto de desecho recientemente considerado podía convertirse en un recurso valioso, con un impacto ambiental aún menor.

Para finalizar, es importante destacar la creciente conciencia medioambiental entre los usuarios finales, que incluyen cada vez más la variable ambiental como criterio de compra. Esto puede facilitar la venta de neumáticos más respetuosos con el medio ambiente. Esta situación se verá favorecida por otro desarrollo interesante de los neumáticos, a saber, la introducción de un etiquetado que indique la eficiencia del neumático en términos de consumo de combustible, ruido y otros parámetros.

Obviamente, el nuevo marco legislativo con el imperativo de converger hacia una EC 3.0. midiendo el resultado del tratamiento de NFU en términos de sostenibilidad supone un gran desafío para los PRO españoles, pues tendrán que añadir a sus actividades actuales nuevas iniciativas que les permitan adaptarse a estos nuevos y más ambiciosos requerimientos.

6. Referencias

8. Referencias bibliográficas

Adhikari, B., De, D., Maiti, S., 2000. Reclamation and recycling of waste rubber. Prog. Polym. Sci. 25, 909e948. https://doi.org/10.1016/S0079-6700(00)00020-4.

Aiello, M.A., Leuzzi, F., Centonze, G., Maffezzoli, A., 2009. Use of steel fibres recovered from waste tyres as reinforcement in concrete: pull-out behaviour, compressive and flexural strength. Waste Manag. 29, 1960e1970. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.12.002.

Akiba M, Hashim AS. Vulcanization and crosslinking in elastomers. Prog Polym Sci 1997;22: 475–521. Effect of polymer fibers recycled from waste tires on properties of wet-sprayed concrete.

Amari, T., Themelis, N.J., Wernick, I.K., 1999. Resource recovery from used rubber tires. Resour. Policy 25, 179e188. https://doi.org/10.1016/S0301-4207(99) 00025-2.

Ana Baricevic, Martina Pezer, Marija Jelcic Rukavina, Marijana Serdar, Nina Stirmer; Construction and Building Materials 176 (2018) 135–144

ANLA, 2014. Resolution 1470. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

ANLA, 2015. Resolution 1198. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

ANLA, 2016a. Auto 05232. Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

ANLA, 2016b. EPR Programs for Used Tires. Ministry of the Environment and Sustainable Development.

ARN advisory, FFact, 2011. ecotest Brochure [WWW Document]. URL https://www.recybem.nl/sites/recybem.nl/files/user/ecotest_2011-english.pdf.

Aryes, R.U., 1989. Industrial metabolism. In: Technology and Environment, pp. 23-49. https://doi.org/10.4018/978-1-60566-114-8.ch002.

Asaro, L., Gratton, M., Seghar, S., et al., 2018. Recycling of rubber wastes by devulcanization. Resources Conservation and Recycling 133, 250–262.

Bakas, I., 2013. Municipal waste management in Cyprus [WWW Document]. ETC/ECP working paper for EEA member country review. URL a10c9df4747e4733b007a14bd391fb96.

Banguera, L.A., Sepulveda, J.M., Ternero, R., et al., 2018. Reverse logistics network design under extended producer responsibility: the case of out-of-use tires in the Gran Santiago city of Chile. International Journal of Production Economics 205, 193–200.

Bell, K., Cave, S., 2010. Tyre Disposal [WWW Document]. Res. Libr. Serv. Brief. Note. URL http://www.niassembly.gov.uk/globalassets/Documents/RaISe/Publications/2010/Environment/15910.pdf.

Benyus, J.M., 1998. Biomimicry : Innovation Inspired by Nature. Quill.

Blomsma, F., Brennan, G., 2017. The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity. J. Ind. Ecol. 21, 603e614. https://doi.org/10.1111/jiec.12603.

Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C., van der Grinten, B., 2016. Product design and business model strategies for a circular economy. J. Ind. Prod. Eng. 33, 308e320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124.

Boulding, K.E., 1966. The economics of the coming spaceship Earth. In: Jarrett, H. (Ed.), Environmental Quality in a Growing Economy. Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, pp. 3-14.

Boyle, G. (Ed.), 2012. Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. 3rd ed. Oxford University Press, Oxford.

Campbell-Johnston, K.,Friant, M.C., Lakerveld , D., Vermeulen, W.J.V. (2020). How circular is your tyre: Experiences with extended producer responsibility from a circular economy perspective. Journal of Cleaner Production 270 (2020) 122042

Calisto Friant, M., Vermeulen, W.J.V., Salomone, R., 2020. A Typology of Circular Economy Discourses: Navigating the Diverse Visions of a Contested Paradigm. In: Ming Xu (Ed.). Resources Conservation & Recycling. In press.

Camilleri, M.A., 2018. The circular economy's closed loop and product service systems for sustainable development: a review and appraisal. Sustain. Dev. 1e7 https://doi.org/10.1002/sd.1909.

Cardozo, E., 2016. End-of-life Tire Management and the Activities of Rueda Verde.

Castell, A., Clift, R., Francae, C., 2008. Extended producer responsibility policy in the European union: a horse or a camel? J. Ind. Ecol. 8, 4e7. https://doi.org/10.1162/1088198041269409.

Cecchin, A., Lamour, M., Joseph Maks Davis, M., Jacome Polit, D., 2019. End-of-life product management as a resilience driver for developing countries: a policy experiment for used tires in Ecuador. J. Ind. Ecol. 23, 1292-1310. https://doi.org/10.1111/jiec.12861.

Chang, N.-B., 2008. Economic and policy instrument analyses in support of the scrap tire recycling program in Taiwan. J. Environ. Manag. 86, 435-450.

Chertow, M.R., 2000. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. Annu. Rev. Energy Environ. 25, 313-337. https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.313.

Clauzade, C., Osset, P., Hugrel, C., Chappert, A., Durande, M., Palluau, M., 2010. Life cycle assessment of nine recovery methods for end-of-life tyres. Int. J. Life Cycle Assess. 15, 883-892. https://doi.org/10.1007/s11367-010-0224-z.

Commoner, B., 1971. The Closing Circle: Nature, Man, and Technology. Bantam Books New York.

Corti, A., Lombardi, L., 2004. End life tyres: alternative final disposal processes compared by LCA. Energy 2089e2108. https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.03.014.

CTRA (China Tyre Recycling Association), 2016. China's tire recycling industry "13th five-year" development plan.

Dabic-Ostojic, S., Miljus, M., Bojovic, N., et al., 2014. Applying a mathematical approach to improve the tire retreading process. Resources Conservation and Recycling 86, 107–117.

Davis, G., Wilt, C., 1994. Extended Producer Responsibility: A New Principle for a New Generation of Pollution Prevention. TN, Knoxville.

de Figueiredo, J.N., Mayerle, S.F., 2008. Designing minimum-cost recycling collection networks with required throughput. Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review 44 (5), 731–752.

Demyttenaere, K., Dewit, I., Jacoby, A., 2016. The influence of ownership on the sustainable use of product-service systems - a literature review. In: Procedia CIRP. Elsevier, pp. 180-185. https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.071.

Deutz, P., 2009. Producer responsibility in a sustainable development context: ecological modernisation or industrial ecology? Geogr. J. 175, 274e285. https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2009.00330.x.

Dhouib, D., 2014. An extension of MACBETH method for a fuzzy environment to analyze alternatives in reverse logistics for automobile tire wastes. Omega-International Journal of Management Science 42 (1), 25–32.

DIAN, 2017. International trade database of Colombia. In: Dirección de Impuestos y Aduana de Colombia (Legiscomex).

DIRECTIVA (UE) 2018/851 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos. Diario Oficial de la Unión Europea.

Doğan O, Elik MB, €Ozdalyan B. The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions. Fuel 2012;95: 340–6. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.033.

Doğan O, Elik MB, Ozdalyan B. The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions. Fuel 2012; 95:340–6. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.033.

Donghwa K., Deokseong S., Suhyoun C., Pilsung K., Multi-co-training for document classification using various document representations: TF–IDF, LDA, and Doc2Ve; Information Sciences Volume 477March (2019) Pages 15-29

ECHA, 2017. An Evaluation of the Possible Health Risks of Recycled Rubber Granules Used as Infill in Synthetic Turf Sports Fields (Brussels).

EcoAnvelope, 2018. ECO ANVELOPE S.A. - Societate de Gestiune a Fluxului Anvelopelor Uzate [WWW Document]. URL http://www.ecoanvelope.ro/desprenoi.htm.

Ecopneus, 2018. Ecopneus [WWW Document]. URL http://www.ecopneus.it/en.

Ecotest, 2013. Over ons | Ecotest.nu [WWW Document]. URL http://ecotest.nu/overons.

EEA, 2016. Country Profile Hungary [WWW Document]. EEA Rep. More from less —Mater. Resour. Effic. Eur. 2015 Overv. policies, instruments targets 32 Ctries. URL 5489c3d3eefb4f07976ffd1bd43b3de5.

Ellen MacArthur Foundation, 2013. Towards the Circular Economy, vol. 1. Ellen MacArthur Found, pp. 1-96. https://doi.org/10.1162/108819806775545321.

ETRMA (2019). Europe - 92% of all End of Life Tyres collected and treated in 2017. Press Release. Retrieved from: https://www.etrma.org/wp-content/uploads/2019/11/20191119-Europe-92-of-all-End-of-Life-Tyres-collected-andtreated- in-2017.pdf

ETRMA (European Tyre and Rubber Manufacturers' Association), 2015. End-of-life tyre report 2015.

ETRMA, 2011. End of life tyres: A valuable resource with growing potential. 2011 edition [WWW Document]. URL http://www.etrma.org/uploads/Modules/ Documentsmanager/brochure-elt-2011-final.pdf.

ETRMA, 2015. ETRMA 2015 ELT Management figures. https://doi.org/10.1021/jp064861r.

ETRMA, 2017a. Annual Report 2017: Moving innovation that cares [WWW.Document]. Annu. Rep. URL http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/20170905—etrma-annual-report-2016-17—final.pdf.

ETRMA, 2017b. ETRMA 2015 ELT Management figures [WWW Document]. URL http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2017-01-25_2015-elt-data_final.pdf.

ETRMA, 2017c. ETRMA 2014 ELT Management figures [WWW Document]. URLhttp://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/2017-01-25_2014-elt-data_final-(2).pdf.

ETRMA, 2018. Personal Communication on 15 March. European Tyre & Rubber Manufaturers' Association, Brussels.

ETRMA, 2018. Used Tyres/ELT Management in Europe - Volumes Situation 2016.

ETRMA. In: Association ETRM, editor. European Tyre & Rubber Manufacturers' Association: The annual report and statistic; 2012. Belgium; 2013.

European Commission, 2019. ADAS | mobility and transport [WWW document]. Adv. Driv. Assist. Syst. URL. https://ec.europa.eu/transport/road_safety/topics/vehicles/inspection_en (accessed 10.28.19).

Evans, R., Evans, A., 2006. The composition of a tyre: typical components. TheWaste & Resources Action Programme.

Feraldi, R., Cashman, S., Huff, M., Raahauge, L., 2013. Comparative LCA of treatment options for US scrap tires: material recycling and tire-derived fuel combustion. Int. J. Life Cycle Assess. 18, 613e625.

Ferrão P, Ribeiro P, Silva P. A management system for end-of-life tyres: a Portuguese case study. Waste Manage 2008; 28:604–14.

Ferrao, P., Ribeiro, P., Silva, P., 2008. A management system for end-of-life tyres: a Portuguese case study. Waste Management 28 (3), 604–614.

Fiksel, J., Bakshi, B.R., Baral, A., Guerra, E., Dequervain, B., 2011. Comparative life cycle assessment of beneficial applications for scrap tires. In: Clean Technologies and Environmental Policy, pp. 19e35. https://doi.org/10.1007/s10098-010-0289-1.

Franco, F.M., 2016. Sin conciencia civil, el problema de llantas no se va a solucionar. El Tiempo.

Fresner, J., 1998. Cleaner production as a means for effective environmental management. J. Clean. Prod. 6, 171-179. https://doi.org/10.1016/S0959-6526(98) 00002-X.

Frosch, R.A., Gallopoulos, N.E., 1989. Strategies for manufacturing. Sci. Am. 261, 144-152. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0989-144.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., 2017. The Circular Economy a new sustainability paradigm? J. Clean. Prod. 143, 757e768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048.

Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., 2016. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. J. Clean. Prod. 114, 11e32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007.

Goedkoop, M.J., van Halen, C.J.G., te Riele, H.R.M., Rommens, P.J.M., 1999. Product Service Systems. Ecological and Economic Basics, The Hague.

Gov. NL, 2009. Besluit beheer autobanden, BWBR0016038. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer [WWW Document]. URL http://wetten.overheid.nl/BWBR0016038/2009-05-01/0/informatie.

Gravina, R. J., MA X., Mills, J., Roychand R., Youssf O., Zhuge Y.; A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete; Construction and Building Materials; Volume 237, 20 March 2020

Gravina, R. J., MA X., Mills, J., Roychand R., Youssf O., Zhuge Y.; A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete; Construction and Building Materials; Volume 237, 20 March 2020

Gregson, N., Crang, M., Fuller, S., Holmes, H., 2015. Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. Econ. Soc. 44, 218e243. https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013353.

Haas,W., Krausmann, F.,Wiedenhofer, D., Heinz, M., 2015. How circular is the global economy?: an assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. J. Ind. Ecol. 19, 765e777. https://doi.org/10.1111/jiec.12244.

Hao, Z., 2019. Reclaimed rubber: building high-level business development mode. CHINA RUBBER 35 (1), 6–10.

Hardin, G., 1968. The tragedy of the commons. Science 162, 1243e1248. https://doi.org/10.1126/SCIENCE.162.3859.1243.

Henckens, M.L.C.M., Driessen, P.P.J., Worrell, E., 2014. Metal scarcity and sustainability, analyzing the necessity to reduce the extraction of scarce metals. Resour. Conserv. Recycl. 93, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.09.012.

Hickle, G.T., 2014. An examination of governance within extended producer responsibility policy regimes in North America. Resour. Conserv. Recycl. 92, 55-65.

Hita I, Arabiourrutia M, Olazar M, Bilbao J, Arandes JM, Casta˜no P. Opportunities and barriers for producing high quality fuels from the pyrolysis of scrap tires. Renew Sustain Energy Rev 2016; 56:745–59. https://doi.org/10.1016/j. rser.2015.11.081.

Hita I, Arabiourrutia M, Olazar M, Bilbao J, Arandes JM, Castaño P. Opportunities and barriers for producing high quality fuels from the pyrolysis of scrap tires. Renew Sustain Energy Rev 2016; 56: 745–59. https://doi.org/10.1016/j. rser.2015.11.081.

Hobson, K., Lynch, N., 2016. Diversifying and de-growing the circular economy: radical social transformation in a resource-scarce world. Futures 82, 15e25. https://doi.org/10.1016/j.futures.2016.05.012.

Huang, H., Tang, L., 2009. Pyrolysis treatment of waste tire powder in a capacitively coupled RF plasma reactor. Energy Convers. Manag. 50, 611–617.

Hu, H., Liu, J., Zhu, Q., Chen, Q, (2021).An integrated supply chain management system for end-of-life tires in China and its promotion barriers: A stakeholder perspective. Resources, Conservation & Recycling 164 (2021) 105214

Jang, J.-W., Yoo, T.-S., Oh, J.-H., Iwasaki, I., 1998. Discarded tire recycling practices in the United States, Japan and Korea. Resour. Conserv. Recycl. 22, 1-14.

Jantaraksa N, Prasassarakich P, Reubroycharoen P, Hinchiranan N. Cleaner alternative liquid fuels derived from the hydrodesulfurization of waste tire pyrolysis oil. Energy Convers Manag 2015;95: 424–34.

Jantaraksa N, Prasassarakich P, Reubroycharoen P, Hinchiranan N. Cleaner alternative liquid fuels derived from the hydrodesulfurization of waste tire pyrolysis oil. Energy Convers Manag 2015; 95:424–34. https://doi.org/10.1016/j. enconman.2015.02.003. [27] Dung NA, Mhodmonthin

Junnila, S., Ottelin, J., Leinikka, L., 2018. Influence of reduced ownership on the environmental benefits of the circular economy. Sustain. Times 10. https://doi.org/10.3390/su10114077.

Kaffine, D., O'Reilly, P., 2015. What Have We Leanred about Extended Producer Responsibility in the Past Decade? a Survey of the Recent EPR Economic Literature. OECD.

Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. Resour. Conserv. Recycl. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

Kjaer, L.L., Pigosso, D.C.A., Niero, M., Bech, N.M., McAloone, T.C., 2019. Product/service-systems for a circular economy: the route to decoupling economic growth from resource consumption? J. Ind. Ecol. 23, 22-35. https://doi.org/10.1111/jiec.12747.

Kojima, M., Yoshida, A., Sasaki, S., 2009. Difficulties in applying extended producer responsibility policies in developing countries: case studies in e-waste recycling in China and Thailand. J. Mater. Cycles Waste Manag. 11, 263e269.

Korhonen, J., Honkasalo, A., Sepp€al€a, J., 2018. Circular economy: the concept and its limitations. Ecol. Econ. 143, 37e46. https://doi.org/10.1016/ j.ecolecon.2017.06.041.

Krömer, Silke, Kreipe, Eckhard, Reichenbach, Diethelm, Stark, Rainer, 1999. Life Cycle Assessment of a Car Tyre [WWW Document]. URL https://www.continental-corporation.com/resource/blob/47500/b64cfd62d7c37b31e0141cb618756f86/oekobilanz-en-data.pdf.

Kumaravel ST, Murugesan A, Kumaravel A. Tyre pyrolysis oil as an alternative fuel for diesel engines – a review. Renew Sustain Energy Rev 2016; 60:1678–85.

Kumaravel ST, Murugesan A, Kumaravel A. Tyre pyrolysis oil as an alternative fuel for diesel engines – a review. Renew Sustain Energy Rev 2016;60: 1678–85. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.035.

Landi, D., Gigli, S., Germani, M., Marconi, M., 2018a. Investigating the feasibility of a reuse scenario for textile fibres recovered from end-of-life tyres. Waste Manag. 75, 187-204. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.018.

Landi, D., Marconi, M., Meo, I., Germani, M., 2018b. Reuse scenarios of tires textile fibers: an environmental evaluation. In: Procedia Manufacturing, pp. 329e336. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.128.

Li, X., Xu, H., Gao, Y., Tao, Y., 2010. Comparison of end-of-life tire treatment technologies: a Chinese case study. Waste Manag. 30, 2235e2246. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2010.06.006.

Li, X., Xu, H., Gao, Y., Tao, Y., 2010. Comparison of end-of-life tire treatment technologies: a Chinese case study. Waste Manag. 30, 2235e2246. https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2010.06.006.

Lifset, R., Atasu, A., Tojo, N., 2013. Extended producer responsibility. J. Ind. Ecol. 17, 162e166.

Lindhqvist, T., 2000. Extended Producer Responsibility in Cleaner Production: Policy Principle to Promote Environmental Improvements of Product Systems [WWW Document]. URL http://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4433708/1002025.pdf.

