

Efectividad de los materiales sostenibles para el mejoramiento y aplicación de obras viales

Effectiveness of sustainable materials for the improvement and application of road

Lilian Rocío Villanueva Bazán¹  Martha Gladys Huamán Tanta^{1*} 

¹Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Ciudad Universitaria Colpamatara, 06120, Chota, Cajamarca, Perú.

*Autor de correspondencia [e-mail: liferja2104@hotmail.com]

RESUMEN

El sector de la construcción de carreteras se enfrenta a dos desafíos principalmente; el primero es reducir el impacto ambiental y segundo mejorar la eficiencia tanto económica y vida útil. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la información científica referente a la eficiencia de materiales sostenibles para el mejoramiento de obras viales. Se trabajó con metodología PRISMA, realizando una búsqueda exhaustiva en bases de datos bibliográficos, como: Scopus y Web of Science, utilizando palabras clave como "materiales sostenibles", "eficiencia de materiales", "pavimentos reciclados". Posteriormente, se seleccionaron estudios que cumplieron los criterios de la metodología utilizada. Los resultados obtenidos de los estudios revisados demuestran que los materiales sostenibles pueden ofrecer beneficios ambientales y sociales en la construcción de obras viales.

Palabras clave: Efectividad de componentes, pavimentos reciclados, resistencia.

ABSTRACT

The road construction sector faces two main challenges: reducing environmental impact and improving both economic efficiency and durability. Therefore, this study aimed to analyze scientific information related to the efficiency of sustainable materials for road improvement works. The PRISMA methodology was employed, conducting an exhaustive search in bibliographic databases such as Scopus and Web of Science, using keywords like "sustainable materials," "material efficiency," and "recycled pavements." Subsequently, studies that met the criteria of the utilized methodology were selected. The results from the reviewed studies demonstrate that sustainable materials can offer environmental and social benefits in road construction.

Keywords: Effectiveness of components, recycled pavements, resistance.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el sector de la construcción es uno de los principales consumidores de recursos naturales y

generadores de residuos en el mundo. Esta industria sobre todo la tradicional ha dependido en gran magnitud de los

materiales obtenidos y procesados a partir de recursos vírgenes, lo que genera un gran impacto ambiental (Habib et al., 2022).

Además, según el informe del Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2021, el sector de la construcción es responsable de aproximadamente el 23% de las emisiones globales de CO_2 relacionados con la energía. (IPCC, 2021). Por esta razón, La búsqueda de alternativas sostenibles en obras viales se ha intensificado en los últimos años, destacando el uso de materiales sostenibles como una estrategia clave para reducir el impacto ambiental, garantizando durabilidad, funcionalidad y rentabilidad. (Manassero et al., 2023; Correria et al., 2022).

Por su parte, el estudio de Rispoli et al., (2024) afirman que Las mezclas asfálticas sostenibles reducen significativamente el impacto ambiental en comparación con las tradicionales, disminuyendo hasta un 60% las emisiones de cambio climático, un 30% la eutrofización marina y un 20% la eutrofización de agua dulce, contribuyendo a la reducción de residuos, la captura de carbono y el objetivo de cero neto.

Asimismo, se presentan algunos desafíos para la implementación de estos materiales sostenibles tales como, su disponibilidad, costo, propiedades técnicas y la aceptación de las partes involucradas (Habib et al 2022; Correia et al., 2022).

Según, Lei Bi et al. (2024) revelan que los residuos de construcción y demolición (RCP) son viables para

sustituir materias primas tradicionales en asfalto para pavimentación con rendimientos aceptables en resistencia de adherencia y estabilidad al agua, lo que está en línea con el desarrollo sostenible y la economía circular.

En la misma línea, el estudio de Graczyk et al. (2023) indican que el RCP es una alternativa excelente y moderna a otras mezclas donde los materiales reciclados se pueden usar con éxito, por lo que vale la pena considerar su uso más amplio en la construcción de carreteras.

De igual manera, Unguruano et al., (2020) proporcionan resultados razonables que refuerzan las consideraciones potencialmente prometedoras de implementar el método de reciclaje RAP (Pavimento asfáltico recuperado) en la perspectiva del futuro desarrollo de las redes de carreteras.

Al-Mosawe et al., (2022) demostraron que el RCA (Concreto Asfáltico reciclado) puede reemplazar la grava ordinaria en la subbase del pavimento, cumpliendo las especificaciones requeridas. Poseen un mayor contenido de humedad óptimo, y las proporciones constantes serían 0,026%, 0,471% y 0,373% para los tamaños grueso, fino y extrafino, respectivamente. En general, el uso de RCA para reemplazar el material de grava ordinario para la construcción de la capa de subbase mejorará la capacidad de carga y la rigidez de toda la estructura del pavimento, y el beneficio sería particularmente pronunciado en la capa superficial del pavimento con asfalto.

De acuerdo con los estudios, notamos

la importancia de conocer las diferentes alternativas utilizadas para mitigar los estragos causados por el uso de pavimentos tradicionales y fomentar el uso de pavimentos sostenibles.

Este estudio de revisión sistemática ofrecerá una visión confiable sobre pavimentos sostenibles, facilitando soluciones eficientes y comparaciones entre estudios para integrar sostenibilidad, rentabilidad y cuidado ambiental.

Por ello, el objetivo en esta revisión es proporcionar una síntesis completa y confiable de evidencia científica disponible sobre la eficiencia de materiales sostenibles para el mejoramiento de obras viales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se ha llevado a cabo una revisión sistemática de la literatura científica, para su elaboración se han seguido las directrices establecidas del modelo PRISMA para la correcta realización de la revisión sistemática bajo con resultados rigurosos y eficaces evaluando la calidad e importancia en cada estudio. Según, Moreno et al. (2018) este tipo de estudio sintetiza la evidencia disponible resumiendo los contenidos de múltiples artículos científicos, . A continuación, se detalla el proceso de elaboración en sus distintas fases.

