

04-028

MANAGEMENT OF END-OF-USE TIRES: APPLICATION OF TECH MINING FOR TREND ANALYSIS

Artacho-Ramírez, M.A. (1); Vicente Gomila, José M. (1); CLOQUELL-BALLESTER, V.A. (1)
(1) PRINS (Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad).
Universitat Politècnica de València.

The management of end-of-life tires (ELT) is a serious technological, economic and ecological challenge worldwide. Analyzing trends in scientific and technological progress and identifying the main agents of innovation is vital to meet such a challenge. In present work, this analysis has been carried out by applying Tech Mining. Thus, an exhaustive analysis of patents and scientific publications on the different tire recycling and regeneration techniques has been made, along with a frequency analysis (TFIDF) and an emerging elements analysis. The search in scientific articles yields contributions on the use of ELT to obtain green materials such as rubberized concrete, as a binder or as particles and mixtures for asphalt. In general, in recent years there has been a growing interest in improving technologies for ELT recycling and in the search for applications that provide an outlet for recycled rubber stocks. However, the interest in the recovery and regeneration of rubber is still undeveloped. This trend is likely to change in the coming years with increasing legislative pressure and interest in improving the circularity of the industry.

Keywords: End-of-use tires; Tech Mining; tires; recycling

TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO: APLICACIÓN DEL TECH MINING PARA EL ANÁLISIS DE TENDENCIAS

La gestión de neumáticos fuera de uso (NFU) es un serio desafío tecnológico, económico y ecológico a escala global. Analizar tendencias de progreso científico y tecnológico e identificar los principales agentes de innovación es clave para intentar afrontar ese reto. En ese trabajo se ha realizado ese análisis aplicando Tech Mining. Así, se ha llevado a cabo un exhaustivo análisis de patentes y publicaciones científicas sobre las diferentes técnicas de reciclado y regeneración de neumáticos, un análisis de frecuencia (TFIDF) y de elementos emergentes. La búsqueda en artículos científicos arroja aportaciones sobre uso de restos de neumáticos para obtener materiales verdes como el hormigón “engomado”, como aglutinante o como partículas y mezclas para asfalto. En general, 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 del caucho se encuentra todavía estancado. Es muy probable que esta tendencia cambie en los próximos años con la creciente presión legislativa y el interés por mejorar la circularidad de la industria.

Palabras clave: Neumáticos Fuera de Uso; Tech Mining; Neumáticos; reciclado

Correspondencia: vacloque@dpi.upv.es

Agradecimientos: A la empresa Tratamiento Neumáticos Usados, S.L. por ser promotora del proyecto.



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El caucho y sus distintas composiciones (EPDM, SBR, BR) junto con los materiales de refuerzo, agentes curativos y plastificantes contribuyen, individual y colectivamente, a definir las propiedades del composite neumático. Estos componentes se vulcanizan juntos para generar las propiedades específicas del neumático. La vulcanización es un proceso descubierto por Charles Goodyear en 1839 que consiste en la reticulación del caucho utilizando azufre o un compuesto que contiene azufre (Rajan et al., 2006; Akiba & Hashim, 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 y de material termoestable, motivo por el que pueden reprocesarse, como es el caso de los materiales termoplásticos. También se usan varios aditivos 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, Ribeiro & Silva, 2008; Roche et al., 2011). Por estas razones, la gestión de neumáticos usados se ha convertido en un serio desafío tecnológico, económico y ecológico a escala mundial.

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 tres millones de toneladas de neumáticos (ETRMA, 2019). En este escenario, analizar tendencias de progreso e innovaciones, la evolución de aplicaciones tecnológicas e identificar los actores principales y su nivel de actividad en el sector resulta 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 consiste en la aplicación de herramientas de minería de textos 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, entre otras, a preguntas relacionadas con la gestión de la ciencia y la tecnología como las siguientes:

- ¿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?

Así, en el presente estudio se aplica el Tech mining para analizar innovaciones y tendencias tecnológicas vinculadas al campo de la recuperación y reciclado de neumáticos fuera de uso para poder responder las preguntas mencionadas anteriormente y saber hacia dónde se mueve el sector.

2. Material y métodos

Los análisis que se muestran a continuación han pasado por los procesos típicos de la aplicación de Tech mining (Porter & Cunningham, 2005): realizar las búsquedas de referencias pertinentes, importar datos 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.

En lo referente a patentes, los datos se han extraído de la base de datos *LexisNexis TotalPatent One*. 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. Los términos de búsqueda empleados han sido: (*Scrap tire OR scrap tyre OR tire crumb OR tyre crumb*”, *“tire oil OR tire fuel OR tire gas OR tyre oil OR tyre fuel OR tyre gas*), (*pyroli* OR cryogenic* OR microbiolog* OR microwave**) AND (*desulfur* OR devulcan**), (*Polybutadiene OR butadiene rubber AND waste tire*).

Las publicaciones se han extraído de la base de datos *Web of Science*, incluyendo todas las bases de su colección principal (índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, BKCI-S, BKCI-SSH, ESCI, CCR-EXPANDED, IC). La estrategia de búsqueda se ha dividido en tres bloques con los siguientes términos:

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))))
2. TS=(((crumb rubber) OR ((scrap) AND (tire)) OR (shredded tire)) NOT (Adiabatic passage))
3. TS=((pyrolysis) AND (tire OR butadiene))

En todos los casos se ha empleado como filtro temporal las aportaciones registradas después de 2012. Para realizar los análisis de Tech mining se ha utilizado la herramienta VantagePoint de Georgia Tech de EE. UU.