Liu, J., Feng, Y., Zhu, Q., et al., 2018. Green supply chain management and the circular economy: reviewing theory for advancement of both fields. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management 48 (8), 794–817.

Lonca, G., Muggeo, R., Imbeault-Tetreault, H., Bernard, S., Margni, M., 2018. Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. J. Clean. Prod. 183, 424e435. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.108.

Lüdeke-Freund, F., Gold, S., Bocken, N.M.P., 2018. A review and typology of circular economy business model patterns. J. Ind. Ecol. 1e26. https://doi.org/10.1111/jiec.12763, 00.

Manomaivibool, P., 2009. Extended producer responsibility in a non-OECD context: the management of waste electrical and electronic equipment in India. Resour. Conserv. Recycl. 53, 136-144.

Manomaivibool, P., Vassanadumrongdee, S., 2011. Extended producer responsibility in Thailand. J. Ind. Ecol. 15, 185-205.

Martínez, J.D., Puy, N., Murillo, R.N., García, T.S., Navarro, M.V., Mastral, A.M., 2013. Waste tyre pyrolysis – a review. Renew. Sustain. Energy Rev. 23, 179–213. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038.

McDonough, W., Braungart, M., 2002. Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. North Point Press, New York (USA).

Meadows, D., Meadows, D., Behrens, W., Randers, J., 1972. The Limits to Growth: a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe Books, New York.

Medina, N.F., Garcia, R., Hajirasouliha, I., Pilakoutas, K., Guadagnini, M., Raffoul, S., 2018. Composites with recycled rubber aggregates: properties and opportunities in construction. Construct. Build. Mater. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.069.

Merli, R., Preziosi, M., Acampora, A., 2018. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. J. Clean. Prod. 178, 703e722. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112.

Milanez, B., Bührs, T., 2009. Extended producer responsibility in Brazil: the case of tyre waste. J. Clean. Prod. 17, 608-615.

Milios, L., 2018. Advancing to a Circular Economy: three essential ingredients for a comprehensive policy mix. Sustain. Sci. 13, 861e878. https://doi.org/10.1007/s11625-017-0502-9.

Millar, N., McLaughlin, E., Borger, T., 2019. The circular economy: swings and roundabouts? Ecol. Econ. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.012.

Mmereki, D., Machola, B., Mokokwe, K., 2019. Status of waste tires and management practice in Botswana. J. AirWaste Manag. Assoc. 69, 1230e1246. https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1279696.

Mohajerani, A., et al., (2020). Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. Resources, Conservation and Recycling, 155, 104679. doi:10.1016/j.resconrec.2020.104679.

Molino, A., Donatelli, A., Marino, T., et al., 2018. Waste tire recycling process for production of steam activated carbon in a pilot plant. Resources Conservation and Recycling 129, 102–111.

Monier, V., Hestin, Mathieu, Cavé, Jérémie, Laureysens, Ilse, Watkins, Emma, Reisinger, Hubert, Porsch, Lucas, 2014. Development of Guidance on Extended Producer Responsibility (EPR) [WWW Document]. URL http://ec.europa.eu/environment/archives/waste/eu_guidance/pdf/Guidance on EPR - Final Report.

Moreau, V., Sahakian, M., van Griethuysen, P., Vuille, F., 2017. Coming full Circle: why social and institutional dimensions matter for the circular economy. J. Ind. Ecol. 21, 497e506. https://doi.org/10.1111/jiec.12598.

Myhre, M., MacKillop, D.A., 2002. Rubber recycling. Rubber Chem. Technol. 75, 429-474. https://doi.org/10.5254/1.3547678.

Myhre, M., Saiwari, S., Dierkes, W., Noordermeer, J., 2012. Rubber recycling: chemistry, processing, and applications. Rubber Chem. Technol. 85, 408-449. https://doi.org/10.5254/rct.12.87973.https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.10.023.

NDRC, 2019. Draft "The Implementation Plan of EPR System in Tire Field".

NVRD, 2018. Personal Communication on 18 April. Koninklijke Nederlandse Vereniging voor Reinigings- an Afvalmanagement, Arnhem.

Onuaguluchi, O., Banthia, N., 2018. Scrap tire steel fiber as a substitute for comercial steel fiber in cement mortar: engineering properties and cost-benefit analyses. Resources Conservation and Recycling 134, 248–256.

Ortíz-Rodríguez, O.O., Ocampo-Duque, W., Duque-Salazar, L.I., 2017. Environmental impact of end-of-life tires: life cycle assessment comparison of three scenarios from a case study in Valle Del Cauca, Colombia. Energies 10, 2117. https://doi.org/10.3390/en10122117.

OVAM, 2018. Personal Communication on 22 March. Public Waste Agency of Flanders, Mechelen.

Park, J., Díaz-Posada, N., Mejía-Dugand, S., 2018. Challenges in implementing the extended producer responsibility in an emerging economy: the end-of-life tire management in Colombia. J Clean Prod 189, 754–762.

Pearce, D.W., Turner, R.K., 1989. Economics of Natural Resources and the Environment. Johns Hopkins University Press, Baltimore.

Pedram, A., Bin Yusoff, N., Udoncy, O.E., 2017. Integrated forward and reverse supply chain: a tire case study. Waste Management 60, 460–470.

Public Authority, 2018. Personal Communication on 30 March. Italian Stakeholder, Italy.

Quariguasi Frota Neto, J., Van Wassenhove, L.N., 2013. Original equipment manufacturers' participation in take-back initiatives in Brazil. J. Ind. Ecol. 17, 238-248.

Rajan VV, Dierkes WK, Joseph R, Noordermeer JWM. Science and technology of rubber reclamation with special attention to NR-based waste latex products. Prog Polym Sci 2006; 31:811–34.

Ramarad S., Khalid M., Ratnam C.T., Luqman Chuah A, Rashmi R., (2015) Waste tire rubber in polymer blends: A review on the evolution, properties and future; Progress in Materials Science 72 (2015) 100–140

Real Decreto 731/2020, de 4 de agosto, por el que se modifica el Real Decreto 1619/2005, de 30 de diciembre, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso. BOE, 213, pp. 65591.

RecyBEM B.V., 2019. Organisatie Band en Milieu [WWW Document]. URL. https://www.recybem.nl/nl/over-recybem/organisatie (accessed 10.22.19).

RecyBEM, 2013. Tyre & Environment [WWW Document]. URL https://www.recybem.nl/sites/recybem.nl/files/user/magazine_tyre_and_environment_2013.pdf.

RecyBEM, 2019. Ecotest | RecyBEM B.V. en Vereniging Band & Milieu [WWW Document]. URL https://www.recybem.nl/en/about-recybem/environmentalperformance/ecotest.

Recytyre, 2014. Jaarverslag 2014 [WWW Document]. URL http://www.recytyre.be/media/80694/jaarverslag 2014.pdf.

Recytyre, 2015. Jaarverslag 2015 [WWW Document]. URL http://www.recytyre.be/media/88546/jaarverslag 2015.pdf.

Recytyre, 2016. Jaarverslag 2016 [WWW Document]. URL http://www.recytyre.be/media/88905/nl jaarverslag recytyre-16-06-2017.pdf.

Recytyre, 2018. Wat is Recytyre? [WWW Document]. URL http://www.recytyre.be/nl/over-recytyre/wie-is-recytyre.

Reike, D., Vermeulen, W.J.V., Witjes, S., 2018. The circular economy: new or refurbished as CE 3.0? d exploring controversies in the conceptualization of the circular economy through a focus on history and resource value retention options. Resour. Conserv. Recycl. 135, 246e264. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027.

Roche N, Ichchou MN, Salvia M,Chettah A. Dynamic damping properties of thermoplastic elastomers based on EVA and recycled ground tire rubber. J Elastomers Plast (2011); 43: 317–40.

Rockstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., S€orlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., others, 2009. A safe operating space for humanity. Nature 461, 472.

Rueda Verde, 2013. Annual EPR Report: the Year 2012.

Rueda Verde, 2014. Annual EPR Report: the Year 2013.

Rueda Verde, 2015. Annual EPR Report: the Year 2014.

Rueda Verde, 2016. Annual EPR Report: the Year 2015.

Saavedra, Y.M.B., Iritani, D.R., Pavan, A.L.R., Ometto, A.R., 2018. Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. J. Clean. Prod. 170, 1514e1522. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.260.

SAIC Energy, E.& I., 2012. Evaluation of Tire Incentive and Extended Producer Responsibility Policies [WWW Document]. URL http://www.calrecycle.ca.gov/Publications.

Saiwari, S., Dierkes, W.K., Noordermeer, J.W.M., 2019. Recycling of individual waste rubbers. Green Chem. Ser. No. 59 Rubber Recycl. Challenges Dev. 186e232. https://doi.org/10.1039/9781788010849-00001.

Saiwari, S., Dierkes, W.K., Noordermeer, J.W.M., 2019. Recycling of individual waste rubbers. Green Chem. Ser. No. 59 Rubber Recycl. Challenges Dev. 186e232. https://doi.org/10.1039/9781788010849-00001.

Schumacher, E.F., Ernst, F., 1973. Small Is Beautiful a Study of Economics as if People Mattered. Blond & Briggs, New York.

Scott, E., 2015. End-of-life Tyre Report. European Tyre & Rubber Manufacturers Association, 2015.

Scott, E., 2016. End-of-life Tyre REPORT 2015 [WWW Document]. URL http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/elt-report-v9a—final.pdf.

Sektion, V., 2017. Bundes-Abfall- Wirtschaftsplan 2017. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna.

Sharma A, Murugan S. Potential for using a tyre pyrolysis oil-biodiesel blend in a diesel engine at different compression ratios. Energy Convers. Manag. 2015; 93: 289–97.

Sharma A, Murugan S. Potential for using a tyre pyrolysis oil-biodiesel blend in a diesel engine at different compression ratios. Energy Convers Manag 2015;93: 289–97. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.023.

Shi, J., Zhou, J., Zhu, Q., 2019. Barriers of a closed-loop cartridge remanufacturing supply chain for urban waste recovery governance in China. J Clean Prod 212, 1544–1553.

Shulman, V.L., 2019. Tire recycling. In: Waste. Elsevier Inc., Brussels, pp. 489-515.

Sienkiewicz, M., Kucinska-Lipka, J., Janik, H., et al., 2012. Progress in used tyres management in the European Union: a review. Waste Management 32 (10), 1742–1751.

Spicer, A.J., Johnson, M.R., 2004. Third-party demanufacturing as a solution for extended producer responsibility. J. Clean. Prod. 12, 37e45. https://doi.org/ 10.1016/S0959-6526(02)00182-8.

Stahel, W.R., 2010. The performance economy. In: The Performance Economy, second ed. Palgrave Macmillan, New York. https://doi.org/10.1057/9780230274907.

STOWA, 2018. RUBBER-GRANULAAT OP KUNST-GRASVELDEN. Amersfort, Netherlands.

Subulan, K., Tasan, A.S., Baykasoglu, A., 2015. Designing an environmentally conscious tire closed-loop supply chain network with multiple recovery options using interactive fuzzy goal programming. Appl Math Model 39 (9), 2661–2702.

Sun, C.W., Meng, X.C., Peng, S.J., 2017. Effects of waste-to-energy plants on China's urbanization: evidence from a hedonic price analysis in Shenzhen. Sustainability 9 (3).

Tong, X., Tao, D., Lifset, R., 2018. Varieties of business models for post-consumer recycling in China. J Clean Prod 170, 665–673.

Torretta, V., Rada, E.C., Ragazzi, M., Trulli, E., Istrate, I.A., Cioca, L.I., 2015. Treatment and disposal of tyres: two EU approaches. A review. Waste Manag. 45, 152–160. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.018.

Uruburu, A., Ponce-Cueto, E., Ramon Cobo-Benita, J., et al., 2013. The new challenges of end-of-life tyres management systems: a Spanish case study. Waste Management 33 (3), 679–688.

Van Breusegem, W., 2009. The principle of Extended Producer Responsibility, for Bruxelles Environnement. Brussels.

Van Breusegem, W., Gonser, J., 2017. Implementation of the Shared Environmental Information System principles and practices in the Eastern Partnership countries (SEIS II East) - waste statistics; Waste Statistics Guidance: Waste Management Glossary. Brussels.

Vergara, S.E., Damgaard, A., Gomez, D., 2016. The efficiency of informality: quantifying greenhouse gas reductions from informal recycling in Bogota, Colombia. J. Ind. Ecol. 20, 107-119.

Vermeulen, W.J.V., Reike, D., Witjes, S., 2018. Circular economy 3.0. renewablematter 27, 13-15.

Vermeulen, W.J.V.V., Weterings, R.P.M., 1997. Extended Producer Responsibility: moving from end-of-life management towards public-private commitment to innovation in product life-cycles. J. Clean Technol. Environ. Toxicol. Occup. Med. 6, 283e298.

Verschoor, A.J., Bodar, C.W.M., Baumann, R.A., 2018. Verkenning Milieueffecten Rubbergranulaat Bij Kunstgrasvelden (Bilthoven, Nederland).

VVSG, 2018. Personal Communication on 29 March. Association of Flemish Cities and Municipalities, Brussels.

WBCSD, 2010. End-of-Life Tires: A framework for effective management systems. Appendix [WWW Document]. URL http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/appendices-a-framework-for-effective-elt-managementsystems-final-25.6.10.pdf.

WFD 2018/851, 2018. WFD amendment 2018/851 [WWW document]. Off. J. Eur.Union.

Winternitz, K., Heggie, M., Baird, J., 2019. Extended producer responsibility for waste tyres in the EU: lessons learnt from three case studies e Belgium, Italy and The Netherlands. Waste Manag. 89, 386-396. https://doi.org/10.1016/ j.wasman.2019.04.023.

Yadollahinia, M., Teimoury, E., Paydar, M.M., 2018. Tire forward and reverse supply chain design considering customer relationship management. Resources Conservation and Recycling 138, 215–228.

Zarei, M., Taghipour, H., Hassanzadeh, Y., 2018. Survey of quantity and management condition of end-of-life tires in Iran: a case study in Tabriz. J. Mater. Cycles Waste Manag. 20, 1099-1105. https://doi.org/10.1007/s10163-017-0674-5.

Zhu, Q., Sarkis, J., Lai, K.-h., 2014. Supply chain-based barriers for truck-engine remanufacturing in China. Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review 68, 103–117.

7. Anexos

9. Anexos

9.1 Estrategias de búsqueda

1.- Lexis Nexis Total Patent One

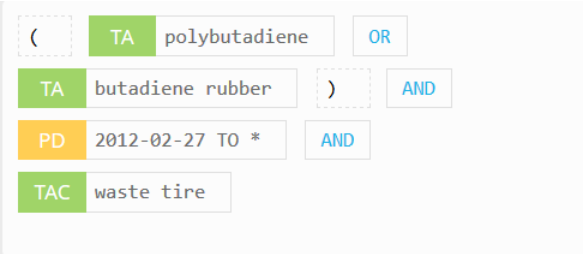
1.1.- “Scrap tire OR scrap tyre OR tire crumb OR tyre crumb”

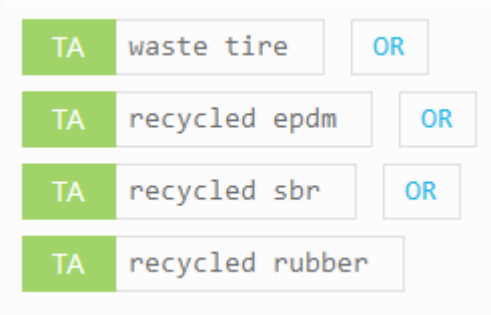
1.2.- “tire oil OR tire fuel OR tire gas OR tyre oil OR tyre fuel OR tyre gas”

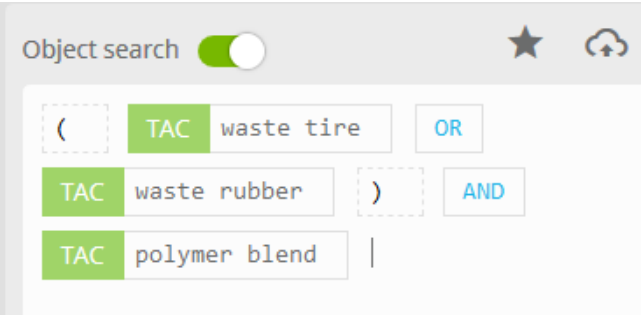
1.3.- “pyrolysis” → 825 patent families

1.4.- (Polybutadiene OR butadiene rubber) AND (waste tire) AND Date after (2012-02-27)

Graphic example of 1.4







Leyenda: TA = title + Abstract; PD: data after; TAC= title, abstract, claims; IPC = classifications

2.- Clarivate Web of Science

2.1.- TS=(((((tdf) AND (tire)) OR (tire derived oil) OR (tire derived gas) OR (tire derived fuel) OR ((tire) AND ((biodiesel) OR (gas))) OR ((tire) NEAR ((oil) OR (gas)))) NOT (((fiber) OR (tenofovir) OR (vir*) OR (*vir) OR (forest*) OR (human) OR (disease) OR (therap*) OR (health) OR (cattle) OR (animal)))))→ 1.913 records

2.2.- TS=(((crumb rubber) OR ((scrap) AND (tire)) OR (shredded tire)) NOT (Adiabatic passage)) → 3.253 records

2.3.- TS=((pyrolysis) AND (TIRE OR BUTATIENE)) → 1.375 records

All searches in Indexes=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, CCR-EXPANDED, IC Timespan=All years

3.1 TS=((recycl* tire) OR (recycl* rubber) OR (recycl* SBR) OR (Recycl* EPDM) OR (recycl* waste tire) OR (recycl* tyre)) →3403 records

Timespan: All years. Indexes: SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH, ESCI, CCR-EXPANDED, IC.