Criterios de elegibilidad

La búsqueda de datos se basó en dos criterios, el primero fue el criterio de inclusión: en el cual se seleccionó artículos que contengan como tema principal: eficiencia de materiales sostenibles para el mejoramiento de

obras viales y los factores asociados a esta variable, cuyos objetivos estén relacionados con esta investigación; además los estudios elegidos tuvieron influencia positiva en aspectos económicos, ambientales y a su vez representar una mejora con el material convencional a reemplazar o adicionar. Así, dentro del contexto e idioma se consideró a aquellos elaborados sólo en inglés, español, alemán, etc. Por otra parte, el segundo criterio es de exclusión, fueron los artículos científicos donde abordaban el uso de materiales reciclados para poder lograr también un impacto en la reducción de residuos y tener un mejoramiento ambiental.

Fuentes de información

Para el procedimiento de búsqueda sistemática sobre los artículos científicos se empleó documentos registrados de "Scopus" y "Web of Science (WoS)", en ambos se tiene una alta calidad y confiabilidad en sus citas y resúmenes. La última búsqueda realizada en cada base de datos fue en julio del 2024.

Estrategias de Búsqueda

En la búsqueda del contenido de los estudios se empleó diversos sinónimos de los términos claves y asociados, los cuales son: "pavimentos y materiales reciclados", "eficiencia de materiales sostenibles". Por lo cual, se utilizó la base de datos Scopus y Web of Science (WoS), en donde se realizó una serie de búsquedas avanzadas con las palabras claves, acompañados de operadores booleanos. La combinación de términos que arrojó mejores resultados en ambos buscadores fue la siguiente cadena: (pavements AND recycled materials). Concretamente, se obtuvo

una base de datos de 167 resultados, de las cuales fueron de Scopus y Web of Science.

Proceso de Selección de los Estudios

Los artículos científicos de las bases de datos Scopus y Web of Science (WoS) se descargaron y se llevaron a una base de registro de Excel, obteniendo así una suma de 167 documentos, con los artículos que presentaban sus características iniciales fueron incluidos en la selección final, debido a que estos serían completados al finalizar la selección. De esa manera se llevó a cabo el procedimiento de las fases PRISMA: Identification (bases), Screening (elegibilidad y análisis de texto completo), e Included (selección final e inclusión de nuevos documentos).

Luego, con la base de criterios de inclusión de búsqueda, se continuó con la fase de Identificación, pasando todos los artículos encontrados por el filtro de encabezado DOI, para identificar artículos duplicados; fue descartado 1 documento por ser repetitivo, quedando 166 artículos, en esta fase también fue necesario detectar y descartar otros tipos de documentos como: review, notes, correction, book review y book chapter, de esta manera fueron eliminados 7 documentos ; quedando 159 artículos, luego se eliminaron 2 documentos que no tenían DOI; y por último se eliminó por criterio de exclusión 19 artículos en otros idiomas no correspondientes para esta revisión sistemática; quedando en esta fase final 138 artículos científicos. En seguida, se procedió a evaluar la calidad de los artículos en la fase Screening con

relación al objetivo de la investigación, para ello se leyó el abstract con el propósito de verificar si los estudios seleccionados se refieren exactamente al tema y contexto expuesto, se encontraron 60 artículos científicos que no compartían relación con el estudio siendo descartados, en la siguiente etapa de la fase se recuperaron los documentos completos, registrando un grupo de complicado acceso, que no se pudo descargar por tener un alto costo o por ser un documento pre print/ incompleto, por lo cual se eliminaron 33 artículos. De esta manera, se obtuvo 45 artículos restantes, los mismos que pasaron a ser evaluados a través del análisis de calidad de los contenidos, incluyendo: objetivo y diseño de la investigación, control de sesgos realizado en los estudios, unidad de información: población, participantes o grupo de estudio, características de la muestra o grupo de estudio, tamaño de la muestra, forma de selección del grupo de estudio, los instrumentos de recolección de datos acordes con variables de intervención y desenlace, factores asociados a la variable de intervención/ exposición y desenlace que se encontró en la variable del problema. De este modo, se investigó cada artículo, detectando investigaciones con partes faltantes y datos no válidos para esta revisión sistemática, por el cual se optó por descartar 1 artículo que no cumplió con lo requerido, quedando así 44 artículos de investigación. Por último, se culminó con la fase Included, donde se calificó el nivel de riesgo del diseño de estudio, el contexto, los participantes, las

variables, las fuentes de datos/medidas, el tamaño de muestra, las variables cuantitativas y cualitativas, los métodos estadísticos y los resultados principales; por ello, se formuló tres opciones de calificación del contenido de cada artículo de investigación: Low entendido como nivel bajo, Some concerns que significa como algunas preocupaciones y High alto nivel de riesgo. De esta manera, se determinó que sean considerados cada 2 High de alto riesgo para la investigación y 4 Some concerns por ser considerados como algunas preocupaciones, pero no eliminados. Por ello, ningún artículo se consideró de alto riesgo para la presente investigación.

Proceso de extracción de datos

Respecto al proceso de recolección de información y extracción de datos, se procedió a indagar en las bases de datos de Scopus y Web of Science (WoS). Luego de la identificación de los estudios a partir de la cadena de búsqueda realizada, se exportó dicha información de todos los documentos encontrados. Después de ello, toda la información conseguida se extrajo a una base de datos de Excel, utilizando el proceso de selección de estudios sugerido de PRISMA (Page, 2021) donde se muestra las tres fases en la selección de los estudios (identification, screening e included). Por lo tanto, en la fase identification se incluyó información relevante para el análisis de información en cada columna, las cuales incluyeron los siguientes datos: Autor(es), título, año de publicación, revista, resumen, palabras claves, editorial, idioma, tipo de documento, DOI, ciudad de publicación y de

estudio. Luego de excluir los artículos duplicados, también otros documentos por tipo de estudio, idioma, no DOI y abstract; se inició la fase screening donde los dos autores se dividieron para el análisis de par ciego tanto para el análisis de exclusión resumen. Para el análisis a texto completo, cada documento recuperado fue nombrado con un código compuesto por el nombre y apellido del primer y segundo autor; además de indicar el motivo de exclusión; luego fue archivado en una carpeta en Google Drive.