Con todo, los análisis realizados en el presente trabajo sobre distintos temas relacionados con el reciclado y la recuperación de neumáticos fuera de uso (NFU) son:

- Análisis de patentes sobre las diferentes técnicas viables para el reciclado de neumáticos y su regeneración
- Pirólisis
- Tire Derived Fuel (TDF)
- 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.

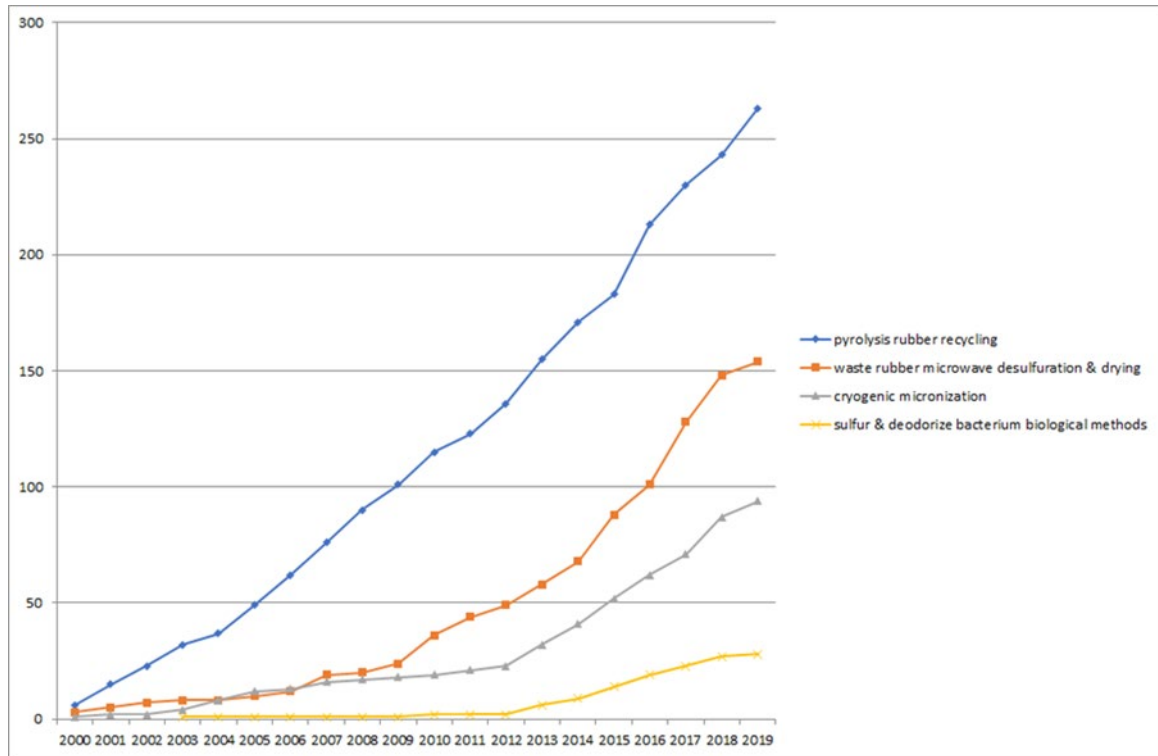
3. Resultados

A continuación, se muestran y discuten brevemente los resultados de cada uno de los análisis.

3.1. Análisis de patentes sobre las diferentes técnicas viables para el reciclado de neumáticos y su regeneración.

La figura 1 muestra el resultado de la búsqueda patentes de las diferentes tecnologías viables de reciclado y regeneración de neumáticos (Criogénica, Microbiológica, Pirólisis y Microondas).

Figura 1. Porcentaje de patentes entre las distintas tecnologías empleadas para el reciclado de neumáticos