9.2 Algunas aplicaciones concretas extraídas de las patentes

- Como cemento de alta tracción en la construcción

The invention discloses anti-tensile lightweight environment-friendly cement based artificial stone and a preparation process thereof. The artificial stone comprises, by weight, 40-60 parts of white cement, 30-50 parts of hydroxylated coal ash, 15-25 parts of mineral slag, 10-20 parts of river sand, 25-40 parts of gravel, 10-15 parts of waste tire powder, 10-15 parts of methacrylic monomer, 15-20parts of carboxy-terminated liquid butadiene-acrylonitrile rubber, 0.5-1 part of initiator, 0.5-1 part of catalyst, 5-15 parts of urea, 10-15 parts of activator, 1-3 parts of silane coupling agent and60-70 parts of water, the hydroxylated coal ash is prepared by allowing hydrothermal reaction of coal ash and sodium hydroxide solution and then acidifying, and the activator is obtained by mixing sodium peroxide, calcia and zinc sulfate according to a mass ratio of 2:5:1. The artificial stone is light in weight, high in toughness and tensile strength, excellent in heat-insulating performance and easy for construction. CN201811483723

- Recubrimiento impermeable para construcción

The invention belongs to the technical field of building materials, and provides a novel high-temperature-resistant non-curing waterproof coating. The coating is composed of the following components in percentage by weight: 25-35% of asphalt, 15-30% of rubber oil, 10-20% of waste tire rubber powder, 5-10% of styrene-butadiene rubber, 1-3% of styrene-butadiene-styrene (SBS), 4-10% of tackifying resin, 10-20% of fly ash, 2-5% of a high-temperature modifier and 2-5% of a viscosity reducer, wherein the high-temperature modifier is a BL modifier or polyamide wax. CN201910259125

- Como film y soporte para viñas

The invention relates to a waste rubber recycling technology, and concretely relates to an environmentally-friendly grape trellis based on reclaimed rubber material. The reclaimed rubber

material comprises, by weight, 80-100 parts of waste rubber powder, 20-50 parts of silicone rubber, 10-30 parts of styrene-butadiene rubber nitrile-butadiene rubber, 5-10 parts of a garlic juice, 5-10 parts of diphenyl disulfide, 20-40 parts of sulfur powder, 10-20 parts of zinc dimethyl dithiocarbamate, 30-40 parts of stearic acid-modified diatomite, 10-20 parts of short polyester elastic yarns, 300-500 parts of tetraethoxysilane, 1-5 parts of a plasticizer, 4-10 parts of dispersant and 1-5 parts of an anti-aging agent. The environmentally-friendly grape trellis based on the reclaimed rubber material has the advantages of the high elasticity, high toughness, non-fracture and good corrosion resistance, and also achieves the purposes of greatly reducing the environmental protection pressure, recycling waste and creating economic benefits by reusing the waste rubber powder. CN110229399A

- Como ingrediente para material absorbente

The invention relates to a preparation method of a broad-band high-strength carbon-based composite absorbing material, and belongs to the technical field of material processing. The method comprises:weighing barium carbonate, titanium dioxide, cobalt oxide and ferriferrous oxide, and performing ball milling and sieving to obtain sieved powder; adding aluminium isopropoxide to an aluminium nitratesolution, and performing stirring mixing, water-bath heating and collection to obtain a mixed liquid; adding tetraethoxysilane to the mixed liquid drop by drop, and after the dropwise addition is completed, performing stirring mixing and water-bath heating to obtain a base liquid; performing stirring mixing between a polyving akohol solution and the base liquid, performing aging, and carrying filtration to obtain a filtrate; performing stirring mixing between the filtrate and the sieved powder, and performing ultrasonic dispersion and collection to obtain a dispersed thick liquid; performingstirring mixing between waste tyre and styrene butadiene rubber powder, and performing ball milling and sieving to obtain mixed rubber powder; and weighing the dispersed thick liquid, mixed rubber powder, and carbon powder, and performing stirring mixing to obtain a precursor thick liquid; and pouring the precursor thick liquid in a die, performing thermal-insulation calcination, raising the temperature, performing thermal-insulation sintering, and performing cooling to achieve the room temperature, thereby obtaining the broad-band high-strength carbon-based composite absorbing material. CN107698257A

- Como mejorante en espumas poliuretánicas:

The invention discloses a soft and highly-elastic plant type soft polyurethane foam for seamless wallpaper. The soft and highly-elastic plant type soft polyurethane foam is prepared from, by weight, 0.07-0.08 parts of triethylamine, 0.2-0.26 parts of dibutyltin dilaurate, 0.28-0.34 parts of water, 56-58 parts of 2,4-toluene diisocyanate, 0.9-1.1 parts of an organosilicon foam stabilizer, 85-87 parts of polyethylene glycol 400, 9.5-10 parts of glycerin, 18-20 parts of corn straws, 0.4-0.5 parts of phosphate ester, 0.1-0.2 parts of trifluoroiodomethane, 1.2-1.4 parts of styrene-butadiene-styrene block copolymer, 0.1-0.2 parts of stannous octoate, a proper amount of a 0.2% sodium hydroxide solution, 9-10 parts of waste tire rubber powder and 3-3.2 parts of concentrated sulfuric acid. The phosphate ester and the styrene-butadiene-styrene block copolymer are used in the invention, so the softness and the elasticity of the polyurethane foam are improved. CN105238002A

- Como aditivo en cola para asfalto:

The invention discloses environment-friendly intermediate-temperature pavement pouring glue and a preparation method thereof. The intermediate-temperature pavement pouring glue is prepared by components in parts by mass as follows: 100 parts of petroleum asphalt, 25-60 parts of waste tyre

rubber powder, 5-45 parts of styrene-butadiene-styrene segmented copolymer, 20-100 parts of capacity-increasing component, 4-15 parts of high-temperature viscosity reducing component and 3-20 parts of plasticizer, wherein the capacity-increasing component is cycloalkyl rubber oil or engine oil or a mixture thereof in any proportion; and the high-temperature viscosity reducing component is one of wax or stearamide or a mixture thereof in any proportion. The environment-friendly intermediate-temperature pavement pouring glue disclosed by the invention is used for construction at intermediate temperature, energy-saving and environment-friendly and good in mobility of pouring crack. Patente CN201310022528

- Como hormigonado asfáltico

The invention relates to wear-resistant asphalt concrete and a production method thereof. The wear-resistant asphalt concrete comprises the following components in percentage by mass: 70-75 percent of a fine aggregate, 9-12 percent of a scrap steel leftover, 1-3 percent of metallurgical powder, 1-3 percent of waste rubber powder, 6-8 percent of water and 6-8 percent of styrene-butadiene rubber-modified emulsified asphalt. CN201410699837

- Como hormigón asfáltico impermeable

A waterproof asphalt concrete composition, composed of: 5-35 parts by weight of styrene isoprene styrene; 5-35 parts by weight of styrene butadiene styrene; 5-35 parts by weight of petroleum resin adding hydrogen; 500-2,000 parts by weight of an aggregate; 30-150 parts by weight of micropowder aggregate; 0.1-2 parts by weight of recycled rubber powder; 0.5-25 parts by weight of an ethylene-propylene copolymer; and 0.1-2 parts by weight of cellulosic fibers, with respect to 100 parts by weight of asphalt, and also relates to a waterproof integrated bridge surface crack part repairing method using the composition. Therefore, the bridge surface pavement waterproof asphalt concrete composition using hydrogen-added petroleum resin, SIS, AND SBS can have excellent waterproofing properties and durability by having high cohesion and high binding force, avoid easy plastic deformation, aging and/or delamination, prevent infiltrating water and a port hole, prevent salt damage and neutralization, and repair a crack part on a bridge surface in an integrated way without any additional waterproof treatment. KR102054820B1

- Como suelo pisable en lugares públicos

The invention discloses a plastic mat for a plaza. The plastic mat is prepared by combining the following raw materials in parts: 100 parts of PU particles, 5 to 15 parts of SBR (Styrene Butadiene Rubber), 10 to 35 parts of dibutyl phthalate, 5 to 20 parts of waste tire rubber and 1 to 5 parts of zinc stearate. The plastic mat for the plaza is high in flatness, stable in physical performance, high in elasticity and favorable for the health and exercise of people. CN201510884465

- Baldosas para suelo pisable

A paving tile is made of a first rubber material and a second rubber material that is dissimilar from the first rubber material. The first rubber material may be a recycled rubber material, such as crumb rubber granules from scrap vehicle tires. The second rubber material may be a nitrile rubber material, such as nitrile butadiene rubber (NBR) US20170174875A1

- Como mueble (mesas comedor)

The invention provides a non-slip mat manufactured through waste tires and used for a dining table and relates to the technical field of recycling of rubber products. The non-slip mat is characterized by being prepared from, by weight, 16 parts of tires, 8 parts of butadiene-acrylonitrile rubber, 3 parts of nano-clay, 4 parts of calcium oxide, 3 parts of polyacrylate rubber, 4 parts of silicon dioxide, 3 parts of zinc phosphate, 3 parts of sodium alkyl benzene sulfonate, 2 parts of straw ash, 2 parts of reactive polyamide resin, 1 part of Sudan red, 3 parts of polydimethylsiloxane, 2 parts of maleic anhydride, 1 part of succinic acid, 2 parts of diethanol amine, 5 parts of vinyltriethoxysilane and 9 parts of adjusting auxiliaries. The non-slip mat is reasonable in method, easy to operate and reasonable in matching. CN105273274A

- En un supercondensador

Development of a facial and economic method for making a Supercapacitor from waste tires. The present invention utilizes scrap tire for the production of multi-metal nanoparticle embedded tire char (MTC) which serves as a precursor for supercapacitor application. Synthesis involves pyrolysis of scrap tire at high temperature in a laboratory-assembled glass assembly. High surface area of the precursor along with inbuilt additive derived heteroatoms in the tire contributes to achieve the higher capacitance. The MTC exhibit high specific capacitance and charge-discharge cycles stability. Sulphur effectively improves the wetting behavior of the carbon whereas metal nanoparticles induce fast and reversible faradic process by charge transfer between electrode and electrolyte complements. IN201921033661A

- Como papel conductor para condensadores

A method of making a supercapacitor from waste tires, includes the steps of providing rubber pieces and contacting the rubber pieces with a sulfonation bath to produce sulfonated rubber; pyrolyzing the sulfonated rubber to produce a tire-derived carbon composite comprising carbon black embedded in rubber-derived carbon matrix comprising graphitized interface portions; activating the tire-derived carbon composite by contacting the tire-derived carbon composite with a specific surface area-increasing composition to increase the specific surface area of the carbon composite to provide an activated tire-derived carbon composite; and, mixing the activated tire-derived carbon composite with a monomer and polymerizing the monomer to produce a redox-active polymer coated, activated tire-derived carbon composite. The redox-active polymer coated, activated tire-derived carbon composite can be formed into a film. An electrode and a supercapacitor are also disclosed. US10460881B2

- Como electrodos de carbon

A capacitive deionization system includes first and second electrodes comprising tire derived carbon particles obtained from a carbonaceous waste-tire source material containing carbon black. A conductive polymer coating on the carbon particles forms coated carbon particles. The first electrode and the second electrode define a flow channel there between, having a first opening for conducting saline solution into the flow channel and a second opening for conducting treated saline solution from the flow channel. A first current collector is provided for the first electrode and a second current collector is provided for the second electrode. An electrical connection between the first and second electrodes. A method of making a system for the capacitive deionization of a salt from a liquid, and a method for the capacitive desalination of a saline solution are also disclosed. WO2019147790A1

- Como aislante para cables

An insulating cable having a thermal curing improvement structure which suppresses transferring of high heat generated in a conductor in a core to an insulating cable sheath and internal filling materials and embeds an elastic insert of a composite structure to provide elastic force which is one of requirements characteristics of the insulating cable even when thermal curing is performed so as to fundamentally prevent disconnection and a short circuit for the core, secure quality stability, and minimize characteristic degradation of the cable, and a manufacturing method thereof. According to the present invention, the insulating cable comprises: a plurality of cores formed by coating an insulating material on a conductor; a filling material for protecting the characteristics of the insulating material and filling a space formed between the plurality of cores to maintain a circular shape; and a sheath for protecting the inside of the cable as a thermoplastic resin, wherein a shielding member for suppressing smoking is formed on an outer circumferential surface of the core, and an elastic insert formed by combining waste tire granules and a lattice support is molded between the filling material and the sheath, thereby significantly delaying thermal degradation or deterioration phenomenon to minimize characteristic degradation of the cable and lowering risk of disconnection or a short circuit due to external force to maintain quality stability as much as possible. KR101915637B1

- Como gomas para electrodomésticos

A resin composition for a washing machine hose with improved moldability and durability. The resin component comprises a rubber component, a carbon black mixture and an additive. The rubber component comprises ethylene-propylene diene monomer rubber (EPDM) and a first polymer resin at a weight ratio of 90 : 10 to 95 : 5. The additive consists of bone coal, process oil, zinc oxide, stearic acid, sulfur, a first curing catalyst, a second curing catalyst, a third curing catalyst, a fourth curing catalyst and an antibiotic adjuvant.
<ul id=\"reference_numerals\">
(AA) First step of ethylene-propylene rubber (EPDM) being placed in a sealed kneader at a rate of 30 rpm and 110 °C temperature for 1 minute
(BB) Second step of manufacturing the first polymer resin using waste tires
(CC) Third step of preparing a rubber component by adding the first polymer resin to the kneader equipped with ethylene-propylene rubber (EPDM) and mixing the same
(DD) Fourth step of cooling the temperature of the kneader to room temperature, adding zinc oxide and mixing at 30 rpm for 2 to 5 minutes
(EE) Fifth step of preparing a carbon black mixture
(FF) Sixth step of adding a carbon black mixture to the kneader and mixing same at 30 rpm for 10 minutes
(GG) Seventh step of preparing an antimicrobial adjuvant
(HH) Eighth step of mixing the antimicrobial adjuvant with the process oil for 30 seconds at 3000 rpm, then added to the kneader with hard coal and stearic acid, and mixed at 30 rpm for 15 minutes
(II) Ninth step of preparing a mixture by raising the kneader to a temperature of 120 °C to 150 °C, adding sulfur and first to fourth vulcanization accelerators and mixing at 15 rpm for 10 minutes
(JJ) Tenth step of leaving the mixture at room temperature for 6 hours
(KK) Eleventh step of mixing the mixture at room temperature for 15 minutes in a roll mill at a temperature of 80 °. KR102025165B1

- Como panel aislante térmico

Integrated thermal insulation panel by at least 2 characterized in that the first tile tile comprises a thermosetting polymer resin mixed with wastes originating from tires out of use (NFU) which have rubber particles and textile fibers, while the second tile comprises a matrix of gypsum mixed with inorganic wastes originating from tires out of use (NFU) which have rubber particles and textile fibers. ES1225580Y

- Como tejidos complejos

A method for manufacturing a composite fabric, which can be used as, a cloth, for clothing and a bag for a bag by recycling a, waste tire and molding the waste tire together. with one additive, thereby providing a composite fabric having excellent tensile strength, elongation, and durability. KR1020200005204A

9.3 Definiciones de las clasificaciones de patentes cubiertas por la pirólisis y el reciclado de neumáticos (con el número de familias de patentes para cada clasificación, relacionado con la matriz 1 de pirólisis)

# familias de patentes	# Instancias	IPC: clasificaciones
488	693	**C10G**: Chemistry; Metallurgy -> Petroleum, Gas Or Coke Industries; Technical Gases Containing Carbon Monoxide; Fuels; Lubricants; Peat -> Cracking Hydrocarbon Oils; Production Of Liquid Hydrocarbon Mixtures
355	686	**C10B**: Chemistry; Metallurgy -> Petroleum, Gas Or Coke Industries; Technical Gases Containing Carbon Monoxide; Fuels; Lubricants; Peat -> Destructive Distillation Of Carbonaceous Materials For Production Of Gas, Coke, Tar, Or Similar Materials
163	229	**C09C**: Chemistry; Metallurgy -> Dyes; Paints; Polishes; Natural Resins; Adhesives; Compositions Not Otherwise Provided For; Applications Of Materials Not Otherwise Provided For -> Treatment Of Inorganic Materials, Other Than Fibrous Fillers, To Enhance Their Pigmenting Or Filling Properties; Preparation Of Carbon Black
146	163	**C08J**: Chemistry; Metallurgy -> Organic Macromolecular Compounds; Their Preparation Or Chemical Working-Up; Compositions Based Thereon -> Working-Up; General Processes Of Compounding; After-Treatment Not Covered By Subclasses C08b, C08c, C08f, C08g Or C08h
131	250	**B01J**: Performing Operations; Transporting -> Physical Or Chemical Processes Or Apparatus In General -> Chemical Or Physical Processes
113	143	**C01B**: Chemistry; Metallurgy -> Inorganic Chemistry -> Non-Metallic Elements; Compounds Thereof
84	166	**C08L**: Chemistry; Metallurgy -> Organic Macromolecular Compounds; Their Preparation Or Chemical Working-Up; Compositions Based Thereon -> Compositions Of Macromolecular Compounds
83	201	**C08K:** Chemistry; Metallurgy -> Organic Macromolecular Compounds; Their Preparation Or Chemical Working-Up; Compositions Based Thereon -> Use Of Inorganic Or Non-Macromolecular Organic Substances As Compounding Ingredients
81	132	F23G: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Combustion Apparatus; Combustion Processes -> Cremation Furnaces; Consuming Waste Or Low Grade Fuels By Combustion

80	100	B29B: Performing Operations; Transporting -> Working Of Plastics; Working Of Substances In A Plastic State In General -> Preparation Or Pretreatment Of The Material To Be Shaped; Making Granules Or Preforms; Recovery Of Plastics Or Other Constituents Of Waste Material Containing Plastics
75	78	B09B: Performing Operations; Transporting -> Disposal Of Solid Waste; Reclamation Of Contaminated Soil -> Disposal Of Solid Waste
65	114	C10J: Chemistry; Metallurgy -> Petroleum, Gas Or Coke Industries; Technical Gases Containing Carbon Monoxide; Fuels; Lubricants; Peat -> Production Of Gases Containing Carbon Monoxide And Hydrogen From Solid Carbonaceous Materials By Partial Oxidation Processes Involving Oxygen Or Steam ; Carburetting Air Or Other Gases
55	125	B01D: Performing Operations; Transporting -> Physical Or Chemical Processes Or Apparatus In General -> Separation
54	85	C10L: Chemistry; Metallurgy -> Petroleum, Gas Or Coke Industries; Technical Gases Containing Carbon Monoxide; Fuels; Lubricants; Peat -> Fuels Not Otherwise Provided For; Natural Gas; Synthetic Natural Gas Obtained By Processes Not Covered By Subclasses C10g Or C10k; Liquefied Petroleum Gas; Use Of Additives To Fuels Or Fires; Fire-Lighters
50	67	B60C: Performing Operations; Transporting -> Vehicles In General -> Vehicle Tyres; Tyre Inflation; Tyre Changing; Connecting Valves To Inflatable Elastic Bodies In General; Devices Or Arrangements Related To Tyres
28	69	C07C: Chemistry; Metallurgy -> Organic Chemistry -> Acyclic Or Carbocyclic Compounds
27	62	C04B: Chemistry; Metallurgy -> Cements; Concrete; Artificial Stone; Ceramics; Refractories -> Lime; Magnesia; Slag; Cements; Compositions Thereof
24	37	C02F: Chemistry; Metallurgy -> Treatment Of Water, Waste Water, Sewage, Or Sludge -> Treatment Of Water, Waste Water, Sewage, Or Sludge
19	22	B29C: Performing Operations; Transporting -> Working Of Plastics; Working Of Substances In A Plastic State In General -> Shaping Or Joining Of Plastics; Shaping Of Material In A Plastic State, Not Otherwise Provided For; After-Treatment Of The Shaped Products
18	24	C10K: Chemistry; Metallurgy -> Petroleum, Gas Or Coke Industries; Technical Gases Containing Carbon Monoxide; Fuels; Lubricants; Peat -> Purifying Or Modifying The Chemical Composition Of Combustible Gases Containing Carbon Monoxide
17	49	C12P: Chemistry; Metallurgy -> Biochemistry; Beer; Spirits; Wine; Vinegar; Microbiology; Enzymology; Mutation Or Genetic Engineering -> Fermentation Or Enzyme-Using Processes To Synthesise A Desired Chemical Compound Or Composition Or To Separate Optical Isomers From A Racemic Mixture