Lista de los Datos

Luego de la exclusión por par ciego, se incluyeron columnas de análisis en los artículos que no fueron excluidos, procediendo a la fase Included y a la extracción de datos para dar respuesta a la pregunta de investigación; por lo tanto, para la recuperación de datos de los artículos seleccionados se utilizaron los siguientes campos: objetivo principal de la investigación, modelo teórico de la variable de intervención/exposición (colocar el nombre), modelo teórico de la variable de desenlace (outcome) (colocar el nombre), principal concepto de la variable de intervención/exposición (colocar el nombre), diseño de investigación, instrumento de recolección de datos para la variable de intervención o exposición.

Evaluación de riesgo de sesgo

Para el desarrollo del análisis de riesgos de sesgo (ROB) se utilizó el modelo de análisis STROBE, estableciendo el riesgo según los criterios de información descartar estos artículos. En seguida, se procedió a implementar el análisis de

semáforo y de barras, para especificar en el software Robvis, herramienta de evaluaciones de riesgo de sesgo, obteniendo así las tablas de resúmenes estadísticos de los criterios presentados. De este modo, se delimitó los artículos aptos para ser parte del proceso de investigación de esta revisión sistemática, realizando el análisis que plantean las respuestas a nuestra pregunta de investigación y el objetivo principal, con el propósito de conocer las variables asociadas a materiales reciclados empleados en pavimentos y si esta tiene una eficiencia económica y ambiental, a través de la revisión por pares.

Métodos de síntesis

Para la recuperación de datos en cada artículo, se realizó RobVis para poder sesgar los resultados. Estos datos, a la vez, permitieron realizar las figuras bibliométricas para dar respuesta a los objetivos que se plantearon. Para una adecuada organización de los documentos encontrados, se utilizaron distintas herramientas que permitieron organizar, categorizar y analizar los datos bibliométricos y de contenido. De tal manera que, todos los artículos incluidos se almacenaron en una hoja Excel compartido de Google Drive donde se realizó el trabajo

colaborativo para el análisis de contenido de los documentos. Finalmente, para la presentación del mapa de distribución de los artículos realizados por país, se utilizó la gráfica de barras del excel, para el mayor índice a las palabras claves se utilizó el aplicativo VOSViewer nube de palabras y Robvis para el gráfico de evaluación de riesgo de sesgo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de los Estudios

En relación con la exploración y selección inicial de los estudios mediante las bases de datos de Scopus y Web of Science registrados acerca de las factores asociadas a la Eficiencia de materiales sostenibles para el mejoramiento de obras viales, se encontraron 167 artículos que cumplían con las características iniciales de búsqueda planteadas para la presente investigación; tanto la variable principal, contexto de investigación, idioma y otros aspectos detallados que se explican en las estrategias de búsqueda. De modo que, la Tabla 1 muestra los resultados de las frecuencias de los artículos científicos seleccionados situados en cada base de datos.

Tabla 1. Frecuencia de artículos científicos por cada base de datos consultada.

| Base de datos | Frecuencias | | |
|---------------|--------------|----------------|--------------|
| | absoluta (n) | relativa (n/N) | Porcentaje % |
| Scopus | 44 | 0.26 | 26% |
| Wos | 123 | 0.74 | 74% |
| Total | 167 | 1 | 100.00% |

Nota: Es posible que las cantidades totales mostradas contemplen artículos duplicados o incompletos. N=Número total de artículos, n=número total por cada base de datos

Para mostrar las diversas fases de exclusión e inclusión que se realizó en esta revisión sistemática, se utilizó el Diagrama de Flujo PRISMA (Page et al, 200). A

continuación, en la Figura 1, se muestra la interrelación entre los criterios de los artículos idóneos a esta investigación

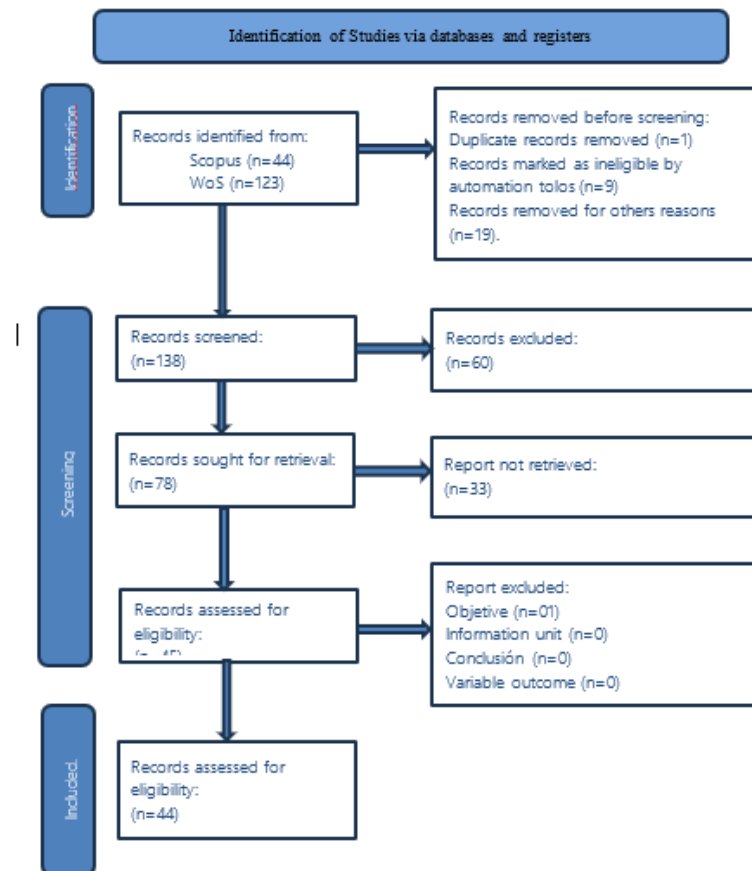


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA del proceso de exclusión e inclusión de artículos científicos.