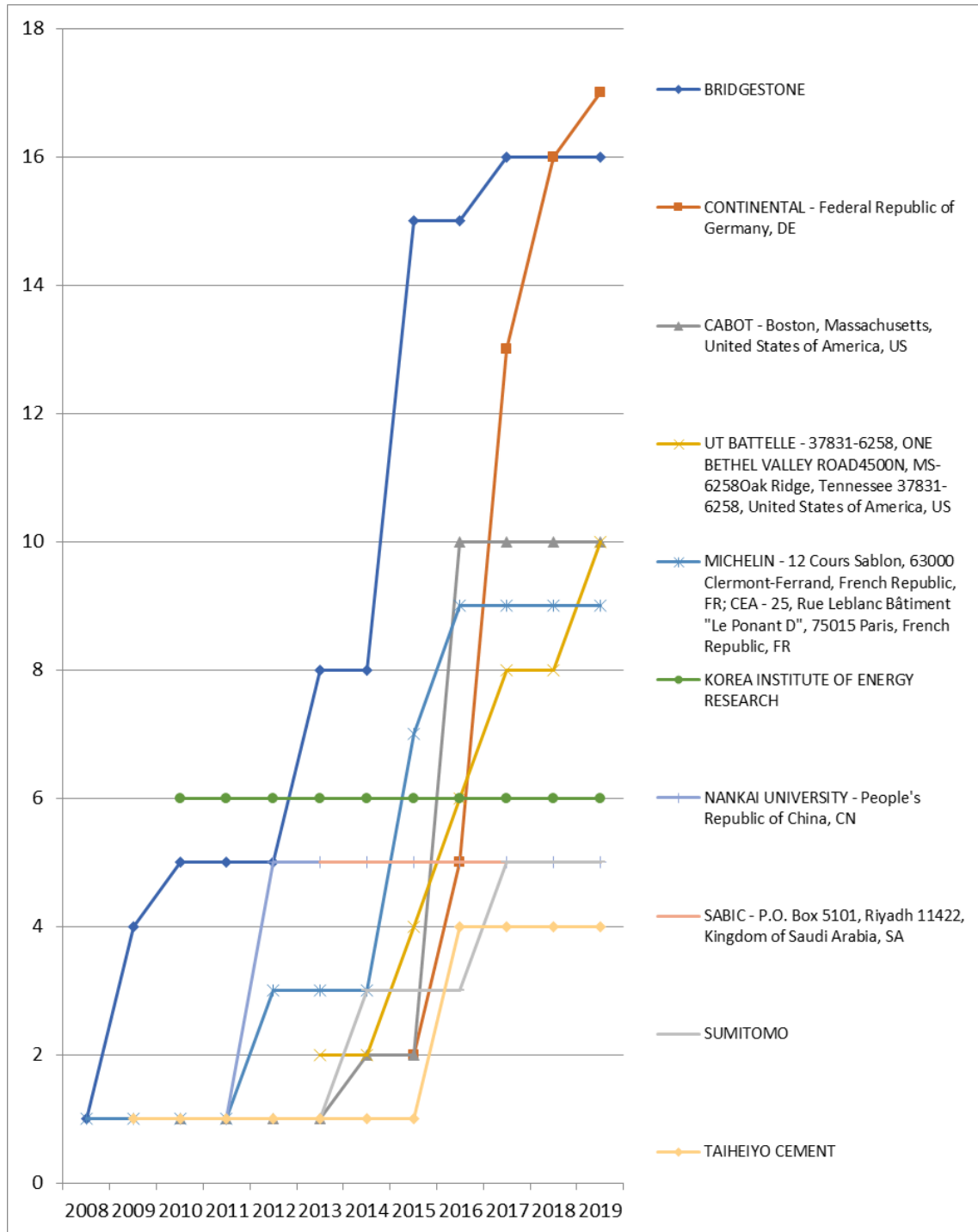


Se pone de manifiesto el mayor número de patentes basada en procesos de pirólisis, que mantiene una pendiente de crecimiento más o menos constante en los últimos 20 años. Sin embargo, cabe destacar el crecimiento experimentado desde 2012 del resto de tecnologías, destacando sobre todo las técnicas de 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.

3.2 Pirólisis

En la figura 2 se evalúa la evolución a lo largo de los últimos años del número de patentes registradas por las 10 primeras firmas acerca de pirólisis. Las más prolíficas en este campo son Bridgestone, Continental, Cabot y Batelle, seguidas de Michelin.

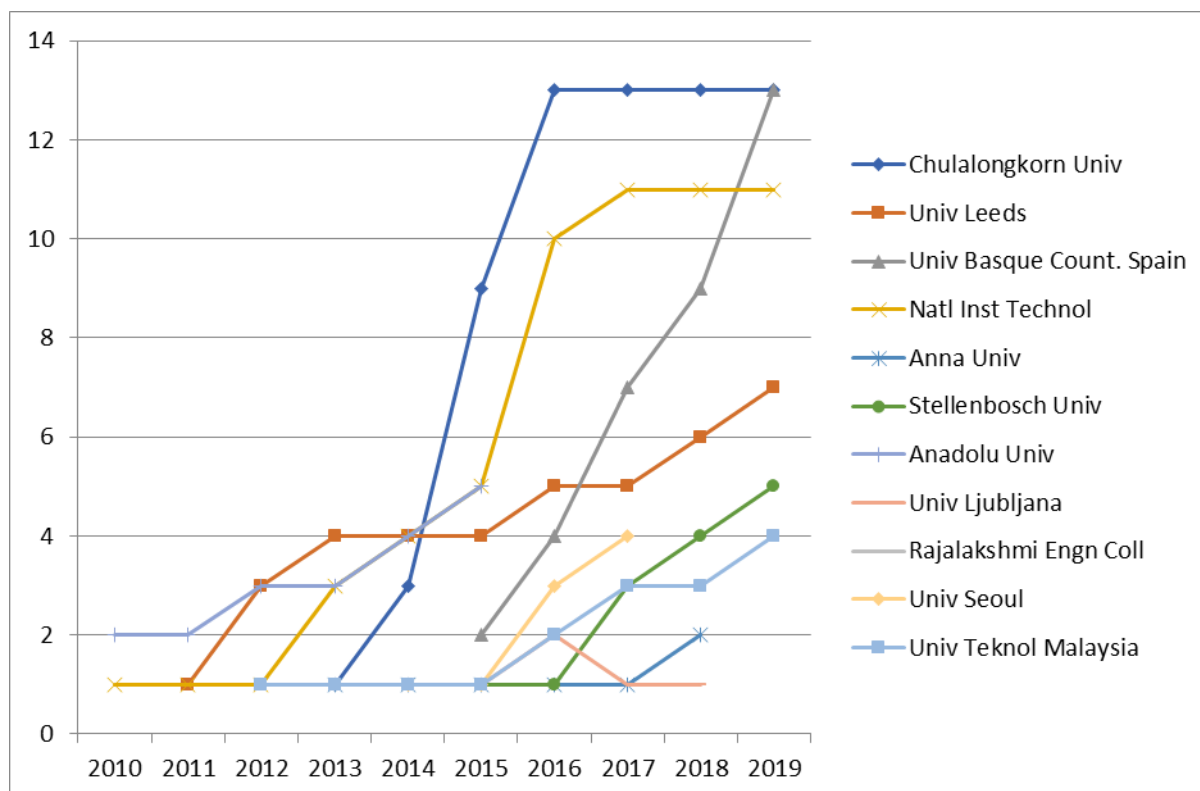
Figura 2. Número de patentes registradas por las 10 primeras firmas en el ámbito de pirólisis



3.3. Tire Derived Fuel (TDF).

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. En la figura 3 se muestra la evolución a lo largo de los últimos años del número de publicaciones científicas sobre TDF por las instituciones más activas y su tendencia acumulada.