16	17	C12N: Chemistry; Metallurgy -> Biochemistry; Beer; Spirits; Wine; Vinegar; Microbiology; Enzymology; Mutation Or Genetic Engineering -> Microorganisms Or Enzymes; Compositions Thereof; Propagating, Preserving, Or Maintaining Microorganisms; Mutation Or Genetic Engineering; Culture Media
14	38	C08G: Chemistry; Metallurgy -> Organic Macromolecular Compounds; Their Preparation Or Chemical Working-Up; Compositions Based Thereon -> Macromolecular Compounds Obtained Otherwise Than By Reactions Only Involving Carbon-To-Carbon Unsaturated Bonds
13	13	C12M: Chemistry; Metallurgy -> Biochemistry; Beer; Spirits; Wine; Vinegar; Microbiology; Enzymology; Mutation Or Genetic Engineering -> Apparatus For Enzymology Or Microbiology
13	24	F27B: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Furnaces; Kilns, Ovens Or Retorts -> Furnaces, Kilns, Ovens, Or Retorts In General; Open Sintering Or Like Apparatus
13	46	H01M: Electricity -> Basic Electric Elements -> Processes Or Means
12	29	B65G: Performing Operations; Transporting -> Conveying; Packing; Storing; Handling Thin Or Filamentary Material -> Transport Or Storage Devices
12	18	G01N: Physics -> Measuring; Testing -> Investigating Or Analysing Materials By Determining Their Chemical Or Physical Properties
10	17	B02C: Performing Operations; Transporting -> Crushing, Pulverising, Or Disintegrating; Preparatory Treatment Of Grain For Milling -> Crushing, Pulverising, Or Disintegrating In General; Milling Grain
10	10	C08C: Chemistry; Metallurgy -> Organic Macromolecular Compounds; Their Preparation Or Chemical Working-Up; Compositions Based Thereon -> Treatment Or Chemical Modification Of Rubbers
10	19	C22B: Chemistry; Metallurgy -> Metallurgy; Ferrous Or Non-Ferrous Alloys; Treatment Of Alloys Or Non-Ferrous Metals -> Production Or Refining Of Metals; Pretreatment Of Raw Materials
10	10	C25B: Chemistry; Metallurgy -> Electrolytic Or Electrophoretic Processes; Apparatus Therefor -> Electrolytic Or Electrophoretic Processes For The Production Of Compounds Or Non- Metals; Apparatus Therefor
9	11	B03C: Performing Operations; Transporting -> Separation Of Solid Materials Using Liquids Or Using Pneumatic Tables Or Jigs; Magnetic Or Electrostatic Separation Of Solid Materials From Solid Materials Or Fluids; Separation By High-Voltage Electric Fields -> Magnetic Or Electrostatic Separation Of Solid Materials From Solid Materials Or Fluids; Separation By High-Voltage Electric Fields

8	9	B29D: Performing Operations; Transporting -> Working Of Plastics; Working Of Substances In A Plastic State In General -> Producing Particular Articles From Plastics Or From Substances In A Plastic State
8	9	B32B: Performing Operations; Transporting -> Layered Products -> Layered Products
8	14	C10C: Chemistry; Metallurgy -> Petroleum, Gas Or Coke Industries; Technical Gases Containing Carbon Monoxide; Fuels; Lubricants; Peat -> Working-Up Tar, Pitch, Asphalt, Bitumen; Pyroligneous Acid
8	14	E01F: Fixed Constructions -> Construction Of Roads, Railways, Or Bridges -> Additional Work, Such As Equipping Roads Or The Construction Of Platforms, Helicopter Landing Stages, Signs, Snow Fences, Or The Like
8	8	E02D: Fixed Constructions -> Hydraulic Engineering; Foundations; Soil-Shifting -> Foundations; Excavations; Embankments; Underground Or Underwater Structures
7	8	B08B: Performing Operations; Transporting -> Cleaning -> Cleaning In General; Prevention Of Fouling In General
7	22	C09J: Chemistry; Metallurgy -> Dyes; Paints; Polishes; Natural Resins; Adhesives; Compositions Not Otherwise Provided For; Applications Of Materials Not Otherwise Provided For -> Adhesives; Non-Mechanical Aspects Of Adhesive Processes In General; Adhesive Processes Not Provided For Elsewhere; Use Of Materials As Adhesives
7	7	H01B: Electricity -> Basic Electric Elements -> Cables; Conductors; Insulators; Selection Of Materials For Their Conductive, Insulating Or Dielectric Properties
6	7	B82Y: Performing Operations; Transporting -> Nanotechnology -> Specific Uses Or Applications Of Nanostructures; Measurement Or Analysis Of Nanostructures; Manufacture Or Treatment Of Nanostructures
6	17	C09D: Chemistry; Metallurgy -> Dyes; Paints; Polishes; Natural Resins; Adhesives; Compositions Not Otherwise Provided For; Applications Of Materials Not Otherwise Provided For -> Coating Compositions
6	6	F27D: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Furnaces; Kilns, Ovens Or Retorts -> Details Or Accessories Of Furnaces, Kilns, Ovens, Or Retorts, In So Far As They Are Of Kinds Occurring In More Than One Kind Of Furnace
5	5	B03B: Performing Operations; Transporting -> Separation Of Solid Materials Using Liquids Or Using Pneumatic Tables Or Jigs; Magnetic Or Electrostatic Separation Of Solid Materials From Solid Materials Or Fluids; Separation By High-Voltage Electric Fields -> Separating Solid Materials Using Liquids Or Using Pneumatic Tables Or Jigs

5	5	B05D: Performing Operations; Transporting -> Spraying Or Atomising In General; Applying Liquids Or Other Fluent Materials To Surfaces, In General -> Processes For Applying Liquids Or Other Fluent Materials To Surfaces, In General
5	5	B07C: Performing Operations; Transporting -> Separating Solids From Solids; Sorting -> Postal Sorting; Sorting Individual Articles, Or Bulk Material Fit To Be Sorted Piece-Meal
5	5	F28D: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Heat Exchange In General -> Heat-Exchange Apparatus, Not Provided For In Another Subclass, In Which The Heat-Exchange Media Do Not Come Into Direct Contact; Heat Storage Plants Or Apparatus In General
4	7	7C 10G
4	8	C11B: Chemistry; Metallurgy -> Animal Or Vegetable Oils, Fats, Fatty Substances Or Waxes; Fatty Acids Therefrom; Detergents; Candles -> Producing
4	6	C21B: Chemistry; Metallurgy -> Metallurgy Of Iron -> Manufacture Of Iron Or Steel
4	6	F16L: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Engineering Elements Or Units; General Measures For Producing And Maintaining Effective Functioning Of Machines Or Installations; Thermal Insulation In General -> Pipes; Joints Or Fittings For Pipes; Supports For Pipes, Cables Or Protective Tubing; Means For Thermal Insulation In General
4	6	F23J: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Combustion Apparatus; Combustion Processes -> Removal Or Treatment Of Combustion Products Or Combustion Residues; Flues
4	15	H01G: Electricity -> Basic Electric Elements -> Capacitors; Capacitors, Rectifiers, Detectors, Switching Devices, Light-Sensitive Or Temperature-Sensitive Devices Of The Electrolytic Type
4	7	H01L: Electricity -> Basic Electric Elements -> Semiconductor Devices; Electric Solid State Devices Not Otherwise Provided For
3	5	B22F: Performing Operations; Transporting -> Casting; Powder Metallurgy -> Working Metallic Powder; Manufacture Of Articles From Metallic Powder; Making Metallic Powder; Apparatus Or Devices Specially Adapted For Metallic Powder
3	3	B29L: Performing Operations; Transporting -> Working Of Plastics; Working Of Substances In A Plastic State In General -> Indexing Scheme Associated With Subclass B29c, Relating To Particular Articles
3	4	C01G: Chemistry; Metallurgy -> Inorganic Chemistry -> Compounds Containing Metals Not Covered By Subclasses C01d Or C01f

3	4	C10M: Chemistry; Metallurgy -> Petroleum, Gas Or Coke Industries; Technical Gases Containing Carbon Monoxide; Fuels; Lubricants; Peat -> Lubricating Compositions; Use Of Chemical Substances Either Alone Or As Lubricating Ingredients In A Lubricating Composition
3	4	E21B: Fixed Constructions -> Earth Or Rock Drilling; Mining -> Earth Or Rock Drilling; Obtaining Oil, Gas, Water, Soluble Or Meltable Materials Or A Slurry Of Minerals From Wells
3	4	F02B: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Combustion Engines; Hot-Gas Or Combustion-Product Engine Plants -> Internal-Combustion Piston Engines; Combustion Engines In General
3	8	F26B: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Drying -> Drying Solid Materials Or Objects By Removing Liquid Therefrom
3	5	H05B: Electricity -> Electric Techniques Not Otherwise Provided For -> Electric Heating; Electric Lighting Not Otherwise Provided For
2	2	7B 29B 17/00 A
2	3	7C 10B
2	3	A01N: Human Necessities -> Agriculture; Forestry; Animal Husbandry; Hunting; Trapping; Fishing -> Preservation Of Bodies Of Humans Or Animals Or Plants Or Parts Thereof; Biocides
2	3	A61P: Human Necessities -> Medical Or Veterinary Science; Hygiene -> Specific Therapeutic Activity Of Chemical Compounds Or Medicinal Preparations
2	3	A62D: Human Necessities -> Life-Saving; Fire-Fighting -> Chemical Means For Extinguishing Fires; Processes For Making Harmful Chemical Substances Harmless, Or Less Harmful, By Effecting A Chemical Change; Composition Of Materials For Coverings Or Clothing For Protecting Against Harmful Chemical Agents; Composition Of Materials For Transparent Parts Of Gas-Masks, Respirators, Breathing Bags Or Helmets; Composition Of Chemical Materials For Use In Breathing Apparatus
2	2	B07B: Performing Operations; Transporting -> Separating Solids From Solids; Sorting -> Separating Solids From Solids By Sieving, Screening, Or Sifting Or By Using Gas Currents; Other Separating By Dry Methods Applicable To Bulk Material
2	2	B23K: Performing Operations; Transporting -> Machine Tools; Metal-Working Not Otherwise Provided For -> Soldering Or Unsoldering; Welding; Cladding Or Plating By Soldering Or Welding; Cutting By Applying Heat Locally
2	2	C01D: Chemistry; Metallurgy -> Inorganic Chemistry -> Compounds Of Alkali Metals

2	10	C01F: Chemistry; Metallurgy -> Inorganic Chemistry -> Compounds Of The Metals Beryllium, Magnesium, Aluminium, Calcium, Strontium, Barium, Radium, Thorium, Or Of The Rare Earth Metals
2	3	C05F: Chemistry; Metallurgy -> Fertilisers; Manufacture Thereof -> Organic Fertilisers Not Covered By Subclasses C05b, C05c
2	4	C06B: Chemistry; Metallurgy -> Explosives; Matches -> Explosive Or Thermic Compositions; Manufacture Thereof; Use Of Single Substances As Explosives
2	2	C08F: Chemistry; Metallurgy -> Organic Macromolecular Compounds; Their Preparation Or Chemical Working-Up; Compositions Based Thereon -> Macromolecular Compounds Obtained By Reactions Only Involving Carbon-To-Carbon Unsaturated Bonds
2	3	C21C: Chemistry; Metallurgy -> Metallurgy Of Iron -> Processing Of Pig-Iron
2	3	C23C: Chemistry; Metallurgy -> Coating Metallic Material; Coating Material With Metallic Material; Chemical Surface Treatment; Diffusion Treatment Of Metallic Material; Coating By Vacuum Evaporation, By Sputtering, By Ion Implantation Or By Chemical Vapour Deposition, In General; Inhibiting Corrosion Of Metallic Material Or Incrustation In General -> Coating Metallic Material; Coating Material With Metallic Material; Surface Treatment Of Metallic Material By Diffusion Into The Surface, By Chemical Conversion Or Substitution; Coating By Vacuum Evaporation, By Sputtering, By Ion Implantation Or By Chemical Vapour Deposition, In General
2	2	F01K: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Machines Or Engines In General; Engine Plants In General; Steam Engines -> Steam Engine Plants; Steam Accumulators; Engine Plants Not Otherwise Provided For; Engines Using Special Working Fluids Or Cycles
2	2	F16D: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Engineering Elements Or Units; General Measures For Producing And Maintaining Effective Functioning Of Machines Or Installations; Thermal Insulation In General -> Couplings For Transmitting Rotation; Clutches; Brakes
2	2	F16K: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Engineering Elements Or Units; General Measures For Producing And Maintaining Effective Functioning Of Machines Or Installations; Thermal Insulation In General -> Valves; Taps; Cocks; Actuating-Floats; Devices For Venting Or Aerating
2	2	F23D: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Combustion Apparatus; Combustion Processes -> Burners
2	2	F23N: Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting -> Combustion Apparatus; Combustion Processes -> Regulating Or Controlling Combustion

2	2	G01M: Physics -> Measuring; Testing -> Testing Static Or Dynamic Balance Of Machines Or Structures; Testing Of Structures Or Apparatus, Not Otherwise Provided For
2	6	G06Q: Physics -> Computing; Calculating Or Counting -> Data Processing Systems Or Methods, Specially Adapted For Administrative, Commercial, Financial, Managerial, Supervisory Or Forecasting Purposes; Systems Or Methods Specially Adapted For Administrative, Commercial, Financial, Managerial, Supervisory Or Forecasting Purposes, Not Otherwise Provided For

9.4 Artículos científicos revisados

Titulo Articulo o Libro	Investigación experimental del rendimiento y las características de emisión de una turbina de gas en miniatura suministrada por mezclas de queroseno y aceite de pirólisis de neumáticos de desecho
Autores	T. Suchocki, L. Witanowski, P. Lampart, P. Kazimierski, K. Januszewicz, B. Gawron
Año	2021
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Investigación experimental del rendimiento y las características de emisión de una turbina de gas en miniatura suministrada por mezclas de queroseno y aceite de pirólisis de neumáticos de desecho. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220322325> [Consulta: 31/01/2021].
Palabras Clave	Aceite de pirólisis de neumáticos de desecho Pequeña turbina de gas Emisiones
Resumen	Los combustibles fósiles son fuentes de energía no renovables que podrían agotarse en un futuro próximo, lo que da lugar a una gran crisis energética. Científicos de todo el mundo están trabajando en nuevas tecnologías para producir combustible no sólo a partir de fuentes renovables, sino también a partir de residuos. Este artículo se refiere a: i) la gestión de neumáticos de desecho mediante el proceso de pirólisis, ii) la investigación de parámetros fisicoquímicos del aceite de pirólisis de neumáticos de desecho (TPO) y iii) la investigación del rendimiento y las características de emisión de un motor de turbina GTM-140 en miniatura suministrado por mezclas de queroseno y aceite de pirólisis de neumáticos de desecho. El objetivo final de la investigación es determinar la influencia de la composición de mezcla aplicada (entre el 10 y el 50% de la TPO en las mezclas) en los parámetros de rendimiento y emisión de una pequeña turbina de gas. Las temperaturas de entrada y salida de la turbina, el flujo de combustible, el empuje estático, el consumo de combustible específico de empuje (TSFC) y el índice de emisiones de NOx, CO, SO2 se miden en una amplia gama de carga de turbina. Las diferencias son las más mayores para las velocidades de rotación más altas, donde las temperaturas, TSFC y las emisiones de NOx tienden especialmente a aumentar con la creciente fracción de aceite pirolítico en las mezclas, en comparación con las del queroseno. Sin

	embargo, las emisiones de SO2 son menores para todas las mezclas en toda la gama de carga.
Ámbito de Aplicación	Neumático de desecho como agregado en combustible
Métodos o técnicas utilizadas	Pirólisis de neumáticos de desecho
Información Clave – Aspectos de Interés	• Se describe la gestión de neumáticos de desecho mediante el proceso de pirólisis. • Se investigan las propiedades fisicoquímicas del aceite de pirólisis de neumáticos de desecho. • Se investiga la turbina de gas suministrada por mezclas de JET A y el aceite de pirólisis de neumáticos. • Se observan valores ligeramente más altos de emisiones específicas de NOx y CO de empuje.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Reciclabilidad del caucho en los sistemas de carreteras asfálticas: Una revisión de la investigación aplicada y el avance de la tecnología
Autores	Vinay Hosahally Nanjegowda, Krishna Prapoorna Biligiri
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Reciclabilidad del caucho en los sistemas de carreteras asfálticas: Una revisión de la investigación aplicada y el avance de la tecnología. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919305610> [Consulta: 04/03/2021].
Palabras Clave	Reciclabilidad Miga de caucho Asfalto-caucho Impactos ambientales Conservación de recursos y energía Carretera verde
Resumen	La reciclabilidad de la miga de caucho (CR) de los neumáticos al final de su vida útil y su viabilidad comprobada en las aplicaciones de pavimentación asfáltica requiere una revisión crítica de varios límites del sistema. Este artículo revisa las tecnologías y el estado de la técnica relacionados con CR como modificador en aplicaciones de pavimentación asfáltica. Además, se revisaron las diferentes facetas de CR como técnicas de extracción, fuente, fisonomía, composición física y química, junto con su efecto sobre las propiedades y el medio ambiente de los materiales asfálticos, según se informó en diversas investigaciones. Los dos métodos de mezcla asfáltica modificados por CR: "húmedo" y "seco" también fueron documentados con un fuerte enfoque en sus limitaciones desde la ingeniería y las perspectivas ambientales. La ciencia detrás de la reacción del aglutinante CR-asfalto con diferentes parámetros empleados durante el procesamiento en relación con las propiedades reológicas y la estabilidad del

	almacenamiento fueron revisadas en detalle. Sobre la base de una extensa búsqueda, se encontró que existen más dimensiones para actualizar el producto modificador CR reciclable que tiene un enorme potencial para conservar los recursos naturales mediante la sustitución de agregados, así como reducir la huella ecológica y promover la sostenibilidad en pavimentos flexibles. A pesar de los beneficios multitudinales ofrecidos por CR, todavía existen formas futuristas de improvisar la actual tecnología de caucho asfáltico (AR) de última generación que convertiría al material especial en un prometedor producto de carretera verde capaz de conservar recursos y energía al tiempo que promueve la sostenibilidad en infraestructura.
Ámbito de Aplicación	Caucho en forma de fragmentos (migas) utilizados en los sistemas de carreteras asfálticas.
Métodos de las técnicas utilizadas	Técnica de mezcla de CRM con cemento asfáltico: proceso húmedo y proceso seco
Información Clave – Aspectos de Interés	• Fisonomía documentada y rasgos fisicoquímicos de materiales y mezclas de migas de caucho. • Se revisaron los problemas de durabilidad y almacenamiento asociados con las mezclas asfálticas modificadas por migas de caucho. • Estudios más recientes documentados relacionados con mezclas de asfalto modificadas por migas de caucho mejorada. • Se discutieron los aspectos de conservación de recursos, reciclabilidad y energía de los aditivos de migas de caucho. • La recopilación indica que hay un amplio margen para utilizar la miga de caucho como candidato en los pavimentos sostenibles
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Utilización de neumáticos de caucho de desecho desvulcanizados en el desarrollo de compuestos de aislamiento térmico
Autores	Waseem Hittini, Abdel-Hamid I. Mourad, Basim Abu-Jdayil
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Utilización de neumáticos de caucho de desecho devulcanizados en el desarrollo de compuesto de aislamiento térmico. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620345364> [Consulta: 31/01/2021].
Palabras Clave	Aislamiento térmico Material de construcción Desechos Neumático de goma desvulcanizado Reciclaje Polímero
Resumen	Este estudio tiene como objetivo investigar la posibilidad de reciclar neumáticos de caucho devulcanizados para su uso como rellenos para aislantes térmicos termoplásticos. Un neumático de goma desvulcanizado fue molido en polvo y