Nota: el número total de estudios a analizar es la frecuencia total de los artículos incluidos(n=44).

El proceso inició con la fase de identificación de los estudios, en el cual se evaluó la calidad de los artículos de las dos bases de datos principales que se utilizaron en esta revisión con relación al objetivo de la investigación.

Características de los estudios

A continuación, en la Tabla 2 se muestran los 44 artículos que pasaron las fases de revisión PRISMA, expuestos por autor (es), título, revista, año, país y base de datos.

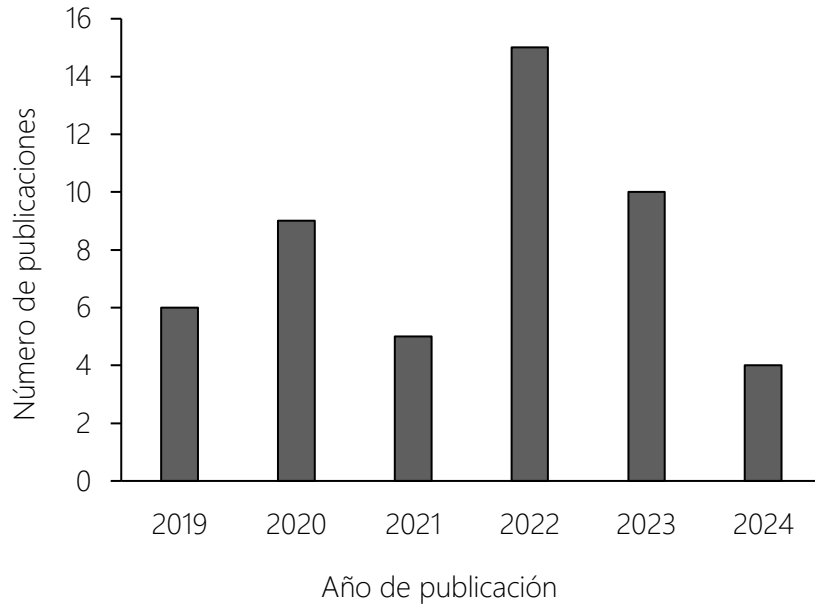
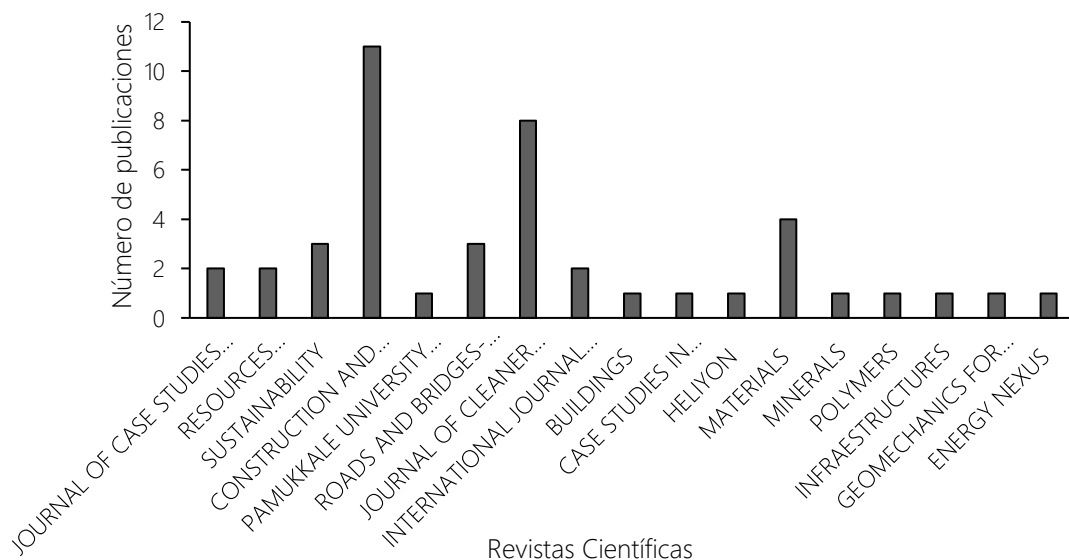


Figura 2. Tendencia de investigaciones realizadas del año 2019 - 2024

Nota: 15 artículos del año 2022 fueron los de mayor relevancia para el tema

En la Figura 2, se muestra la prioridad de los artículos publicados partiendo desde el año 2019 y culminando en el año 2024, por lo cual se observa que en el transcurso del año 2022 se ejecutaron más publicaciones con respecto al tema, contando con 15 artículos. Se puede suponer que son los artículos que más se acercan a lo

buscado con la eficiencia de materiales sostenibles para el mejoramiento de obras viales. Se puede añadir que a diferencia del año 2022 en el 2023 sólo se encontraron 10 artículos con relación a lo investigado, por lo que se hace significativo para la presente. En total fueron 44 artículos los más significativos.