Figura 3. Número de publicaciones científicas sobre “Tire Derived Fuel” por institución



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

Resulta destacable que autores como Sharma y Murugan (2015), Doğan, Elik y Ozdalyan (2012), Kumaravel, Murugesan y Kumaravel (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 1 muestra qué instituciones de investigación están más especializadas en dicha desulfuración.

Tabla 1. Instituciones de investigación más especializadas en la desulfuración del TDF

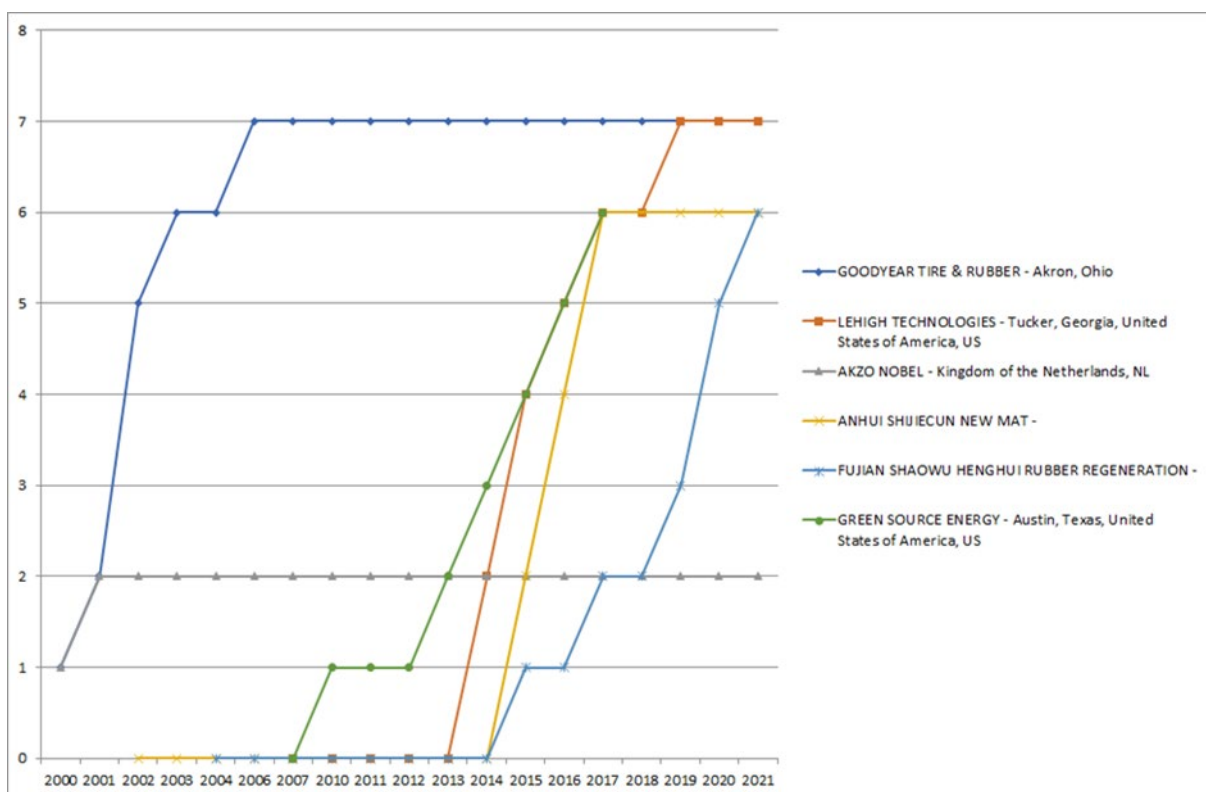
| Artículos Pirólisis | Institución | Artículos Desulfuración |
|---------------------|----------------------------|-------------------------|
| 28 | Chulalongkorn | 18 |
| 33 | Universidad del País Vasco | 10 |
| 10 | King Fahd Univ Petr & M | 8 |
| 16 | Notheastern Univ | 6 |
| 36 | CSIC | 5 |
| 41 | Univ Leeds | 5 |
| 11 | Anna Univ | 4 |
| 10 | Stellenbosch Univ | 4 |

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.

3.4 Desvulcanización

Dado que el reciclaje por desvulcanización de NFU puede recuperar valor y reducir los desechos (Gratton 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 4 se pueden observar las organizaciones más activas.