	luego mezclado con poliestireno en diferentes proporciones (0-50 wt%) utilizando un extrusor de fusión. La mezcla se transfirió a una prensa caliente para fabricar la muestra final. Se investigó el efecto del contenido de neumáticos de caucho devulcanizado en las propiedades físicas, térmicas y mecánicas de los compuestos de caucho-poliestireno devulcanizados. Las mediciones de conductividad térmica se verificaron utilizando modelos de conducción en serie y paralelos y el modelo Hashin y Shtrikman. Los compuestos con menos del 40 % de contenido de neumáticos de caucho devulcanizados exhibieron propiedades superiores, con conductividad térmica que oscila entre 0.0502 y 0.07084, densidad de 462.8 a 482.32 kg/m3, resistencia a la compresión de 11.66 a 7.47 MPa, y resistencia a la flexión de 40.4 a 19.26 MPa. Además, el tratamiento alcalino del neumático de caucho devulcanizado mejoró aún más las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica del compuesto. Los resultados están respaldados por técnicas de caracterización como la microscopía electrónica de barrido, el análisis termogravimétrico y la espectroscopia infrarroja de transformación de Fourier. El tratamiento químico se encontró para mejorar la coherencia entre el neumático de caucho devulcanizado tratado y el poliestireno. El novedoso compuesto de caucho devulcanizado-poliestireno se puede utilizar como un material de aislamiento alternativo debido a sus propiedades superiores en comparación con las de los materiales de aislamiento convencionales. Además, las implicaciones ambientales y económicas del uso de neumáticos de caucho desvulcanizados-compuestos de poliestireno como un nuevo material de aislamiento se discuten en este documento.
Ámbito de Aplicación	Neumáticos de caucho desvulcanizados como rellenos para aislantes térmicos termoplásticos
Métodos o técnicas utilizadas	Prensa caliente
Información Clave – Aspectos de Interés	• El compuesto de aislamiento térmico fue desarrollado mediante la utilización de residuos de caucho devulcanizados. • Los compuestos muestran un aislamiento térmico superior y capacidad de construcción. • Se aplicó un tratamiento químico a las partículas de desecho de caucho desvulcanizadas. • Se exploró el efecto del tratamiento alcalino en los compuestos de goma-poliestireno.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Rendimiento mecánico de hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) asequible y ecoeficiente que contiene fibras de acero de neumáticos reciclados
Autores	M.N. Isa, Kypros Pilakoutas, Maurizio Guadagnini, Harris Angelakopoulos
Año	2020

Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Rendimiento mecánico de hormigón de ultra alto rendimiento (UHPC) asequible y ecoeficiente que contiene fibras de acero de neumáticos reciclados. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820312770> [Consulta: 31/01/2021].
Palabras Clave	Hormigón de alto rendimiento Reciclar cables de acero para neumáticos Fibras de acero para neumáticos reciclados Caracterización de fibras Prueba de flexión Resistencia a la flexión residual Desviación Desplazamiento de apertura de la boca de grietas Eficiencia de mezcla
Resumen	Este estudio tiene como objetivo desarrollar un concreto ecoeficiente de ultra alto rendimiento (UHPC) asequible utilizando mortero normal, cables de acero de neumáticos reciclados (RTSC) y fibras de acero de neumáticos reciclados (RTSF). Se estudian doce mezclas UHPC que contienen RTSC, RTSF o mezclas de las dos en diferentes proporciones para volúmenes totales de fibra de 2, 3 y 4%. Se examina el efecto de las fibras cortas y la limpieza de RTSF sobre la resistencia a la flexión de UHPC, y se demuestra que el caucho y otras impurezas, así como las fibras con menos de 9 mm de longitud, reducen significativamente la resistencia de la mezcla UHPC. Esto confirma que la limpieza y la reducción de la cantidad de fibras cortas es necesaria para mejorar el rendimiento. Aunque las mezclas que contienen RTSF sólo no presentan el mismo rendimiento de flexión de las mezclas que contienen RTSC o fibras fabricadas, se puede lograr una resistencia similar mediante el uso de híbridos (RTSC y RTSF) o una dosis más alta de RTSF. Los principales parámetros de resistencia utilizados en la capacidad de servicio y el diseño de estado límite final se derivan experimentalmente y se proponen modelos de predicción. Un estudio de eficiencia aterial de las mezclas muestra que el uso de RTSF en UHPC proporciona un costo y beneficio ambiental significativo. Estas mezclas UHPC asequibles y robustas pueden ayudar a desarrollar aplicaciones nuevas y más sostenibles para la industria de la construcción.
Ámbito de Aplicación	Hormigón ecoeficiente de ultra alto rendimiento para la industria de la construcción
Métodos o técnicas utilizadas	Mortero normal
Información Clave – Aspectos de Interés	• Se evalúa el efecto de la limpieza de RTSF y la distribución de la longitud en el rendimiento de las mezclas UHPC. • Se presentan las propiedades mecánicas de la mezcla UHPC que contiene fibras de reciclaje. • Se presenta un enfoque para determinar los parámetros de diseño de UHPC en ULS. • Se presenta la eficiencia del material de las mezclas UHPC que contienen RTSF.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Efecto de la adición de neumáticos reciclados en la resistencia al nitrato de arcilla
Autores	Edin Colakovic, Amin Chegenizadeh, Mahdi Keramatikerman, Hamid Nikraz
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Efecto de la adición de neumático reciclado sobre la resistencia al nitrato de arcilla. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123020300530> [Consulta: 31/01/2021].
Palabras Clave	Arcilla Caolinita Ataque de nitrato Neumático reciclado Ucs
Resumen	Este estudio investiga el efecto de la adición de neumáticos reciclados molidos en muestras expuestas con nitrato de amonio realizando un número significativo de pruebas de resistencia a la compresión no confinadas (SCP) cuando se curan en diferentes períodos de curado. Los resultados mostraron que la adición de neumáticos reciclados en tierra mejoró los valores de control y muestras expuestas para los tres períodos de curado. El análisis microestructural abarca el análisis XRD y SEM realizado en las muestras y los resultados mostraron que la exposición de los especímenes al nitrato de amonio provoca la formación de una mala conexión entre el suelo, el cemento y las partículas de neumáticos reciclados molidos y una reducción en la generación de productos de hidratación del cemento. Los resultados de este estudio mostraron que el neumático reciclado en tierra es un reemplazo eficaz del cemento y puede aplicarse con éxito mientras se reduce la contribución del cemento, y la resistencia de los especímenes no se ha visto comprometida.
Ámbito de Aplicación	Reemplazo de cemento
Métodos O técnicas utilizadas	Compactación y pruebas de resistencia a la compresión inconfinada
Información Clave – Aspectos de Interés	• PRT es un reemplazo eficaz para el cemento en la mezcla de suelo se expone a AN. • PRT aumentó los valores de SCP de la mezcla de arcilla y PC. • SEM y XRD de mezcla antes y después de la exposición presentada.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Reciclaje de fibras recuperadas de neumáticos al final de su vida útil en asfalto de mezcla caliente
Autores	Edoardo Bocci, Emiliano Prosperi
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Reciclaje de fibras recuperadas de neumáticos al final de su vida útil en asfalto de mezcla caliente. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756419302041> [Consulta: 31/01/2021].
Palabras Clave	Ingeniería vial Mezcla caliente de asfalto Neumático al final de su vida útil Fibra Fatiga Reciclaje
Resumen	Hoy en día, la eliminación de neumáticos al final de su vida útil (ELT) es en todo el mundo una de las principales preocupaciones para el medio ambiente, así como para la salud pública. Los alambres de goma y acero, los principales subproductos (en términos de peso) derivados del procesamiento ELT, se pueden reciclar de varias maneras. Sin embargo, la fibra textil, que representa alrededor del 10% de los residuos en peso, normalmente no se reutiliza y termina en vertederos o incineradores. El presente documento trata sobre el uso de fibras recuperadas de ELT en asfalto de mezcla caliente (HMA), con el objetivo de mejorar su rendimiento. El estudio incluyó la caracterización preliminar de la fibra a través de la observación del microscopio y la espectroscopia infrarroja transforma de Fourier (FTIR) y luego la investigación de las propiedades mecánicas de HMA que contienen fibras ELT, en comparación con un HMA ordinario sin fibras. En particular, se llevaron a cabo pruebas de resistencia a la tracción indirecta (ITS), módulo de rigidez de tracción indirecta (ITSM), flexión semicircular (SCB), flexión de tres puntos (3PB) y fatiga de tracción indirecta (ITF). Los resultados mostraron que el uso de fibras ELT no se refleja en una mejora significativa en términos de propiedades de resistencia y rigidez. Sin embargo, las fibras ELT determinan un aumento notable de la resistencia de HMA a la fatiga, probablemente relacionada con la capacidad de las fibras en la costura de los bordes de micro-grietas y el contraste de la abertura macro-grieta.
Ámbito de Aplicación	Mezcla caliente de asfalto
Métodos o técnicas utilizadas	El asfalto de mezcla caliente se produjo en el laboratorio a 150 ºC utilizando un mezclador planetario.
Información Clave – Aspectos de Interés	• Uso de fibras de neumáticos al final de su vida útil en asfalto de mezcla caliente (HMA) para mejorar su rendimiento. • Las fibras están compuestas de poliéster transparente e incluyen partículas finas de caucho. • Después del fallo, los neumáticos al final de su vida útil (ELT) cosen los bordes de las grietas y contrastan la abertura de la fractura. • Las fibras ELT determinan un aumento notable en la resistencia a la fatiga de HMA.

Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Investigación experimental del hormigón sostenible mediante la sustitución parcial del agregado fino por el caucho de neumáticos de desecho tratado por naturaleza ácida
Autores	R. Gajendra Rajan, N. Sakthieswaran, O. Ganesh Babu
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Einvestigación xperimental de hormigón sostenible mediante la sustitución parcial del agregado fino por caucho de neumático de desecho tratado por naturaleza ácida. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320347477> [Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Hormigón sostenible Caucho de neumático de desecho Método de modificación de superficie Grupos de polaridad fuertes Fuerte vínculo químico Matriz de cemento
Resumen	Un hormigón sostenible es uno de los hormigones esenciales para este entorno actual. El aumento de la industria automovilística lleva a producir una gran cantidad de neumáticos de desecho en todo el mundo. La eliminación de neumáticos de desecho sigue representando una grave amenaza para la protección del medio ambiente y la salud. El principal objetivo de este estudio es la utilización de material de caucho de neumáticos de desecho como sustitución parcial de áridos finos en grado M30 de mezcla de hormigón en diferentes porcentajes para producir un hormigón sostenible. Tiene la ventaja adicional de ahorrar áridos naturales. En este documento, se propuso un método de modificación de superficie para introducir fuertes grupos de polaridad en la superficie de caucho para generar un fuerte vínculo químico entre el caucho y la matriz de cemento. Es un método eficaz para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón.
Ámbito de Aplicación	Hormigón sostenible
Métodos o técnicas utilizadas	Método de modificación de superficie
Información Clave – Aspectos de Interés	• La resistencia aumenta con el aumento en el porcentaje de caucho de neumático de desecho tratado. • En general, el reemplazo, 2.5% & 5% son una mezcla eficiente y efectiva • La absorción de agua de hormigón disminuye con el aumento en el porcentaje de contenido de caucho.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Reutilización de caucho de neumático recuperado para membranas de separación de gases preparadas por prensado en caliente
Autores	Amin Hamdi, Gamal Abdelaziz, Khatib Zada Farhan
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	CIENCIA DIRECTA. Reutilización de caucho de neumático recuperado para membranas de separación de gases preparadas por prensado en caliente. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619325995> [Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Neumático de desecho Caucho de neumático recuperado Técnica de prensado en caliente Membrana de separación de gases CO2/N2
Resumen	Los neumáticos de desecho se componen principalmente de caucho natural, caucho sintético, negro de carbono, alambres de acero y fibras. El caucho, que es un recurso valioso, es una de las materias primas utilizadas para la preparación de membranas. En este estudio, se desarrolló una tecnología sintética conveniente y respetuosa con el medio ambiente, un método de prensado en caliente para la reutilización del caucho de neumático recuperado para preparar membranas de separación de gas. Se investigaron los efectos de las condiciones de preparación, incluida la temperatura de prensado en caliente, la presión y el tiempo en la estructura de la membrana y el rendimiento de separación. Se llevaron a cabo análisis termogravimétricos y microscopía electrónica de barrido de emisiones de campo. El análisis termogravimétrico, la espectroscopia infrarroja de transformación de Fourier y los resultados de grado de reticulación mostraron que las gomas de neumáticos recuperadas utilizadas en este estudio consistían principalmente en caucho de estireno-butadieno y caucho de polibutadieno. Las gomas de neumáticos recuperadas con bajo contenido de carbono y bajos grados de reticulación son beneficiosas para la fabricación de membranas mediante prensado en caliente. La técnica de prensado en caliente propuesta en este estudio produjo membranas densas de separación de gas de las gomas de neumáticos recuperadas, demostró ser un enfoque eficiente para simplificar el reciclaje de neumáticos de desecho y, de hecho, puede inspirar el desarrollo de nuevas rutas de reciclaje. Las membranas prensadas en caliente, derivadas del caucho de neumático recuperado mostraron resultados competitivos con una selectividad de CO2/N2 de 12,8 y una permeabilidad al CO2 de 161 Barrer.
Ámbito de Aplicación	Membranas de separación de gases
Métodos o técnicas utilizadas	Método de prensado en caliente
Información Clave –	• El prensado en caliente fue desarrollado como una nueva tecnología sintética para la fabricación de membranas.

Aspectos de Interés	• Las gomas de neumáticos recuperadas se recircularon en la membrana de gas mediante prensado en caliente. • Las membranas derivadas de neumáticos recuperados mostraron un rendimiento de separación ideal de CO2/N2.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Alcance de la reutilización de residuos de neumáticos triturados en hormigón y materiales compuestos cementosos: Una revisión
Autores	Amin Hamdi, Gamal Abdelaziz, Khatib Zada Farhan
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Alcance de la reutilización de residuos de neumáticos triturados en hormigón y materiales compuestos cementosos: Una revisión. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710220336469> [Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Hormigón de caucho Neumáticos triturados Agregados de goma Flexibilidad Pavimento Caucho de miga Chip de goma Reciclaje de caucho Hormigón resistente al impacto
Resumen	Se estima que de más de 1.500 millones de neumáticos de desecho se generan en todo el mundo en todo el año y se espera que la demanda continua de neumáticos crezca en un 4% alcanzando los 3 mil millones de unidades en el año 2019. La contaminación negra creada por estos residuos obstinadamente biodegradables representa una amenaza potencial para el medio ambiente. Los neumáticos de desecho en los vertederos, las zonas de desecho tienen un efecto directo sobre la salud humana, contaminando el suelo y las aguas subterráneas debido al efecto de lixiviación de los metales tóxicos presentes en los neumáticos. El hormigón es el segundo material más consumido en el mundo, con 3 toneladas por año utilizadas para cada persona, la incorporación parcial de neumáticos desechados en hormigón, como áridos, es una forma eficaz de inmovilizar los residuos, especialmente cuando el 60-75% del hormigón está hecho de áridos. El objetivo principal de este estudio es evaluar la viabilidad de utilizar neumáticos triturados en hormigón para estructuras y pavimentos a través de la revisión crítica de sus propiedades reológicas, mecánicas estáticas/dinámicas, de durabilidad. Además, el estudio también prevé explorar diferentes tratamientos, modificaciones y composiciones para una utilidad óptima de hormigón/compuestos incorporados en neumáticos. El manuscrito también tiene la intención de actualizar la base de datos de hormigón/compuestos de neumáticos triturados para una investigación experimental y numérica adicional.