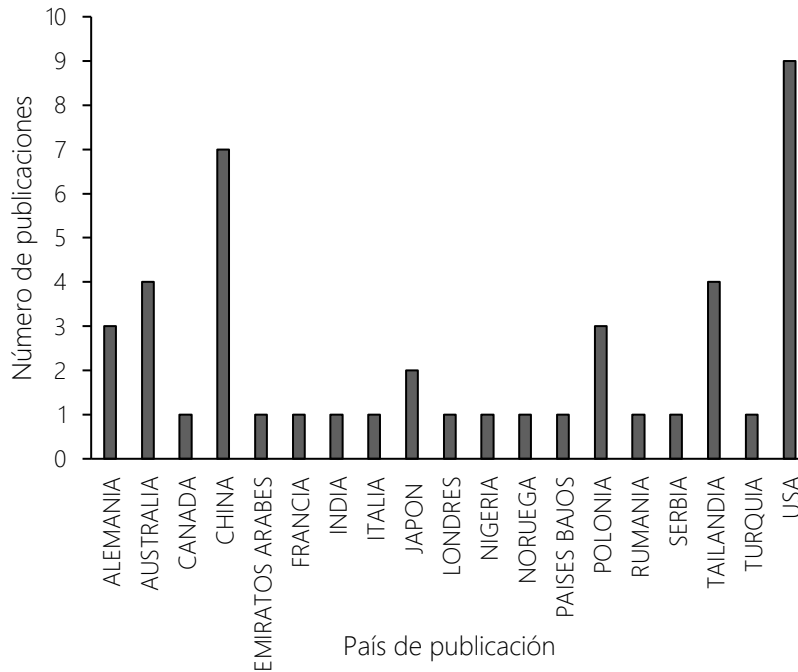


Figura 5. Tendencia de publicaciones por país desde el 2019 al 2024

Nota: Se considera el país donde se ha publicado la investigación, no así al país en donde se realizó el estudio.

La Figura 5, observa de manera gráfica la distribución correspondiente a las investigaciones por países donde se desarrollaron las investigaciones utilizadas para este estudio. Se hace saber que esta lista no corresponde a los países donde fueron publicados, sino en el lugar donde se recogieron los datos, encontrándose un total de 19 países, distribuidos de la siguiente

manera: USA cuenta con 9 investigaciones; China, 7 investigaciones; Australia y Tailandia, 4 investigaciones cada una; Alemania y Polonia, con 3 investigaciones cada una; Japón con 2 investigaciones y con 1 investigación, Canadá, Rumania, Turquía, Países Bajos, Noruega, India, Londres, Serbia, Emiratos Árabes y Nigeria.

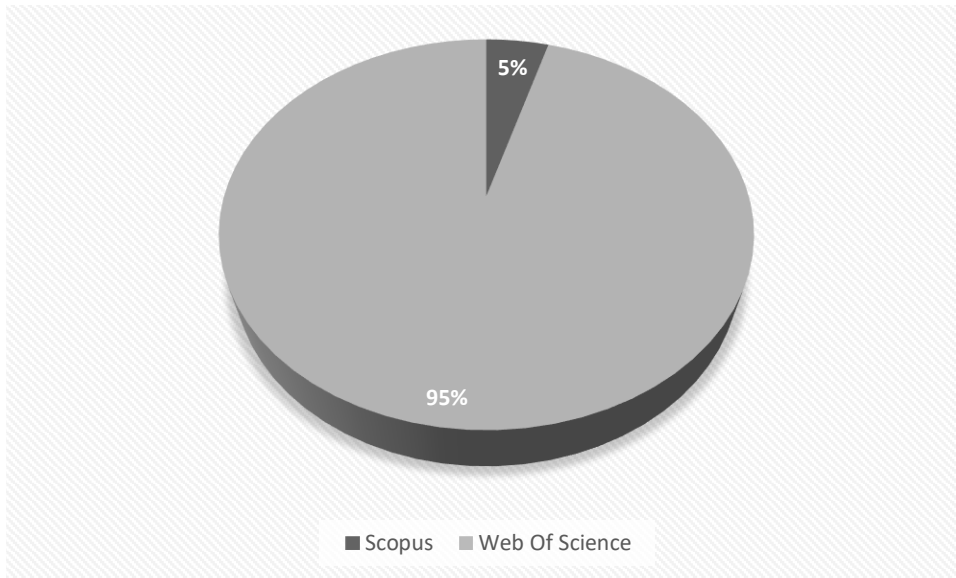


Figura 7. Incidencia de cantidad de artículos por base de datos consultada.

Nota: WoS es donde mayor cantidad de artículos se registraron.

En la Figura 6, se aprecia que las bases utilizadas son Scopus y Web of Science. En la cual un 5 % está registrada en la base de Scopus, siendo 2 artículos seleccionados para la redacción; por otro lado, tenemos un 95 % de

artículos de análisis científicos indexados a Web of Science, en la cual cuenta con el mayor número de artículos con 42 de ellos utilizados para la presente revisión sistemática. Dando un total de 44 artículos.

Resultados de la síntesis

Tabla 2. Materiales Sostenibles asociados al mejoramiento de obras viales.

| Categorías materiales | Efecto en la eficiencia del diseño de obras viales | Autores y año |
|-------------------------|--|--|
| Variables físicas | Pavimento reciclado | Mejora de las propiedades mecánicas, reemplazo del material de grava ordinario, mejora en la capacidad de carga, impacto significativo en las características de resistencia y desempeño de las mezclas. |
| | Hormigón Cementoso Enriquecido con Reciclados de Pavimentos de Frasado y Refino. | Yokohama, S; Sato, A; Al-Mosawe, H; Albayati, A; Wang, Y; Mashaan, NS; Clark, BR and Gallage, C; Chiranjeevi, K; Yatish, RG; Kumar, DH; Mulangi, RH; Shankar, AUR. |
| Ladrillo rojo reciclado | | |