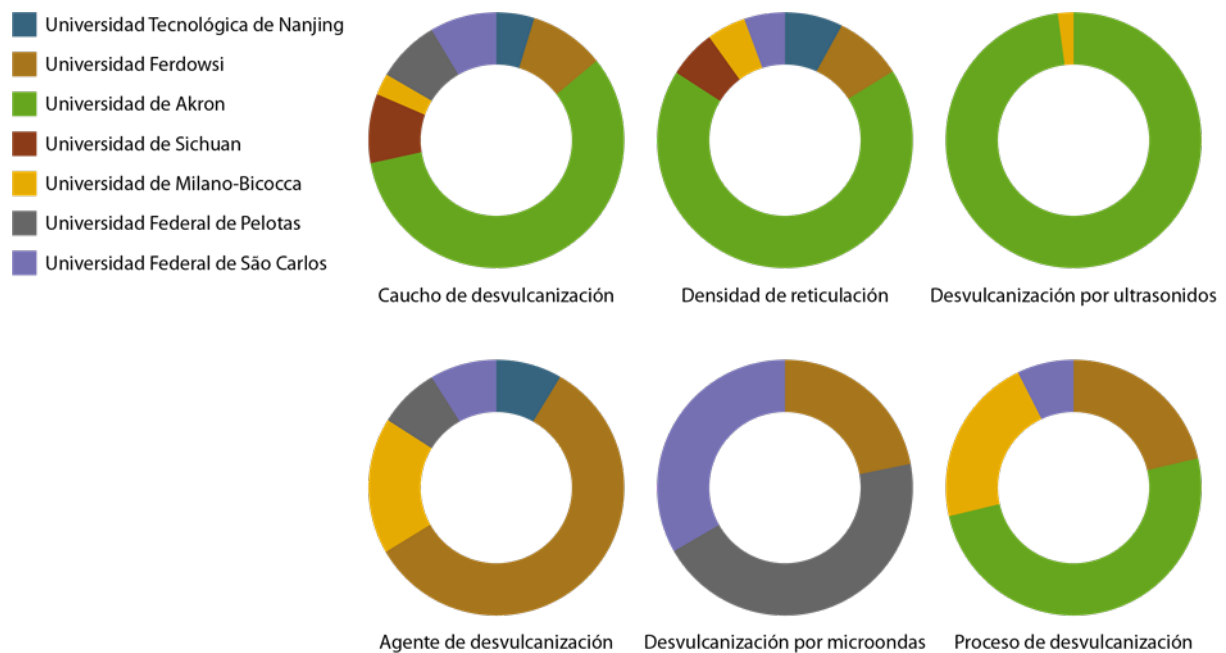
Figura 4. Evolución del número de patentes por organización en desvulcanización



La figura 4 refleja la escasa actividad en general en esta área, donde empresas clásicas como Goodyear cesaron su actividad en 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.

De un análisis bibliográfico en bases científicas se obtienen 383 artículos científicos relacionados con la desvulcanización. En la figura 5 se muestran los términos más actuales y frecuentes tratados en dichos artículos y las universidades involucradas.

Figura 5. Organizaciones más activas en desvulcanización y distribución de sus aportaciones según temáticas prominentes

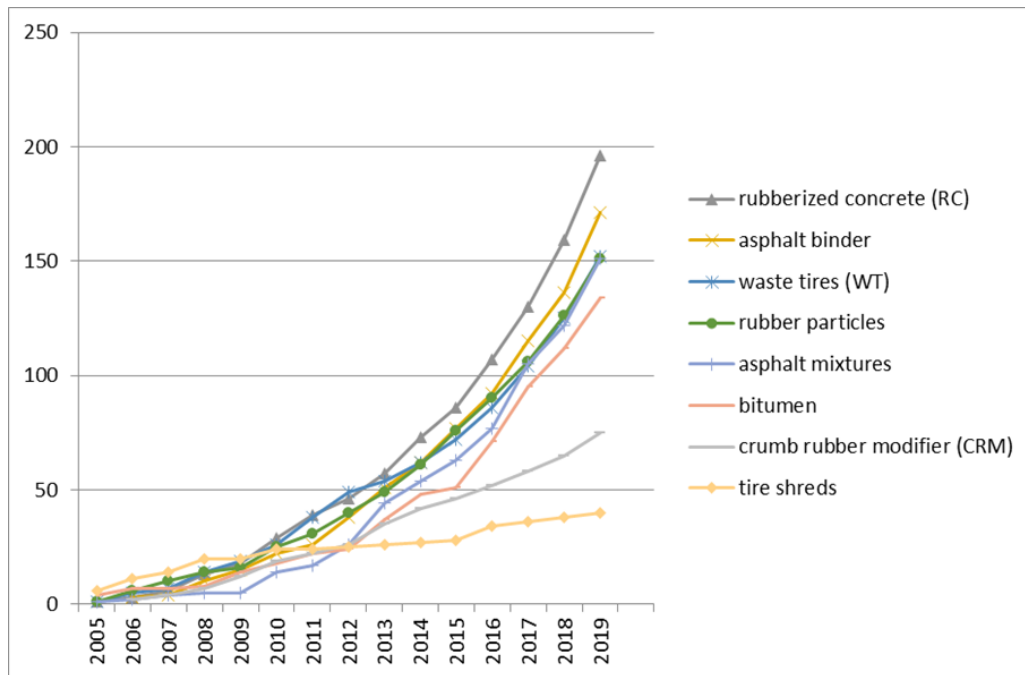


Destaca en número y variedad de publicaciones la Universidad estadounidense de Akron, seguida por la Universidad de Milano-Bicocca. Después destaca la Universidad iraní de Ferdowsi, por sus aportaciones en procesos y agentes de desvulcanizado, junto con la aplicación de microondas.

3.5 Búsqueda de publicaciones científicas a partir de palabras clave.

En la Figura 6 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.