Ámbito de Aplicación	Materiales compuestos de hormigón y cemento
Métodos o técnicas utilizadas	Técnicas de mejora de neumáticos triturados: físicos y químicos
Información Clave – Aspectos de Interés	• La incorporación de residuos de neumáticos de reutilización, como agregado en hormigón y otros compuestos cementosos, no sólo es viable en términos de proceso de reciclaje sostenible, sino que también proporciona material de construcción alternativo eficiente con características muy útiles. • La utilización de RTW en hormigón influye en las propiedades reológicas, mecánicas y de durabilidad del hormigón que deben tenerse en cuenta antes de su utilización en estructuras y pavimentos.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Remediación ambiental con la economía circular: pirocarmos magnéticos de neumático al final de su vida útil para la eliminación adsortiva de productos farmacéuticos en solución acuosa
Autores	Farzaneh Feizi, Febelyn Reguyal, Nikos Antoniou, Anastasia Zabaniotoub, Ajit K. Sarmah
Año	2020
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Remediación ambiental en la economía circular. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720333751> [Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Neumáticos de fin de vida útil Pirolisis Pirochar magnético Sorción Evaluación económica
Resumen	Demostramos una innovación basada en desafíos de pirólisis de neumáticos de fin de vida (ELT) para la producción y síntesis de pirochar magnético con evidencia de su uso como adsorbente novedoso y de bajo costo para la eliminación de productos farmacéuticos de soluciones acuosas. El pirocargo de neumáticos magnéticos (MTC) derivado de los ELT en Technology Readiness Level 3-7 (TRL3-7), se sometió a pruebas para la eliminación de ciprofloxacino (CIP), propranolol (PRO) y clomipramina (CLO), del agua, a diferentes intensidades de pH e iónica. Las propiedades morfológicas y químicas de los adsorbentes se evaluaron utilizando el área de superficie Brunauer Emmett Teller (BET), el Magnetómetro de Muestra Vibratoria (VSM), el Infrarrojo de Transformación de Fourier (FTIR), el Microscopio Electrónico de Escaneo junto con los Rayos X Dispersivos de Energía (SEM-EDS), el análisis elemental y las mediciones potenciales de zeta. MTC mostró una excelente eficiencia de adsorción del 85%, 90% y 92% para CIP, PRO y CLO respectivamente, superior a la del pirocargo de neumáticos no magnéticos (TC), debido a la mayor

	superficie, y la porosidad y menor polaridad. La adsorción de los compuestos en MTC era altamente dependiente del pH, y favorable a baja resistencia iónica. Los datos experimentales fueron bien descritos por los modelos cinéticos de pseudo-segundo orden cinético y Freundlich isotherm. Sobre la base del análisis de potencial FTIR y zeta, los mecanismos de interacción se explicaron porcatión-π, π-π EDA, intercambio catiónico, repulsión electrostática y efecto hidrofóbico. En el contexto de la economía circular, este ADS basado en adsorbente magnético de bajo costo (estimado en $299/t) puede utilizarse potencialmente en el tratamiento de aguas residuales industriales a gran escala para la eliminación de drogas de soluciones acuosas, ofreciendo una remediación ambiental sostenible.
Ámbito de Aplicación	Eliminación de productos farmacéuticos en soluciones acuosas
Métodos o técnicas utilizadas	Pryrochar de neumáticos magnéticos
Información Clave – Aspectos de Interés	• Desarrollo de pirocarbón de neumáticos magnéticos (MTC) por pirólisis de neumáticos al final de su vida útil (ELT). • MTC exhibió mayor superficie y volumen de micropore que el pirocar de neumáticos. • La adsorción de antibióticos en el CCM era altamente dependiente del pH y la fuerza iónica. • El costo de producción de los ELTs pyrochar fue de $299/t, inferior al precio de biocarbón existente.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Reutilización de valor añadido de las fibras poliméricas de neumáticos de desecho en aplicaciones estructurales basadas en cemento
Autores	Obinna Onuaguluchi, Nemkumar Banthia
Año	2019
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Reutilización de valor añadido de fibras poliméricas de neumáticos de desecho en aplicaciones estructurales basadas en cemento. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619317597> [Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Contaminación Neumático de chatarra Fibras Compuesto de cemento Fuerza post-crack Abrasión
Resumen	Actualmente, las fibras poliméricas de neumáticos de desecho (STF) tienen un valor de reutilización limitado en la mayoría de los países del mundo, por lo tanto, se llena en gran medida la tierra o se utiliza como un combustible derivado de neumáticos (TDF) eco-no amigable. Desafortunadamente, los gases y ácidos

	tóxicos podrían liberarse de estas estrategias de gestión de STF antes mencionadas. Por lo tanto, en este estudio, se examinó un enfoque alternativo de reutilización para el STF; se examinó la posibilidad de que pudiera mejorar la resistencia residual de la flexión posterior a la grieta y la resistencia al desgaste de los compuestos de cemento. Además, también se evaluó la probabilidad de mejorar las propiedades antes mencionadas mediante la hibridación del STF con macrofibras comerciales como fibras de extremo de gancho de acero (HE) y polipropileno (PP). Los compuestos de cemento investigados consisten en un conjunto de mortero de relación 0,50 de agua a cemento (p/c) y dos conjuntos de lotes de hormigón correspondientes a 0,50 y 0,40 w con relaciones. Los resultados indican que las resistencias residuales posteriores a la grieta de las mezclas de mortero y hormigón reforzadas por separado con el STF fueron de aproximadamente 0,10 MPa y 0,10 – 0,20 MPa, respectivamente. Por lo tanto, estos compuestos de cemento reforzado STF no tienen ningún valor de aplicación estructural útil. Sin embargo, con la hibridación de 0.35% STF con 0.2 – 0.5% macro fibras, mezclas de mortero con resistencias residuales post-grieta que van de 1.4 a 3.1 MPa fueron alcanzadas como resultado de la sinergia positiva entre el STF y las fibras HE. El refuerzo híbrido de fibra de hormigón 0,35% STF y 0,35% HE también condujo a una sinergia positiva y una mejora en la capacidad de resistencia residual posterior a la grieta, especialmente para la mezcla de relación de 0,50 w/c. En relación con el hormigón liso, el 0,35% de STF o combinación híbrida de 0,35% STF y 0,35% PP no tuvo ningún impacto en la resistencia a la abrasión de hormigón. Por el contrario, la pérdida acumulada de volumen de hormigón reforzado con fibras híbridas de 0,35% STF y 0,35% HE disminuyó en aproximadamente un 8,9% y un 16,1% para las mezclas de hormigón de relación 0,50 y 0,40 w/c, respectivamente. En conjunto, estos resultados sugieren que, en lugar de su uso actual como TDF, el STF hibridado con fibras HE podría ser utilizado como un refuerzo de fibra sostenible y discreto para aplicaciones de reparación basadas en cemento donde se desea un rendimiento de post-grieta flexión ligeramente mejorado y resistencia al desgaste abrasivo.
Ámbito de Aplicación	Refuerzo de fibra para aplicaciones de reparación a base de cemento
Métodos o técnicas utilizadas	Proporción de mezcla de mortero y hormigón Resistencia residual flexural del mortero Rendimiento de flexión posterior a la grieta del hormigón Resistencia a la abrasión del hormigón
Información Clave – Aspectos de Interés	• Se estudió la opción de reutilización alternativa para fibras de neumáticos de desecho (STF) en compuestos de cemento. • Los compuestos reforzados por separado con el STF tenían una resistencia residual limitada después de la grieta. • Rendimiento posterior a la grieta mejorado con la hibridación del STF con fibras de acero. • Pero, la mejora en la resistencia residual sólo se obtuvo en compuestos de baja resistencia. • La resistencia al desgaste también se mejoró debido a la sinergia entre el STF y las fibras de acero.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Análisis coste-beneficio de un proyecto de economía circular: un estudio sobre un sistema de reciclaje de neumáticos al final de su vida útil.
Autores	Silvia Gigli, Daniele Landi, Michele Germani
Año	2019
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Análisis costo-beneficio de un proyecto de economía circular: un estudio sobre un sistema de reciclaje de neumáticos al final de su vida útil.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619309291> [Consulta: 17/01/2021].
Palabras Clave	Economía circular Neumáticos al final de su vida útil Análisis coste-beneficio Segundas aplicaciones
Resumen	El objetivo de este artículo es ilustrar una tecnología innovadora para el reciclaje de fibra de los neumáticos de desecho, que permite transformar la fibra textil en una materia prima secundaria útil para diferentes aplicaciones. En particular, se ha investigado el uso de la fibra como aditivo para los conglomerados bituminosos. Los diferentes procesos han sido analizados desde el punto de vista medioambiental, aplicando la metodología de evaluación del ciclo de vida. El impacto se reduce en caso de que la fibra se reutilice como aditivo para conglomerados bituminosos, en lugar de deshacerse (mediante incineración). Además, se ha evaluado la sostenibilidad financiera y económica del proceso tecnológico conexo para comprobar si el proceso es sostenible a largo plazo. A partir de los resultados de la evaluación del ciclo de vida, se han calculado indicadores de rendimiento económico, aplicando la metodología de la Comisión Europea para el análisis coste-beneficio. Según el actual análisis coste-beneficio, a medio y largo plazo el sistema es financieramente viable, y la alta rentabilidad económica hace que el proceso sea económicamente sostenible. Además, se ha llevado a cabo un análisis de sensibilidad y una evaluación de riesgos con el fin de identificar variables críticas, evaluar riesgos y definir medidas de mitigación de riesgos. Según el análisis de sensibilidad realizado, el proyecto no es altamente arriesgado ya que incluso en el peor escenario la posible pérdida es moderada. Sobre la base de los resultados de este análisis, se puede concluir que el sistema de reciclado de esta fibr puede replicarse en toda Europa, fomentando convenientemente las políticas nacionales (como las subvenciones, el impuesto sobre el valor añadido, etc.).
Ámbito de Aplicación	Economía circular mediante el uso de fibra textil de neumáticos de desecho como material de refuerzo en conglomerados bituminosos.
Métodos o técnicas utilizadas	Evaluación del ciclo de vida (LCA) Proceso de eliminación de neumáticos de desecho (ELT) además de procesos integrados de limpieza y compactación de fibra.
Información Clave –	• Se ilustra un complemento tecnológico crucial para las instalaciones existentes.

Aspectos de Interés	• El objetivo es transformar la fibra textil en una materia prima secundaria útil para diferentes aplicaciones. • La reutilización de la fibra presenta un impacto ambiental reducido en comparación con la incineración de la fibra. • La alta rentabilidad económica hace que este sistema de reciclaje sea económicamente sostenible.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Desvulcanización y recuperación de neumáticos y caucho por procesos físicos y químicos: Una revisión
Autores	Lauris Bockstal, Thomas Berchem, Quentin Schmetz, Aurore Richel
Año	2019
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Desvulcanización y recuperación de neumáticos y caucho por* *Procesos físicos y químicos: Una revisión.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619323881> [Consulta: 17/01/2021].
Palabras Clave	Reciclaje Recuperación Tecnologías verdes Sostenibilidad Procesos verdes Propiedades físicas
Resumen	El objetivo de esta revisión es presentar y explorar los procesos físicos y químicos que se emplean con el fin de reciclar neumáticos y recuperar el caucho. Se presentan técnicas bien asentadas como procesos mecánicos, termomecánicos, criomecánicos de molienda y sulfuro, así como tecnologías más sostenibles como líquido iónico, disolventes eutécticos y microondas y catálisis.
Ámbito de Aplicación	Reciclaje de neumáticos usados por devulcanización (actualmente la vía de valorización de caucho más virtuosa)
Métodos o técnicas utilizadas	Procesos físicos de recuperación del caucho: • Procesos termo mecánicos • Procesos mecanoquímicos • Procesos de molienda • Método de microondas • Método ultrasónico Procesos químicos de recuperación de caucho: • Pirolisis • Disulfuros orgánicos y mercaptanos • Catalizadores, compuestos orgánicos inorgánicos y libres de azufre • Solventes

Información Clave – Aspectos de Interés	• Devulcanización más verde y recuperación de caucho de los neumáticos de desecho. • Mejoras en la producción con técnicas y tecnologías emergentes más limpias. • Propiedades mecánicas mejoradas de los productos reciclados.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Investigar la viabilidad de un escenario de reutilización de las fibras textiles recuperadas de neumáticos al final de su vida útil
Autores	DanieleLandi, Silvia Gigli, Michele Germani, Marco Marconi
Año	2018
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Investigar la viabilidad de un escenario de reutilización de las fibras textiles recuperadas de neumáticos al final de su vida útil. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X18300849> [Consulta: 04/03/2021].
Palabras Clave	Economía circular Neumáticos al final de su vida útil Escenario de reutilización Análisis costo-beneficio Evaluación de viabilidad
Resumen	Este estudio tiene como objetivo proponer y validar un nuevo escenario de bucle cerrado para las fibras textiles basada en la reutilización de materiales para conglomerados bituminosos. El objetivo final es verificar la viabilidad técnica, ambiental, financiera y económica del proceso de tratamiento propuesto y el escenario de reutilización. Tras la caracterización del material textil, necesario para determinar la viabilidad tecnológica, se ha desarrollado un proceso específico para limpiar, compactar y preparar las fibras para su posterior reutilización. Se ha llevado a cabo una evaluación del ciclo de vida (LCA) para cuantificar los beneficios ambientales de la reutilización de las fibras. Por último, se realizó un análisis de los beneficios de costos basado en los resultados de LCA para establecer la sostenibilidad financiera y económica a largo plazo. Desde el punto de vista tecnológico, las fibras textiles de neumáticos podrían ser un sustituto prometedor de la celulosa de refuerzo comúnmente utilizada en asfaltos, siempre y cuando las fibras estén adecuadamente preparadas (compactación y producción de pellets) para su aplicación en el proceso de producción de conglomerados bituminosos estándar. Desde el punto de vista medioambiental, se observaron beneficios relevantes en términos de potencial de calentamiento global y reducción potencial de acidificación en comparación con la incineración estándar para la recuperación de energía (respectivamente −86% y −45%). Además, el escenario propuesto puede considerarse financieramente viable a medio y largo plazo (el flujo de caja generado acumulativo es positivo después del 5º año) y económicamente sostenible (valor actual neto esperado de más de 3.000.000 euros y tasa de rentabilidad económica de aproximadamente el 30 %). Por último, los análisis de sensibilidad

	y riesgo demuestran que no se prevén problemas específicos para la futura aplicación en aplicaciones industriales reales.
Ámbito de Aplicación	Reutilización de fibras de neumáticos al final de su vida útil (ELT) como aditivo para conglomerados bituminosos
Métodos o técnicas utilizadas	Trituración de neumáticos Separador magnético Granulación Pulverización Limpieza de fibra textil ("lavadora seca") y compactación (máquina de producción de pellets)
Información Clave – Aspectos de Interés	• La fibra textil ELT se puede transformar eficazmente en una materia prima secundaria útil. • La reutilización de la fibra ELT es un escenario prometedor para reducir el impacto ambiental. • La alta rentabilidad económica hace que este sistema de reciclaje sea económicamente sostenible
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Reutilización de fibras textiles de neumáticos de desecho como refuerzo del suelo
Autores	Mohsen Abbaspour, Esmail Aflaki, Fereidoon Moghadas Nejad
Año	2018
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Reutilización de fibras textiles de neumáticos de desecho como refuerzo del suelo.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618329925> [Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Fibras textiles de neumáticos de desecho Refuerzo del suelo Interacción entre el suelo y la fibra Microscopio óptico
Resumen	En las últimas décadas, muchos investigadores de ingeniería geotécnica han utilizado neumáticos de fin de vida (ELT) en diferentes formas con el propósito de reforzar el suelo. Uno de los subproductos que se generan durante el tratamiento de ELT son las Fibras Textiles de Neumáticos de Desecho (WTTF). Estas fibras están clasificadas como desechos especiales y peligrosos. Contrariamente a las leyes internacionales, estos desechos son quemados o enterrados, lo que lleva a varios problemas ambientales. Como investigación innovadora, la reutilización del WTTF para reforzar los suelos se evalúa mediante el diseño y la realización de un conjunto de pruebas de laboratorio. Con ese fin, todas las mezclas se analizan bajo pruebas de compactación, cizallamiento directo, resistencia a la compresión no confinada (UCS), relación de rodamientos de California (CBR) y resistencia a la tracción dividida (STS) después de agregar 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4% de WTTF en dos tipos de suelos

	arcillosos y arenosos. WTTF son adecuadamente capaces de mejorar todos los parámetros de resistencia y ductilidad del suelo arenoso. Sin embargo, en suelo arcilloso, a pesar de la reducción en UCS y CBR, se incrementan la ductilidad y la resistencia a la tracción. Como resultado, en lugar de enterrar o quemar estos desechos, pueden ser bien utilizados para mejorar las propiedades mecánicas de varios tipos de suelos. Diferentes comportamientos de WTTF en suelos de arcilla y arena se investigan mediante el empleo de estudios fundamentales realizados a través de microscopio óptico.
Ámbito de Aplicación	Refuerzo de distintos tipos de suelo (arcilloso y arenoso)
Métodos o técnicas utilizadas	Diversas pruebas de laboratorio Evaluación a través de microscopio óptico
Información Clave – Aspectos de Interés	• La ductilidad y resistencia a tracción del suelo aumenta al añadir fibras textiles de neumáticos de desecho • Las fibras textiles de neumáticos de desecho pueden utilizarse como materiales de refuerzo de alta eficiencia en todos los proyectos con suelos granulares, sin coste excesivo. • El uso de estos desechos en el tratamiento de arcillas reduce algunas de las propiedades mecánicas del suelo hasta cierto punto.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Escenarios de reutilización de las fibras textiles de neumáticos: una evaluación ambiental.
Autores	Daniele Landi, Marco Marconi, Ivan Meo, MicheleGermani.
Año	2018
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Escenarios de reutilización de neumáticos fibras textiles: una evaluación ambiental.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235197891830163X> [Consulta: 17/01/2021].
Palabras Clave	Fin de vida de neumáticos Aplicación de segunda vida Material de fibra Impacto ambiental
Resumen	El fin de vida de los neumáticos (ELT) constituyen una parte importante del final de vida de los vehículos (ELV). El proceso de tratamiento de los ELT está dirigido principalmente a la recuperación del acero y el caucho, que representan conjuntamente la parte principal del material ELT y actualmente se aplican en diferentes sectores. Durante el tratamiento de los ELT, otros subproductos se generan en cantidades significativas (alrededor del 10-15% de peso), como las fibras textiles que actualmente se depositan en vertederos o se utilizan para la recuperación de energía. El objetivo de este estudio es una evaluación

	comparativa de los impactos ambientales relacionados con tres escenarios de fin de vida diferentes para las fibras textiles. Además del vertedero y la incineración, este estudio considera la posibilidad de reutilizar las fibras textiles como refuerzo en conglomerados bituminosos. Los resultados obtenidos a través del estudio de evaluación del ciclo de vida confirman que el escenario de reutilización conduce a una reducción relevante de los impactos en términos de potencial de calentamiento global. Sin embargo, al considerar otras métricas de medio ambiente, el escenario de reutilización no siempre es el menos impactante.
Ámbito de Aplicación	Reutilización de las fibras textiles de los neumáticos como refuerzo en conglomerados bituminosos.
Métodos o técnicas utilizadas	Evaluación del Ciclo de Vida (LCA). Refuerzo en conglomerados bituminosos: trituración de ELT, purificación de las fibras, separación del polvo de caucho recuperado y compactación de la fibra en un pellet a través del uso de una matriz.
Información Clave – Aspectos de Interés	• Las fibras textiles obtenidas del fin de vida de neumáticos (ELT) actualmente se depositan en vertederos o se utilizan para la recuperación de energía. • La aplicación de la fibra textil recuperada de los ELT como refuerzo en conglomerados bituminosos se considera como un posible escenario de reutilización. • La metodología LCA se ha utilizado para realizar evaluaciones de impacto ambiental de tres escenarios de reutilización diferentes. • El escenario de reutilización en conglomerados bituminosos es la mejor solución para la eliminación problema de material fibroso. Aunque el consumo de energía resultante de esto debería reducirse en futuros desarrollos.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Compuestos de polímeros de caucho respetuosos con el medio ambiente obtenidos a partir de neumáticos de desecho: Una revisión.
Autores	Maciej Sienkiewicz, Helena Janik, Kaja Borze ̨dowska-Labuda, Justyna Kucinska-Lipka
Año	2017
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Compuestos polímeros de caucho respetuosos con el medio ambiente obtenidos a partir de neumáticos de desecho: Una revisión.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617301361> [Consulta: 17/01/2021].
Palabras Clave	Compuestos de polímeros de caucho. Gránulos de goma. Gestión de neumáticos usados. Reciclaje de neumáticos.
Resumen	Con la introducción de tecnologías ambientalmente más amigables parece que la utilización de neumáticos puede ser rentable. La tecnología aplicada puede

	transformar los neumáticos post-consumo en una fuente de energía o materias primas valiosas, de la que se puede obtener una amplia gama de materiales compuestos poliméricos sostenibles caracterizados por muy buenas propiedades mecánicas y funcionales. Este nuevo enfoque para los neumáticos post-consumo se lleva a cabo en Estados Unidos, China, Japón y la UE. De la visión general se desprende claramente que los neumáticos usados molidos ya no deben tratarse como un contaminante, sino más bien como una fuente de materiales sostenibles. Estos materiales pertenecen a compuestos modernos de polímeros de caucho obtenidos principalmente de elastómeros (cauchos naturales y sintéticos) o termoplásticos (PE, PP, PVC). El factor muy importante en la fabricación de buenos compuestos es obtener el conocimiento sobre la influencia de la cantidad, tamaño y morfología de los granos granulados de caucho en las interacciones que se producen en los compuestos entre la matriz de polímeros y los granos de caucho de los neumáticos y por lo tanto las propiedades.
Ámbito de Aplicación	Transformación de neumáticos post-consumo en materiales compuestos poliméricos sostenibles con buenas propiedades mecánicas y funcionales
Métodos o técnicas utilizadas	Compuestos obtenidos a partir de granulados de caucho y cauchos naturales o sintéticos. Compuestos elásticos obtenidos en el proceso de sinterización de caucho granulado. Compuestos obtenidos a partir de materiales termoplásticos y granulados de caucho.
Información Clave – Aspectos de Interés	• Los neumáticos de desecho plantean un grave problema ambiental. • La clave para la recuperación de neumáticos con alto rendimiento es la buena legislación legal. • Los neumáticos usados pueden ser una fuente de nuevo material sostenible. • Los neumáticos gastados se pueden utilizar para producir compuestos "ambientalmente más amigables". • La sinterización de granulados de caucho es una forma de obtener materiales muy baratos y útiles.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Una nueva técnica de reciclaje para la reutilización de los neumáticos de desecho.
Autores	Zahra Derakhshan, Mohammad Taghi Ghaneian, Amir Hossein Mahvi, Gea Oliveri Conti, Mohammad Faramarzian, Mansooreh Dehghani, Margherita Ferrante.
Año	2017
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Una nueva técnica de reciclaje para* la reutilización *de los neumáticos de desecho*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935117307077> [Consulta: 17/01/2021].