A continuación, se muestran las definiciones más acertadas sobre los pavimentos

sostenibles, presentados en la tabla 3

Tabla 3. Categoría de las definiciones del pavimento reciclado o sostenible.

| Autor | Título | Principales definiciones |
|------------------------|--|---|
| Habib et al (2022) | Sustainable Pavement Construction: A Comprehensive Review and Assessment | Un pavimento sostenible es aquel que minimiza su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de materiales hasta su disposición final, al tiempo que cumple con los requisitos de rendimiento y funcionalidad durante su vida útil. |
| Manassero et al (2023) | Life Cycle Assessment of Sustainable Pavement Solutions for Urban Pavements | Los pavimentos sostenibles son aquellos que se diseñan, construyen y operan de manera que minimicen su impacto ambiental negativo y maximicen sus beneficios ambientales, sociales y económicos a lo largo de su ciclo de vida. |
| Correria et al (2022) | A Review on Sustainable Pavement Materials and Techniques: Towards a Sustainable Pavement System | Un pavimento sostenible es un sistema de pavimento que se diseña, construye y mantiene utilizando materiales y prácticas que minimizan su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida, al tiempo que cumplen con los requisitos de rendimiento y funcionalidad durante su vida útil. |

Se evidenció que, el uso de asfalto modificado con caucho reciclado (ACR) puede mejorar la durabilidad, la flexibilidad y la resistencia a la fisuración de los pavimentos de carreteras. Asimismo, El ACR puede reducir significativamente los costos de construcción y mantenimiento, ya que utiliza materiales reciclados y reduce la necesidad de materiales vírgenes (Li, H et al., 2020)

De igual manera, el uso de concreto reciclado en la construcción de carreteras reduce la emisión de gases de efecto invernadero, la extracción de recursos naturales y la generación de

desechos sólidos, lo que se traduce en un menor impacto ambiental en comparación con el concreto convencional. (Badr, N. M et al, 2021).

En la tabla 4, se observa las principales conclusiones de algunos artículos seleccionados en el idioma inglés, los cuales también forman parte de esta revisión sistemática, asimismo, guardan relación con las variables de materiales sostenibles para la construcción de carreteras.

Tabla 4. Conclusiones brindadas por artículos consultados

| Autor | Título | Principales conclusiones |
|----------------------------|---|---|
| Li, H., et al. (2020) | A review of sustainable pavement materials and technologies based on life-cycle assessment. | Los estudios demuestran que el uso de asfalto modificado con caucho reciclado (ACR) puede mejorar la durabilidad, la flexibilidad y la resistencia a la fisuración de los pavimentos de carreteras. |
| Badr, N. M., et al. (2021) | Environmental impact of recycled concrete in road construction. | El uso de concreto reciclado en la construcción de carreteras reduce la emisión de gases de efecto invernadero, la extracción de recursos naturales y la generación de desechos sólidos, lo que se traduce en un menor impacto ambiental en comparación con el concreto convencional. |
| Thomas, J. M et al. (2021) | Recycled rubber tire aggregate concrete pavements: A literature review. | Los pavimentos de hormigón de cemento con agregado de caucho reciclado ofrecen una serie de beneficios, incluyendo mayor durabilidad, menor ruido de rodadura y menor impacto ambiental. |

Después de aplicar el método PRISMA, se detalló que 44 artículos en total formaron parte de esta revisión sistemática, se puede agregar que los artículos son los que mayor aportan para profundizar en la conceptualización de la utilización de materiales reciclados para el mejoramiento de pavimentos. De igual manera se logra observar en los 44 artículos que contemplan conclusiones que son esenciales para el desarrollo de la variable de la influencia de materiales sostenibles para el mejoramiento de obras viales. Por consiguiente, se puede constatar que los artículos científicos tienen una mayor prevalencia entre los años 2019 y 2024, en el cual se evidenció su máximo interés en el

tema con mayor cantidad de publicaciones con respecto al tema el año 2024 con 4 artículos publicados, de esta manera, Estados Unidos y China son los países que más estudios y publicaciones ha llevado a cabo. Luego de la recolección de datos, realizado por el método PRISMA y sus análisis respectivos, se encontró que existen diferentes tipos de materiales reciclados que pueden ser beneficiosos como el polietileno, caucho, desmonte, ladrillos y hormigón. Esto significa que primero esto es aporte directo al tema y segundo, que los materiales tienen aportes tanto económicos como medioambientales, ya que al realizar obras civiles siempre se generan desperdicios generando

problemas medioambientales. Por otro lado, estos materiales reciclados benefician al medio ambiente, si bien su uso no es totalmente óptimo para todos los casos, igual tienen un aporte positivo en las circunstancias que se menciona en las conclusiones de los artículos aplicados.

Al respecto, el estudio realizado en China por Chaojie Ru, Guoxin Li, Fanxing Guo, Xuedi Sun, Deliang Yu, and Zheng Chen (2022) abordan el tema "Experimental Evaluation of the Properties of Recycled Aggregate Pavement Brick with a Composite Shaped Phase Change Material" Se hace mención de que al hacer uso de los residuos de ladrillos aparte de ser beneficioso como componente para elaboración de ladrillos de pavimento también reduce la contaminación ambiental y el desperdicio de recursos que las obras generan. Con respecto a la elaboración de los ladrillos de pavimentación se estudiaron dos tipos de PCM compuestos siendo PEG-400/SiO₂ y Tet/SiO₂. De los cuales sus rangos de temperaturas de la prueba TGA fueron estables, a su vez se les hizo pruebas a la compresión y la resistencia a la flexión dando que el ladrillo de pavimento de agregado reciclado Tet/SiO₂ PCM son significativamente mayores que el ladrillo de pavimento de agregado reciclado PEG-400/SiO₂ PCM. De este estudio se resalta que genera una optimización y mejora del rendimiento del almacenamiento térmico de PCM de forma compuesta en aplicaciones prácticas, y es importante para promover el almacenamiento de energía térmica y ampliar su rango de aplicaciones. De la misma manera, otro estudio realizado por Kondeti Chiranjeevi, Yatish R G, Doma