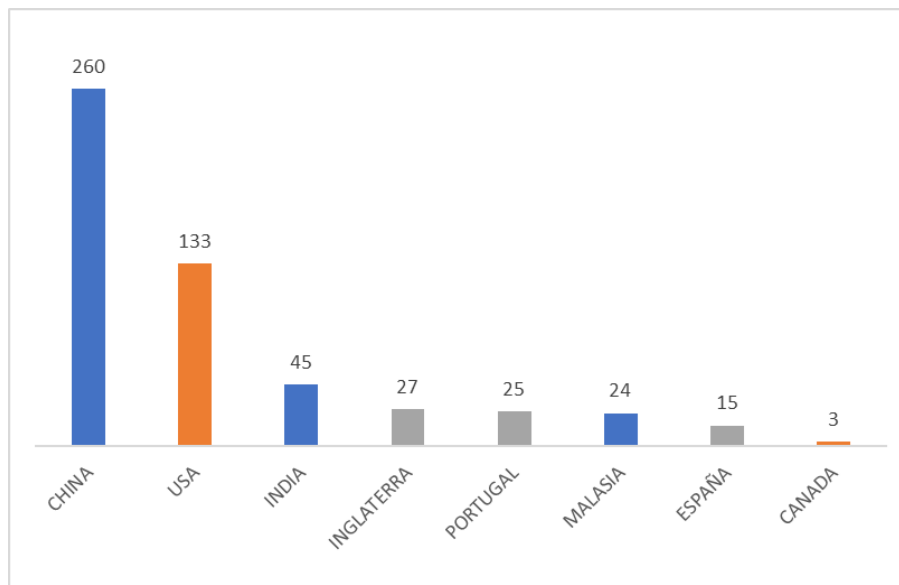
Figura 6. Número de apariciones y evolución con el tiempo de artículos científicos en los que aparecen esos términos y sus combinaciones



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.

En la figura 7 se puede observar el volumen de publicaciones por países.

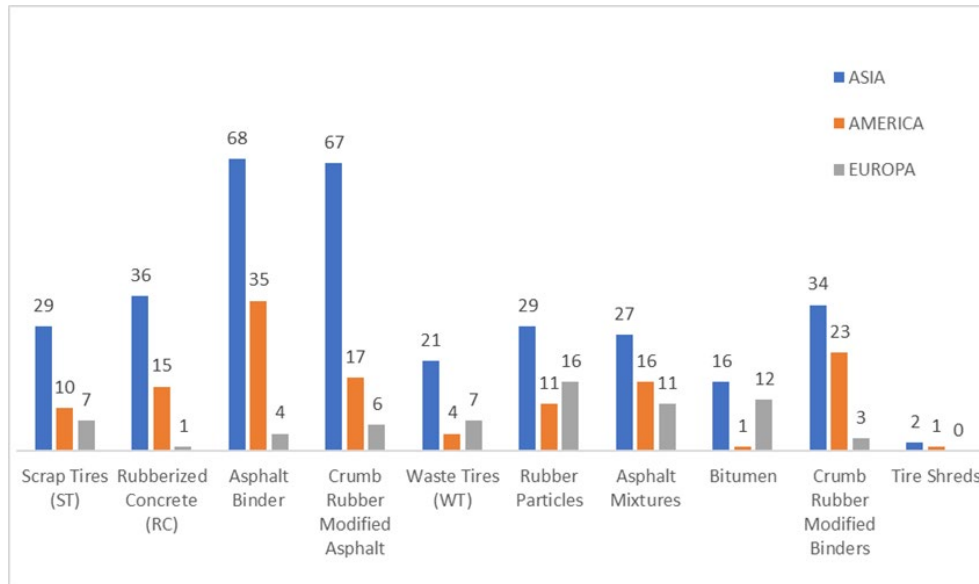
Figura 7. Número total de publicaciones de las organizaciones agrupadas por países.



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.

En la figura 8 aparecen el total de publicaciones por continente agrupadas para cada una de las palabras clave.

Figura 8. Comparación del número de publicaciones en cada caso por continentes



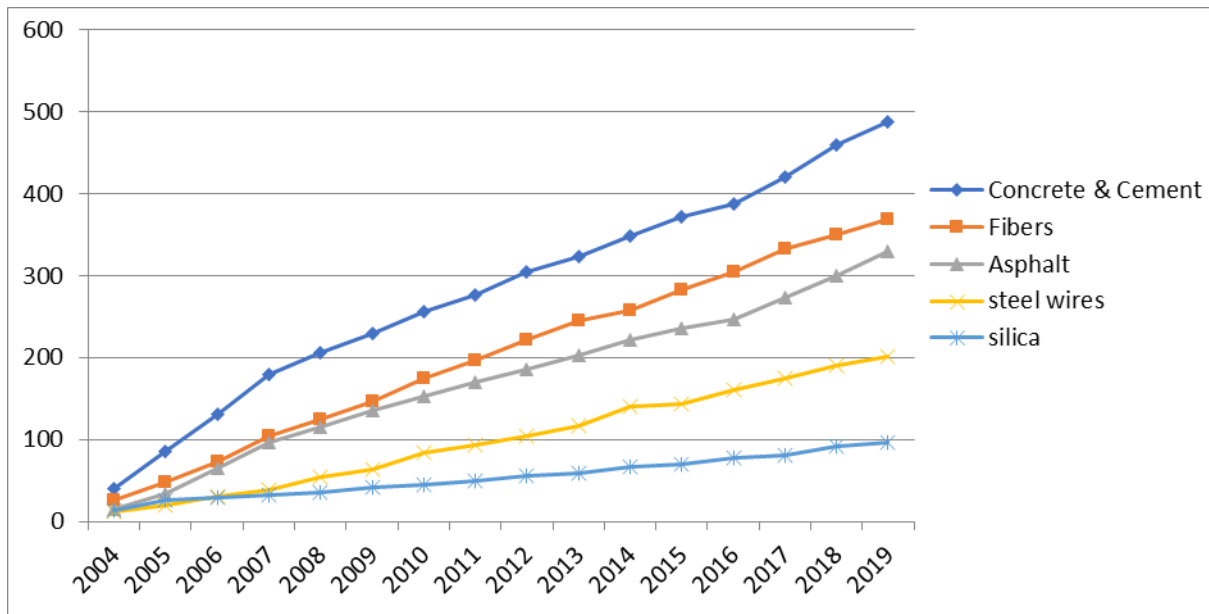
De nuevo, el continente asiático es el gran dominador, seguido a mucha distancia por los norteamericanos (principalmente EE. UU.) Dentro de la supremacía asiática, destacan sobre todo las aplicaciones para asfalto y cemento.