Palabras Clave	Neumático de desecho recuperados Portadores de biopelículas Biofilm Modelado Rendimiento de lodos
Resumen	En esta serie de experimentos de laboratorio, se evaluó la viabilidad de utilizar portadores de biopelícula de lecho fijo (FBBC) fabricados a partir de neumáticos de desecho recuperados (RWT) existentes para el tratamiento de aguas residuales. Para evaluar los neumáticos de desecho de hilo de poliamida como un medio, el reactor por lotes de secuencia de lecho fijo (FBSBR) se evaluó bajo una tasa de carga orgánica diferente (OLR). Se utilizó un modelo experimental para estudiar la cinética del consumo de sustrato en biopelícula. Los resultados de este estudio sugieren que los RWT para apoyar la actividad biológica para una variedad de aplicaciones de tratamiento de aguas residuales como portador de biopelículas tienen un alto potencial que un mejor rendimiento como las propiedades de eliminación de COD y TSS y sedimentación de lodos y la calidad de los efluentes apoyaron estos hallazgos.
Ámbito de Aplicación	Tratamiento de aguas residuales.
Métodos o técnicas utilizadas	Reactor por lotes de secuenciación (SBR) Reactor por lotes de secuencia de lecho fijo (FBSBR)
Información Clave – Aspectos de Interés	• Se introdujo una nueva técnica de reciclaje para neumáticos de desecho recuperados. • Los portadores de biopelícula de lecho fijo (FBBC) son ampliamente utilizados para la limpieza de aguas residuales. • FBBC se fabricaron a partir de neumáticos de desecho recuperados existentes. • Stover-Kincannonmodel fue seleccionado como el mejor modelo para describir la eliminación de contaminantes y el diseño de FBSBR en este estudio.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Recuperar el caucho de los neumáticos de desecho mediante una técnica de irradiación
Autores	Mahdieh Molanorouzi, Saeed Ostad Mohaved
Año	2016
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Recuperar el caucho de los neumáticos de desecho mediante una técnica de irradiación.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391016300611> [Consulta: 17/01/2021].

Palabras Clave	Caucho de neumático Desvulcanización Microondas Recuperación Agente de desvulcanización
Resumen	El reciclaje de caucho de neumáticos reduce los costes de producción, ahorra recursos y disminuye los problemas ambientales. El caucho de los neumáticos de desecho ha sido desvulcanizado por un horno microondas de laboratorio con la ayuda del agente devulcanizador y el aceite. Los resultados mostraron que el polvo de caucho usado de desecho se desvulcanizó eficazmente. El aceite parafínico tuvo un efecto adverso en la devulcanización de los compuestos formulados por DPDS. Para los compuestos estudiados seleccionados, durante la irradiación de microondas, se rompió una parte o cantidad total de los reticulados de polisulfuros y la estructura de los reticulantes de azufre restantes era en su mayoría de sulfuro. En el estudio morfológico de los compuestos más devulcanizados, se observó una morfología gruesa del caucho no devulcanizado cubierto por el caucho desvulcanizado. El efecto del contenido de petróleo también era obvio.
Ámbito de Aplicación	Recuperación del caucho de los neumáticos de desecho mediante irradiación de microondas
Métodos o técnicas utilizadas	Desvulcanización por irradiación de microondas
Información Clave – Aspectos de Interés	• Residuos de caucho de neumático desvulcanizado por irradiación de microondas de manera efectiva. • Entre varios agentes desvulcanizantes estudiados, DPDS fue el más útil.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	Análisis de la cadena de valor aplicado a la cadena logística inversa de neumáticos de desecho: Un estudio aplicado de coprocesamiento en la industria del cemento.
Autores	Cristiane Duarte Ribeiro de Souza, Márcio de Almeida D'Agosto.
Año	2013
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. *Análisis de la cadena de valor aplicado a la cadena logística inversa de neumáticos de desecho: Un estudio aplicado de coprocesamiento en la industria del cemento.* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344913001377> [Consulta: 17/01/2021].

Palabras Clave	Neumático de desecho Cadena logística inversa Cadena de valor
Resumen	Para verificar si la cadena logística inversa de neumáticos de desecho puede ser sostenible no sólo desde una perspectiva ambiental, sino también social y financieramente, el presente estudio tenía como objetivo proporcionar un análisis de la cadena de valor. Este estudio buscó verificar la posibilidad de distribuir beneficios financieros a lo largo de la cadena logística inversa de neumáticos de desecho, considerando al coprocesamiento en las industrias cementeras como un posible destino. Además, se propone un modelo conceptual para la cadena logística inversa de neumáticos de desecho, se muestra un método de análisis de la cadena de valor que se aplica a la cadena logística inversa de neumáticos de desecho, y se realiza un análisis de la sensibilidad de la sustitución del coque de petróleo por neumáticos de desecho de acuerdo con la variación del valor entre estos. Los resultados presentados mostraron que es posible que los elementos de la cadena cubran sus costes y sigan obteniendo un margen de beneficio del 1,71% sobre los costes del generador y del procesador, manteniendo al mismo tiempo una reducción de costes del 1,21% para el usuario de residuos en relación con el precio medio del coque de petróleo.
Ámbito de Aplicación	Distribuir beneficios financieros a lo largo de la cadena logística inversa de neumáticos de desecho (STRLC) y la sustitución de coque de petróleo por neumáticos de desecho.
Métodos o técnicas utilizadas	Método de análisis de la cadena de valor aplicado a la cadena logística inversa de neumáticos de desecho (STRLC).
Información Clave – Aspectos de Interés	• Modelo conceptual para la cadena logística inversa de neumáticos de desecho (STRLC). • Método de análisis de la cadena de valor al STRLC. • Posibilidad de distribuir beneficios financieros a lo largo del STRLC. • Se realizó un análisis de sensibilidad de la sustitución de coque de petróleo por neumáticos de desecho. • En la mayoría de las situaciones analizadas, los neumáticos desechados podrían sustituir el coque de petróleo.
Referencias Extraídas	

Titulo Articulo o Libro	El rendimiento de las capas resistentes hechas de pelusa de goma reciclada para reducir el ruido de impacto
Autores	Rubén Maderuelo-Sanz, Manuel Martín-Castizo, Rosendo Vílchez-Gómez
Año	2012
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. El rendimiento de las capas resistentes hechas de pelusa de goma reciclada para la reducción del ruido de impacto. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X11001344>

	[Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Aislamiento acústico de impacto Caucho reciclado Propiedades mecánicas Propiedades acústicas
Resumen	Este documento informa de una investigación de un nuevo tipo de material y su rendimiento acústico. El potencial de materiales reciclados hechos de pelusa de caucho para reducir el ruido de impacto se evaluó según EN ISO 140-8:1997. El rendimiento de estos materiales se comparó con el de algunos calcos subyacentes disponibles comercialmente.
Ámbito de Aplicación	Absorbedores de sonido
Métodos o técnicas utilizadas	
Información Clave – Aspectos de Interés	• Los residuos elastoméricos de los neumáticos al final de su vida se pueden reciclar en productos de base acústico. • Puede competir adecuadamente con productos acústicos disponibles comercialmente y, en algunos casos, mostrar un mejor rendimiento que las capas convencionales en términos de sus propiedades acústicas.
Referencias Extraídas	

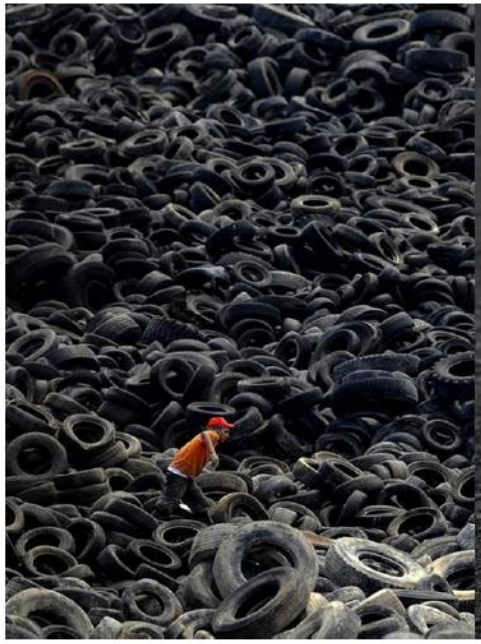
Titulo Articulo o Libro	Un nuevo absorbedor de sonido con fibras recicladas procedentes de neumáticos al final de su vida útil (ELT)
Autores	Rubén Maderuelo-Sanz, Antonio V. Nadal-Gisbert, José E. Crespo-Amorós, Francisco Parres-García
Año	2012
Ref. Biblig. Fuente	SCIENCE DIRECT. Un nuevo absorbedor de sonido con fibras recicladas procedentes de neumáticos al final de su vida útil (ELT). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X11003045> [Consulta: 23/01/2021].
Palabras Clave	Reciclado Fibras Neumáticos Pelusa Absorbedor de sonido Propiedades acústicas Panel perforado
Resumen	El uso de residuos de materiales, procedentes de las fibras de la pelusa (un residuo textil de neumáticos de fin de vida, ELT), en la fabricación de productos absorbentes de sonido, puede ayudar a combatir dos tipos diferentes de

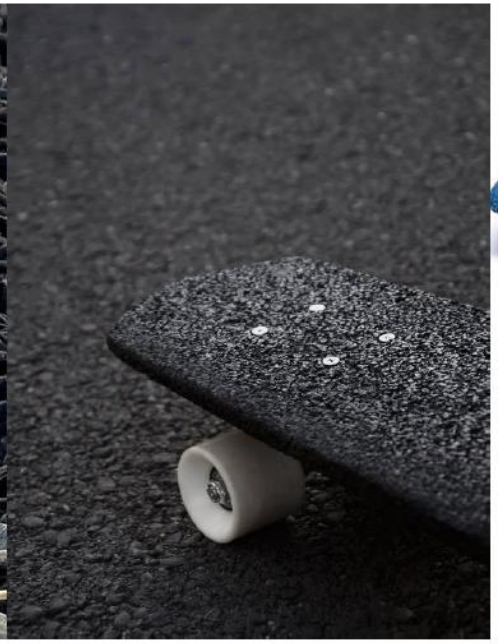
	problemas, la eliminación de este tipo de residuos y el control del ruido. Este documento presenta los resultados de un nuevo material absorbente obtenido a través de la compresión térmica, utilizando un residuo que se utiliza actualmente por su alto valor calorífico. A través de este proceso, se ha obtenido un producto con un mayor valor añadido y un menor coste. Mediante pruebas de muestras hechas con pelusa, se han obtenido resultados para coeficientes de absorción e impedancia acústica. Además, se han probado muestras compuestas. Una de estas muestras es un compuesto hecho con una capa de caucho de neumático molido (GTR), obtenido por sinterización y adición de otra capa de pelusa.
Ámbito de Aplicación	Absorbedores de sonido
Métodos o técnicas utilizadas	Compresión térmica
Información Clave – Aspectos de Interés	• Las fibras de pelusa de ELT tienen buenas propiedades acústicas a bajas y altas frecuencias. • Este residuo puede ser utilizado como un reemplazo alternativo para el producto comercial sintético. • Los mejores resultados para la absorción a bajas frecuencias se obtuvieron con muestras M-F y M-E. • Los mejores resultados para coeficientes de absorción a altas frecuencias se obtuvieron con las muestras M-C y M-B. • Estos nuevos materiales se han convertido en una opción viable a tener en cuenta en la construcción de edificios.
Referencias Extraídas	

9.5 Ejemplos de productos diseñados a partir de NFU

Ecodiseño y productos hechos de materiales reciclados provenientes de neumáticos usados.

YANKO DESIGN. *Made from old tires, this skateboard is the sustainability boost the sports tech industry needs!*
https://www.yankodesign.com/2019/10/21/made-from-old-tires-this-skateboard-is-the-sustainability-boost-the-sports-tech-industry-needs/





Producto: Patinete.
Diseñador: Paolo Gentile.

YANKO DESIGN. *Crabby Booty.*
https://www.yankodesign.com/2010/11/23/crabby-booty/

Producto: Sillón.
Diseñador: Joseph Kim.

YANKO DESIGN. *Rubber chair takes care of all your nagging green and chi personal problems.*
https://www.yankodesign.com/2008/11/06/rubber-chair-takes-care-of-all-your-personal-problems/

Producto: Silla.
Diseñador: Jaime Salm.

INHABITAT. *Black Ruby: Debbie Wijskamp Recycles Tire Rubber Into Weird and Wonderful Housewares.*
https://inhabitat.com/black-ruby-debbie-wijskamp-recycles-tire-rubber-into-weird-and-wonderful-housewares/

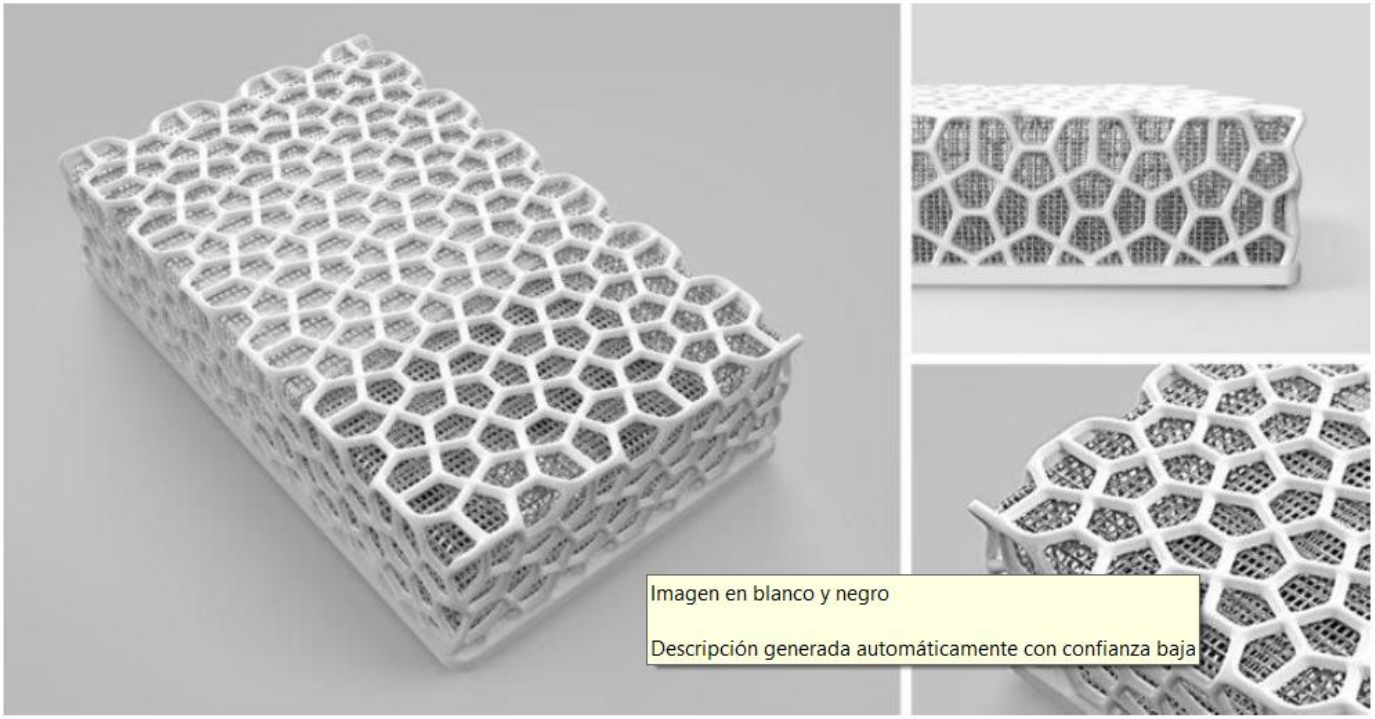
Producto: Menaje del hogar.
Diseñador: Debbie Wijskamp.

INHABITAT. *These stylish, work-appropriate loafers are made with recycled tires.*
https://inhabitat.com/these-stylish-work-appropriate-loafers-are-made-with-recycled-tires/

Producto: Zapatos.
Diseñador: Hugs & Co.

INHABITAT. *Ashcroft Design proposes a hard drive cooling cover made from recycled tires.*

https://inhabitat.com/ashcroft-design-proposes-a-hard-drive-cooling-cover-made-from-recycled-tires/



Producto: Cubierta de disco duro.

Diseñador: Ashcroft Design.

INHABITAT. *Oopsmark Upcycles Old Tires into Classy Bicycle Wine Rack for Vegans.*
https://inhabitat.com/oopsmark-upcycles-old-tires-into-classy-bicycle-wine-rack-for-vegans/

Producto: Botellero de bicicleta.
Diseñador: Oopsmark.

INHABITAT. *Benjamin Weinstein's Stylish Bags and Cases are Made from Discarded Rubber Tires and Inner Tubes.*
https://inhabitat.com/benjamin-weinsteins-beautiful-bags-and-cases-are-made-from-discarded-rubber-tires-and-inner-tubes/

Producto: Bolsos y fundas.
Diseñador: Benjamin Weinstein.

INHABITAT. *Cool Planting Pots Made from Recycled Tires.*

https://inhabitat.com/cool-planting-pots-made-from-recycled-tires/

Producto: Maceteros.