Hemanth Kumar, Raviraj H. Mulangi, A.U. Ravi Shankar (2023) en la India sobre "Utilization of recycled concrete aggregates for pavement base courses – A detailed laboratory study", mencionan que la construcción de pavimentos requiere enormes cantidades de agregados gruesos naturales obteniendo que, entre el 70% y el 80% del volumen del pavimento está ocupado por agregados y la extracción continua de agregados mediante operaciones de cantera ocasionando esto un gran desgaste de recursos naturales. Por el contrario, en la India se generan anualmente aproximadamente 23 millones de toneladas de residuos de demolición, y sólo el 1% se somete a procesos de reciclaje; por ello, se sometió las mezclas de agregado de concreto reciclado estabilizado con cemento (CSRCA) se prepararon variando el porcentaje de agregado grueso natural (NCA) y agregado de concreto reciclado (RCA), realizando pruebas de resistencia incluida la resistencia a la compresión libre, la resistencia a la flexión, el módulo elástico, la resistencia a la tracción indirecta y los aspectos de rendimiento de durabilidad, contracción y fatiga. Dado que, las mezclas CSRCA con 50% de RCA en reemplazo de NCA pueden usarse para la aplicación en la capa base para pavimentos flexibles en lugar de un cemento convencional. Por otra parte, en el estudio realizado por "Laboratory performance evaluation of porous asphalt mixture containing recycled concrete aggregate and fly ash". (2024) menciona que el uso del hormigón como material de construcción es el que más producción de residuos genera siendo esta más del 50%

en el mundo. Este estudio realizó experimentos de laboratorio para evaluar el desempeño de mezclas asfálticas porosas (PAM) que contienen agregado de concreto reciclado (RCA) realizándose las siguientes pruebas: permeabilidad y contenido de espacios vacíos, estabilidad y flujo Marshall, resistencia a la tracción indirecta, susceptibilidad a la humedad, pérdida por abrasión de Cantabro, macrotextura y coeficiente de absorción acústica, dando como resultado que se recomienda el uso del 30% de RCA en PAM para la capa de fricción de un pavimento de carretera o la superficie porosa de un pavimento poroso. Por último, en los estudios restantes el aporte que han dado fueron tanto grandes como pequeños y se mencionan los resultados brindados para esta investigación empezando con el estudio realizado por Sabzoi Nizamuddin, Muhammad Jamal, Rebecca Gravina, Filippo Giustozzi (2020) en Australia sobre "Recycled plastic as bitumen modifier: The role of recycled linear low-density polyethylene in the modification of physical, chemical and rheological properties of bitumen", donde mencionan que la integración de diversos polímeros en el betún es útil para reducir la susceptibilidad térmica, por ello este estudio evalúa el uso de un plástico blando muy común y ampliamente disponible, el polietileno lineal reciclado de baja densidad (R-LLDPE), para la modificación del betún; el cual se puso a prueba en comparación con el betún base donde se observó que debido a la adición de altas concentraciones de R-LLDPE la viscosidad y el punto de reblandecimiento aumentaron desde 0,62 Pa s y 44,1 grados

C hasta 5,75 Pa s y 122,3 grados C, respectivamente, mientras que el valor de penetración disminuyó de 59,3 a 14,3. También el análisis termogravimétrico muestra que el betún modificado tuvo menor evaporación y mayor estabilidad térmica que el betún base. Con base en los hallazgos generales de este estudio, se puede afirmar que el R-LLDPE, si se dosifica correctamente y se obtiene de fuentes homogéneas, puede mejorar el rendimiento general del betún sin inconvenientes significativos. En particular, un 3 % de R-LLDPE se considera una modificación adecuada para la mayoría de las condiciones ambientales, mientras que un 6 % de R-LLDPE solo es ideal para climas tropicales. Por lo mencionado no se recomiendan dosis altas; en el estudio realizado por Loureiro (2022) en Portugal sobre "Steel Slag and Recycled Concrete Aggregates: Replacing Quarries to Supply Sustainable Materials for the Asphalt Paving Industry" se demostró que es posible utilizar agregados de escoria de acero y agregados de concreto reciclado de CDW para sustituir cantidades significativas de recursos naturales utilizados para producir mezclas asfálticas. En la literatura se observaron diferentes tasas de incorporación de SSA, con valores entre 20% y 100%, sin comprometer el desempeño de las mezclas asfálticas. Sin embargo, varios autores han señalado que los mejores resultados se obtienen al sustituir hasta el 75% de los áridos naturales por SSA. Por lo tanto, estos subproductos pueden usarse ampliamente para reemplazar las canteras en el suministro de agregados alternativos y sostenibles para la industria de

pavimentación asfáltica. En el estudio realizado por Mivehchi, M. (2022) sobre "Systematic evaluation of effects of recycled materials and mix design parameters on the rutting and cracking performance of asphalt mixes" indica que El mayor uso de materiales reciclados, como el pavimento asfáltico reciclado (RAP) y las tejas asfálticas recicladas (RAS), complica aún más el desempeño de las mezclas asfálticas, por lo cual se realizó una prueba de surcos y grietas de los diseños de mezclas asfálticas de cuarenta contratistas y se presentaron los parámetros de diseños más efectivos en el desempeño de mezclas asfálticas. En el estudio realizado por Mantalovas, K (Mantalovas, Konstantinos) [1] ; Di Mino, G (Di Mino, Gaetano) [1] (2019) sobre "The Sustainability of Reclaimed Asphalt as a Resource for Road Pavement Management through a Circular Economic Model" que indica el producto final es lineal por dos razones principales: la muy baja tasa de producción de materia prima reciclada y los límites permitidos significativamente bajos para incorporar RA en las mezclas que componen las diferentes capas de pavimento. De los resultados del cálculo, la capa que exhibe los mayores niveles de circularidad es la capa base, lo que genera controversia, ya que solo el 21% de la producción total de HWMA se destina a su utilización en capas base. Sin embargo, el porcentaje de incorporación de AR en la capa base es significativamente mayor en comparación con el nivel correspondiente en las capas superiores, generalmente restringido al 10-30% en Italia, y la masa total de las mezclas necesarias para la construcción de las capas base es