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

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 10 muestra el número acumulado de patentes relacionadas con esas aplicaciones y su evolución durante 15 años.

Figura 10. Número acumulado de patentes relacionadas con aplicaciones de caucho reciclado/reutilizado

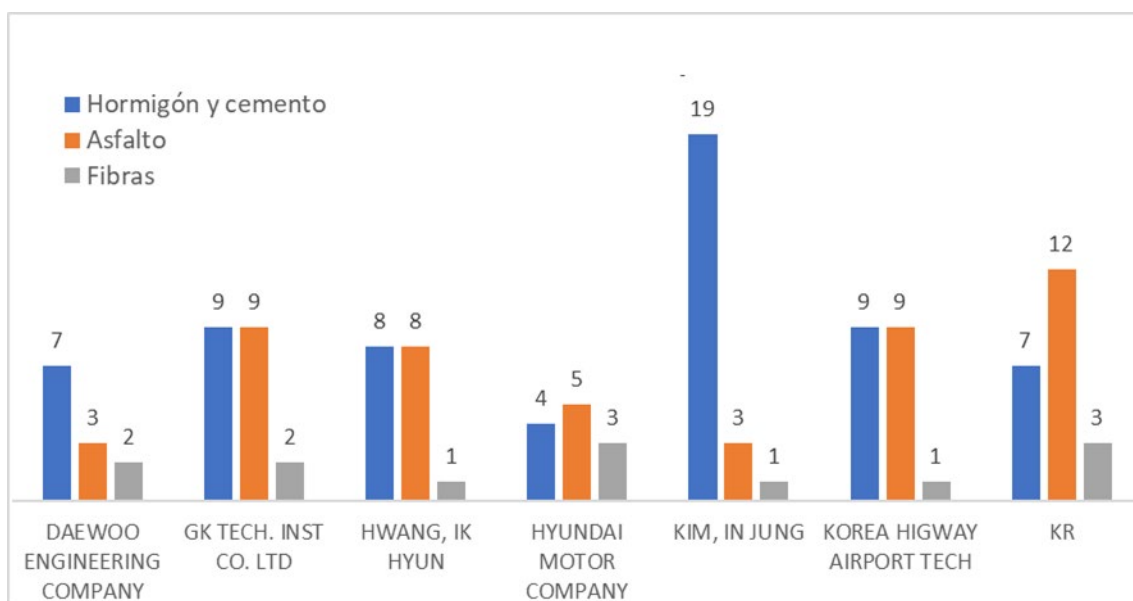


Cabe destacar el paulatino incremento de registros en todos los casos y un ligero cambio de pendiente ascendente a partir de 2017 para el caso de asfaltos y en hormigón y cemento.

3.7. 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 mostradas en la figura 10. La figura 11 muestra el interés mostrado por las empresas líderes que realizan aportaciones relevantes en tres de los cuatro tipos de aplicaciones.

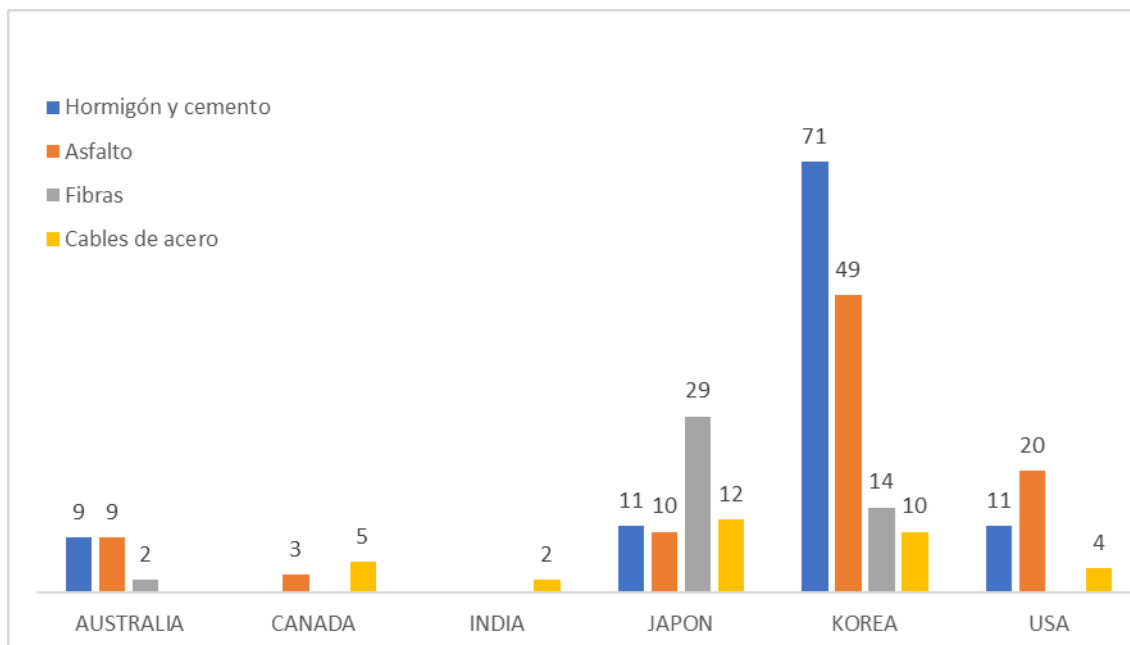
Figura 11. Patentes de organizaciones líderes activas en tres de las cuatro aplicaciones.



El interés empresarial 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 figura 12 muestra la distribución de aportaciones por países.