Diseñador:

PETAGADGET. *Seal Recycled Tire Speaker.*

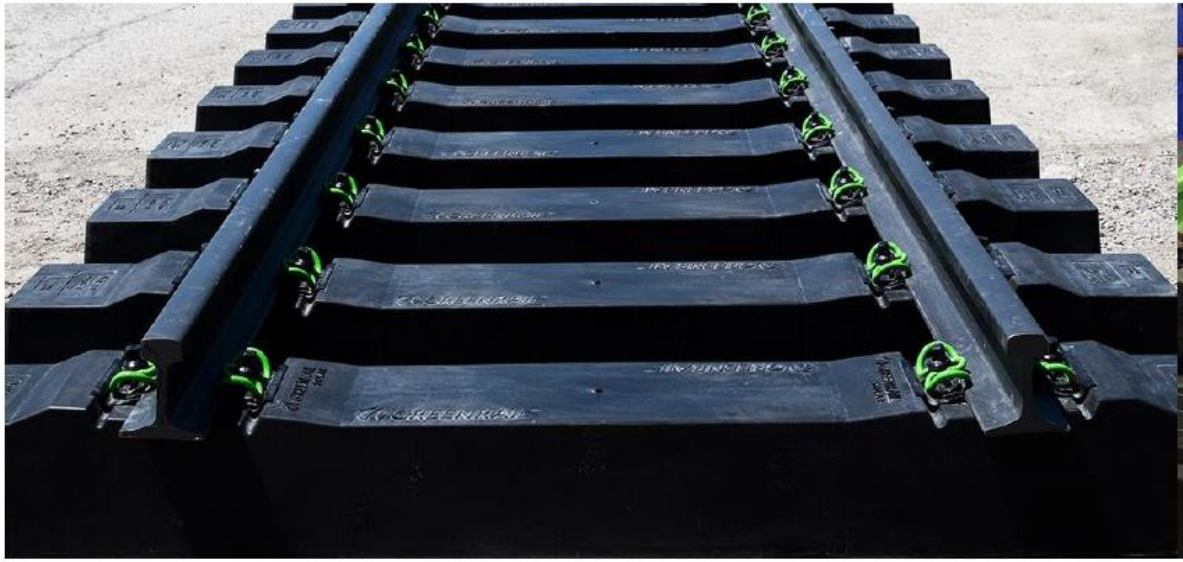
https://www.petagadget.com/gadget/seal-recycled-tire-speaker/

Producto: Altavoz.

Diseñador: Seal.

REVISTA SABERE SAUDE. Viejos neumáticos se convierten en vías de tren sostenibles.

https://www.revistasaberesaude.com/pneus-velhos-viram-trilhos-sustentaveis-na-italia/



Producto: Vías de tren.

Diseñador: Greenrail Solar.

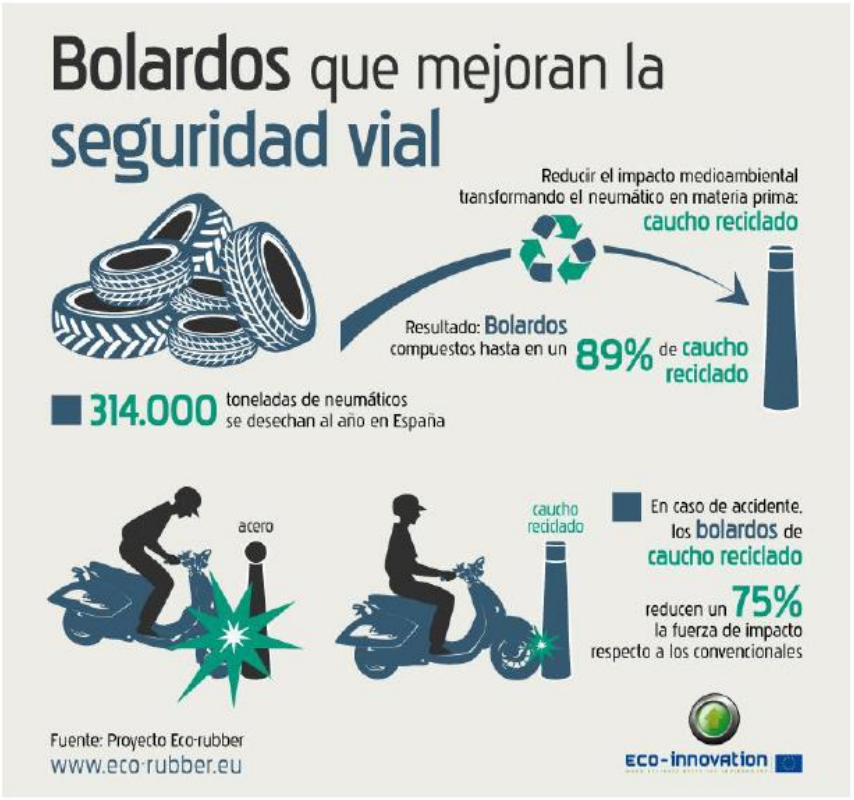
ECOALF. Chanclas fabricadas con neumáticos reciclados 100% hechas en España.

https://ecoalf.com/es/p/chanclas-flip-flops-30

Producto: Chanclas.
Diseñador: ECOALF.

AIMPLAS. Eco-rubber.

https://www.aimplas.es/proyectos-desarrollados/novedoso-proceso-de-reciclado-de-ruedas-usadas-y-sinterizado-de-caucho-para-el-fabricado-ecologico-de-mobiliario-urbano/

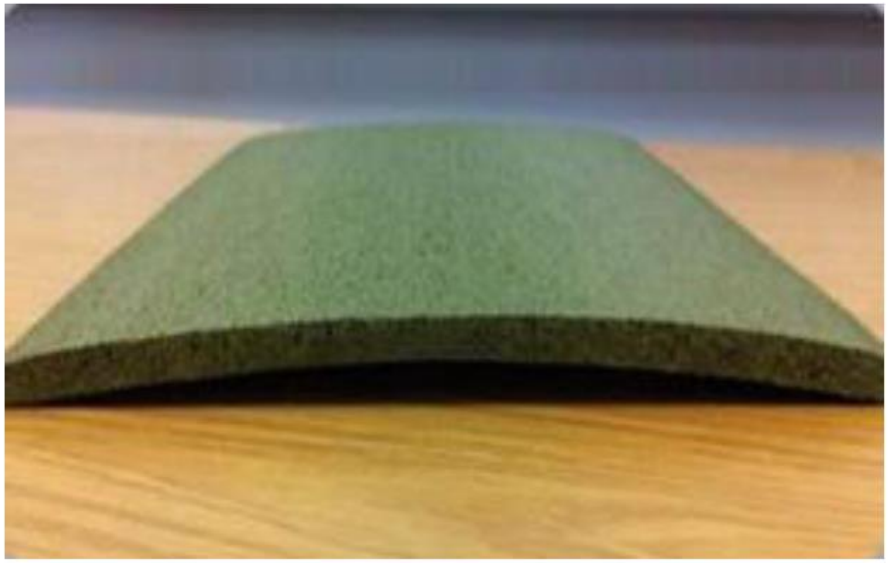


Producto: Bolardos.

Diseñador: Proyecto eco-rubber.

DENA. Tyre recycling.

http://www.dena.co.uk/www.dena.co.uk/Tyre_Recycling.html



Producto: Madera.

Diseñador: Dena nano.

Otras **aplicaciones** derivadas del reciclaje de **neumáticos usados.**

GENEU. Concreto mejorado con fibras derivadas de Neumáticos

https://geneu.com.uy/concreto-mejorado-con-fibras-derivadas-de-neumaticos/

Aplicación: Cemento de alta tracción en la construcción

PINTECORD. Microgoma Lajamax

https://pintecord.com.ar/product/impermeabilizante-micro-goma-lajamax

Aplicación: Recubrimiento impermeable para construcción

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

tnu TRATAMIENTO NEUMÁTICOS USADOS

PAÍS CIRCULAR. Neumáticos se transformarán en estructuras de soporte de caucho reciclado para las viñas.

https://www.paiscircular.cl/consumo-y-produccion/neumaticos-reciclaje/

El soporte para viñas ecológico basado en el material de caucho recuperado tiene las ventajas de alta elasticidad, alta tenacidad, no fractura y buena resistencia a la corrosión, y también logra el propósito de reducir en gran medida la presión de protección ambiental, reciclar los desechos y generar beneficios económicos. reutilizando el polvo de caucho residual.

Aplicación: Soporte para viñas

PATENTSCOPE. Espuma de poliuretano para papel pintado de gran elasticidad, antibióticos y sin juntas..

https://patents.google.com/patent/CN105238027A/en

Espuma de poliuretano antimicrobiano blanda de tipo vegetal, suave y muy elástica.

Aplicación: Mejorante en espumas poliuretánicas

ECOINVENTOS. Neumáticos usados para las “carreteras recicladas” del futuro, silenciosas y a prueba de agujeros.

https://ecoinventos.com/neumaticos-usados-para-las-carreteras-recicladas-del-futuro/

Aplicación: Hormigón asfáltico

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

tnu TRATAMIENTO NEUMÁTICOS USADOS

PHYS ORG. SpaceMat: Graphene's answer to recycling tire rubber launches to market.

https://phys.org/news/2020-10-spacemat-graphene-recycling-rubber.html

La alfombra plástica es de alta planitud, estable en rendimiento físico, alta en elasticidad y favorable para la salud y el ejercicio de las personas.

Aplicación: Suelo de lugares públicos

GREAT MATS. Combat Global Waste With Recycled Rubber Paver Tiles.

https://www.greatmats.com/images/rubber-patio-paver-tile/rubber-patio-paver

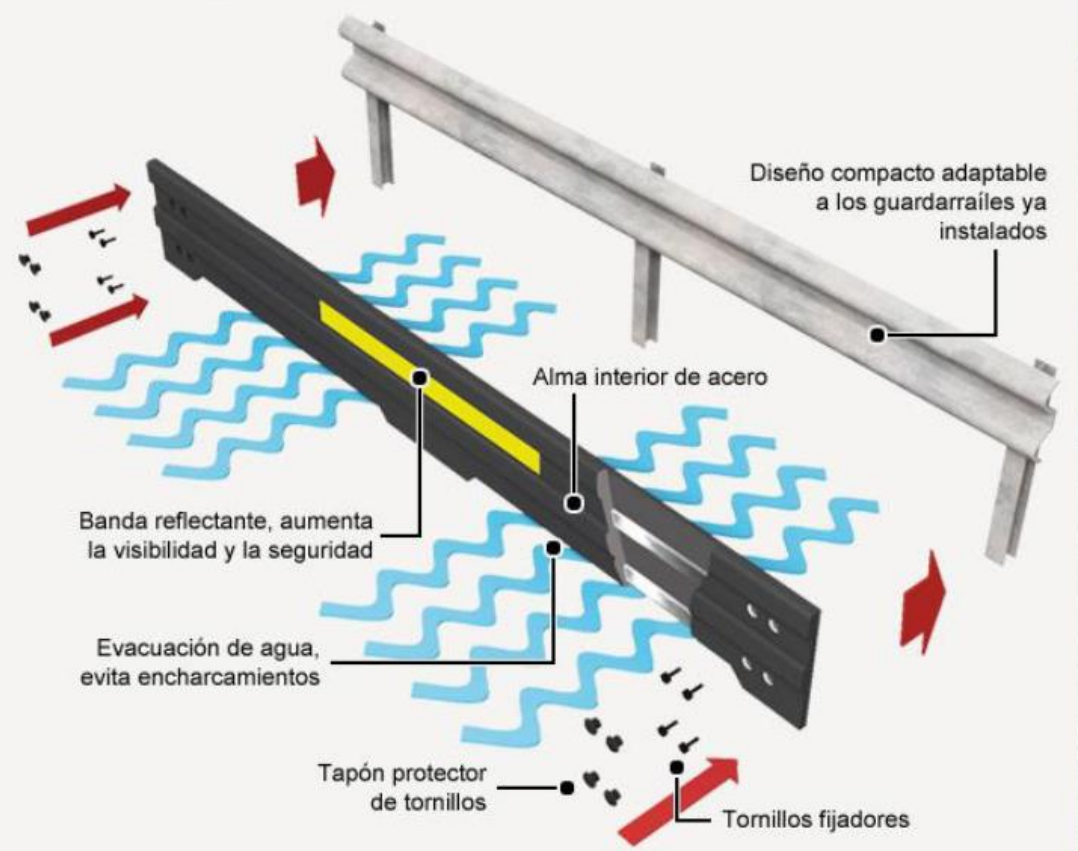
Aplicación: Baldosas para suelo pisable

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

tnu TRATAMIENTO NEUMÁTICOS USADOS

TNU. Guardarraíl de neumático reciclado.

https://www.tnu.es/w/127/guardarrail-de-neumaticos-reciclados/lang/es



Aplicación: Guardarraíl

NOTICIAS DE LA CIENCIA. Emplear neumáticos usados para fabricar supercondensadores.

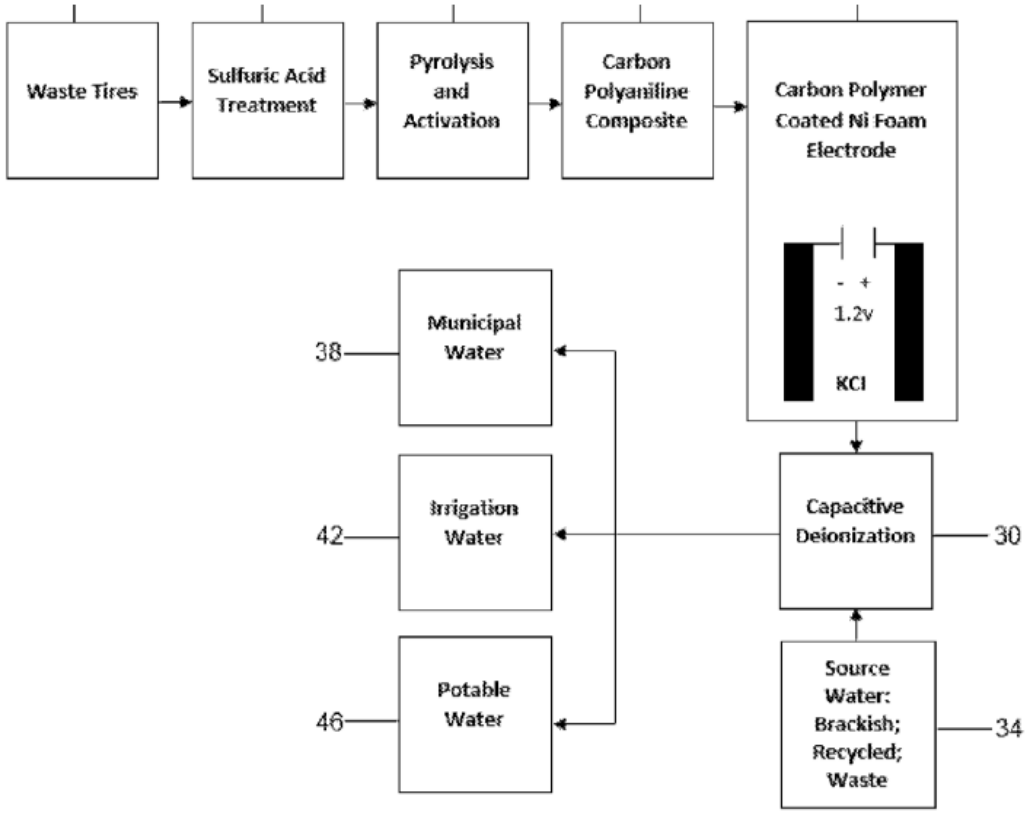
https://noticiasdelaciencia.com/art/16283/emplear-neumaticos-usados-para-fabricar-supercondensadores

Se utiliza neumático de desecho para la producción de carbón de neumático incrustado con nanopartículas de múltiples metales (MTC) que sirve como precursor para la aplicación de supercondensadores.

Aplicación: Supercondensador

PATENTSCOPE. Electrodes based capacitive deionization for the desalination of water.

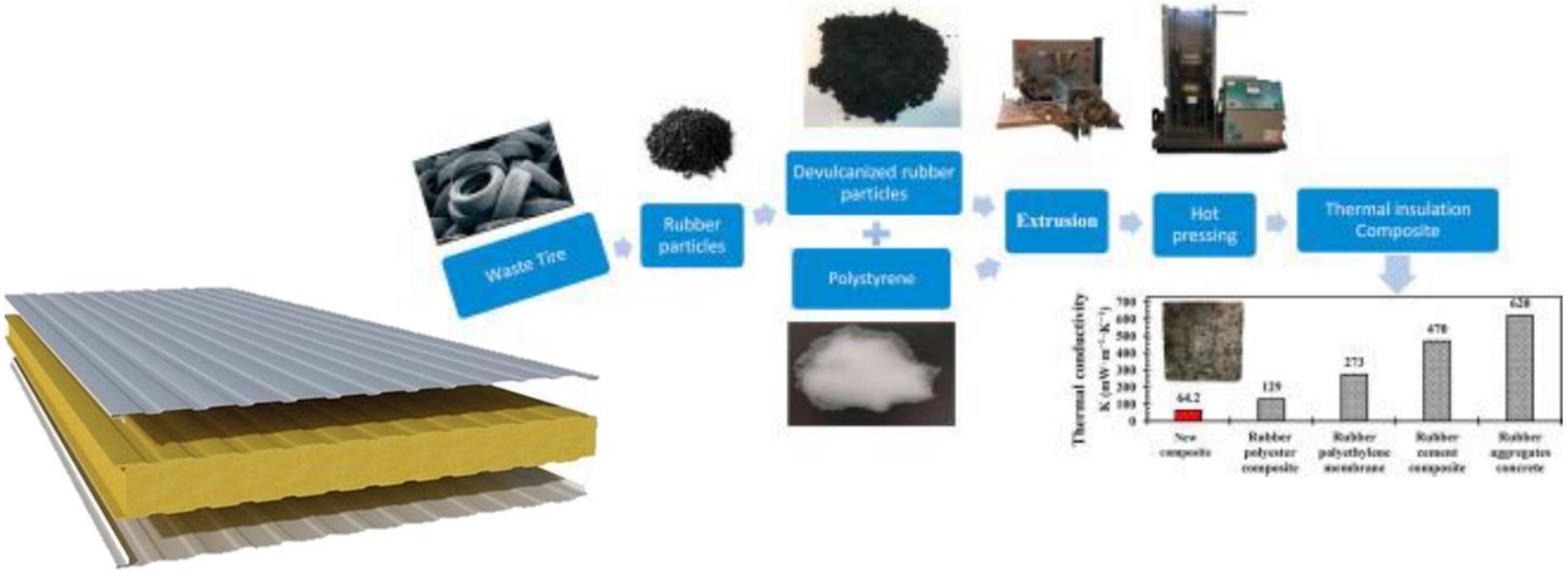
https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2019147790&tab=PCTBIBLIO



Aplicación: Electrodos de carbón (para la desalinización del agua)

SCIENCE DIRECT. Utilization of devulcanized waste rubber tire in development of heat insulation composite.

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620345364



Aplicación: Panel aislante térmico

Aplicación: Aditivo en cola para asfalto

Aplicación: Aislante para cables

Composición de resina para manguera de lavadora con mejor moldeabilidad y durabilidad. El componente de resina se comprende de una parte de caucho, una mezcla de carbón negro y un aditivo.

Aplicación: Gomas para electrodomésticos