Figura 12. Distribución de patentes por países



Se observa un claro dominio de Corea seguida, de lejos, por Japón; únicos países que publican patentes en todas las aplicaciones. Japón destaca además por tener a las fibras como principal interés.

4. Conclusiones

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

Del análisis de patentes acerca de las principales tecnologías se obtiene un liderazgo significativo y sostenido de la pirólisis en las últimas décadas. 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. Las empresas líderes son Bridgestone, Continental, Cabot y Batelle, seguidas de Michelin.

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

En lo relativo a la desvulcanización, el análisis de patentes y publicaciones ha desvelado un limitado interés empresarial y una pobre evolución. Actualmente, los resultados de recuperación son todavía pobres, es contaminante y no es comercialmente viable.

De la búsqueda en artículos científicos por palabras clave destaca el número publicaciones 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. Agrupando la difusión científica de estas aplicaciones por países, se observa un predominio abrumador de China, seguida por EE. UU. e India. Los países europeos tienen una destacada contribución en las aplicaciones de partículas de caucho, empleo de bitúmenes y residuos de neumáticos en general. Si la agrupación se hace por continentes, el continente asiático es el gran dominador.

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.

Siete son las empresas que están detrás de las aplicaciones mencionadas: KR, Kim In Jung, GK Tech Inst Co Ltd, Korea Highway Airport Tech, Hwang, IK Hyun, Daewoo Engineering Co. y Hyundai Motor Company. Entre ellas prevalece el interés por las aplicaciones en hormigón y cemento, seguidas por el asfalto. Las empresas coreanas son las grandes dominadoras seguidas por las japonesas, demostrando una vez más la hegemonía asiática en este campo.

En general, del análisis realizado se desprende que en los últimos años se ha producido un creciente interés en la mejora de tecnologías destinadas al reciclaje de NFU, así como en la búsqueda de aplicaciones que den salida a los stocks de caucho reciclado. Sin embargo, el interés por la recuperación y regeneración del caucho se encuentra todavía estancado. Es muy probable que esta tendencia cambie en los próximos años con la creciente y constante presión legislativa y la búsqueda de mejorar la circularidad de la industria.

Este primer estudio ha permitido conocer las principales tendencias de los términos más generales vinculados al tratamiento de NFU para entender qué se está haciendo y quiénes están detrás de ese trabajo. Un análisis más pormenorizado en temas más concretos se podría realizar en trabajos futuros en caso de querer profundizar en aspectos más concretos que fueran de interés para la industria.

Referencias

- Akiba, M., & Hashim, A. S. (1997). Vulcanization and crosslinking in elastomers. *Progress in Polymer Science*, 22, 475-521.
- Baricevic, A., Pezer, M, Rukavina, M.J., Serdar, M., & Stirmer, N. (2018). Effect of polymer fibers recycled from waste tires on properties of wet-sprayed concrete. *Construction and Building Materials*, 176, 135–144.
- Doğan, O., Elik M. B., & Ozdalyan, B. (2012). The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 95, 340–346.
- ETRMA (2019). Europe - 92% of all End of Life Tyres collected and treated in 2017. Press Release. Obtenido el 28 de marzo de 2022, desde: <https://www.etrma.org/news/europe-92-of-all-end-of-life-tyres-collected-and-treated-in-2017>
- Ferrão, P., Ribeiro, P., & Silva, P. (2008). A management system for end-of-life tyres: a Portuguese case study. *Waste Management*, 28, 604–14.
- Gratton, M., Asaro, L., Hocine, N. A., & Seghar, S. (2018). Recycling of rubber wastes by devulcanization. *Resources Conservation and Recycling*, 133, 250–262.
- Hita, I., Arabiourrutia, M., Olazar, M., Bilbao, J., Arandes, J. M., & Castaño, P. (2016). Opportunities and barriers for producing high quality fuels from the pyrolysis of scrap tires. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 56: 745–59.
- Jantaraksa, N., Prasassarakich, P., Reubroycharoen, P., & Hinchiranan, N. (2015). Cleaner alternative liquid fuels derived from the hydrodesulfurization of waste tire pyrolysis oil. *Energy Conversion and Management*, 95, 424–34.
- Kumaravel, S.T., Murugesan, A., & Kumaravel, A. (2016). Tyre pyrolysis oil as an alternative fuel for diesel engines – a review. *Renewable & Sustainable Energy*, 60, 1678–1685.

- Mohajerani, A., Burnett, L., John V. Smith, L.J. Markovski, S., Rodwell, G., Rahman, M.T., Kurmus, H., MehdiMirzababaei, M., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., & Maghool, F. (2020). Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104679.
- Porter, A. L. (2005). QTIP: Quick technology intelligence processes. *Technological Forecasting and Social Change*, 72, 1070-1081.
- Porter, A. L., & Cunningham, S. (2005). *Tech Mining: Exploiting New Technologies for Competitive Advantage*. New York: Wiley Interscience.
- Rajan, V. V., Dierkes, W. K., Joseph, R., & Noordermeer, J. W. M. (2006). Science and technology of rubber reclamation with special attention to NR-based waste latex products. *Progress in Polymer Science*, 31, 811–34.
- Roche, N., Ichchou, M. N., Salvia, M., & Chettah, A. (2011). Dynamic damping properties of thermoplastic elastomers based on EVA and recycled ground tire rubber. *Journal of Elastomers and Plastics*, 43, 317–40.
- Sharma, A., & Murugan, S. (2015). Potential for using a tyre pyrolysis oil-biodiesel blend in a diesel engine at different compression ratios. *Energy Conversion and Management*, 93, 289–97.

Comunicación alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