significativamente aumentado. En el siguiente estudio de Liu, YT et al, (2022) sobre "Recycling phosphogypsum in subbase of pavement: Treatment, testing, and application" tiene como objetivo reciclar el fosfoyeso (PG) como material de subbase del pavimento donde se descubrió que la incorporación del PG calcinado (CPG) puede ayudar a formar una estructura de gel para estabilizar el PG; donde se observó que la proporción de mezcla óptima del PG estabilizado con cal con CPG en masa se determina como PG: CPG: cal = 89: 9: 2. Además, en comparación con el PG estabilizado con los materiales aglutinantes inorgánicos tradicionales, el PG estabilizado con cal con CPG tiene mayor resistencia a la compresión libre (UCS) y mejor resistencia al daño por agua y al daño por fatiga causado por la variación del contenido de agua. Se observó experimentalmente que los núcleos de campo extraídos de la subbase de PG estabilizada con cal CPG pavimentada tenían una UCS de 7 días de hasta 3,69 MPa. Estos hallazgos identifican la viabilidad de utilizar el PG para la construcción de subbases de pavimento. En el estudio realizado por Al Moman, A et al, (2023) sobre "Feasibility assessment of self-deicing concrete pavements with recycled CFRP reinforcement: Environmental and mechanical performance" menciona que se produjeron mezclas de ECC con 1,5 % Vol, 3 % Vol, 5 % Vol y 7 % Vol de rCFRP hechas mediante cambio de tamaño mecánico sin pirólisis para eliminar la resina. En términos de resistencia a la flexión, el 5%Vol rCFRP-ECC exhibió un notable aumento del 19% en comparación con el control después de

28 días, atribuido a la contribución del rCFRP a la absorción de energía de fractura, que también aumentó la capacidad de carga posterior al pico del ECC. especímenes, pudiéndose concluir que, desde el punto de vista del consumo de energía, sustituir completamente las operaciones tradicionales de mantenimiento invernal por ECC no es una práctica energéticamente eficiente. En el estudio realizado por Al-Ali, EA (Al-Ali, Esraa A.) [1] ; Eid, WK (Eid, Waleed K.) [2] (2023) sobre "Effect of using recycled aggregates as road subbase materials: A case study from Kuwait City" se han utilizado dos tipos diferentes de áridos reciclados; a saber, agregados de hormigón reciclado (RCA) y pavimento asfáltico recuperado (RAP). Los valores de CBR empapado de la mezcla de control y la mezcla RCA fueron iguales a 73% y 80%, respectivamente, y satisfacen la especificación MPW (2012). Mientras que el valor de CBR empapado de la mezcla RAP fue igual al 29% y no cumplía con el límite de CBR de MPW para la subbase de la carretera (mínimo 30%) El rendimiento de la mezcla RAP se mejoró siguiendo dos escenarios diferentes. En el primer escenario, la cantidad de agregados de RAP se redujo mezclando RAP con agregados frescos. En el segundo escenario, se añadió cemento a la mezcla de RAP en dos dosis, 2% y 4%. Ambos escenarios dieron valores de CBR que cumplen con el requisito de MPW. Se concluyó que el RCA se puede utilizar como material de subbase, mientras que los agregados RAP se pueden utilizar como material de subbase cuando se mezclan con agregados frescos o

agregando cemento como modificador.

Limitaciones

La primera limitación se dio cuando se consultaron las bases de datos de Scopus y Web of Science en los idiomas siendo que solo se encontraron en inglés, español y unos cuantos, en alemán, lo cual reduce en proporción la búsqueda de artículos sobre el problema, dado que en otras bases de datos y en otros idiomas se pueden encontrar más información requerida. Otra limitación sería que se descartaron investigaciones por el filtro del encabezado DOI, artículos duplicados y tipo de documento, seguidamente se excluyeron archivos que no compartían el objetivo del estudio. Por último, se identificó artículos con costo adicional, por tanto, se perdieron documentos científicos que podrían haber aportado de forma significativa a la investigación.

Implicancias y estudios futuros

En relación con las implicancias del estudio, los resultados obtenidos sugieren que los profesionales que estén relacionados con el rubro de obras civiles debido a que los artículos recopilados podrían ser beneficiosos o bien para el uso o bien para la experimentación, a su vez también informar sobre los aportes que generan los materiales reciclados investigados. Además, como se mencionó la realización de esta revisión sistemática brindará ventajas como la recopilación de datos y fuentes de información para futuras investigaciones en el tema abordado, como también, ayudar a los profesionales a sus futuras donde podrían hallar vacíos y así poder tener sostenibilidad en ello y mejorar el conocimiento sobre nuevos materiales a

usar en las obras civiles.

CONCLUSIONES

Existen materiales que pueden ser reciclados y utilizados en obras viales con enfoque medioambiental y soporte económico para la población.

Las investigaciones demuestran que los materiales sostenibles pueden ofrecer un rendimiento y una durabilidad comparables a los materiales tradicionales.

Financiamiento

El presente trabajo no contó con financiamiento de ninguna entidad pública o privada, ha sido elaborado con el aporte de los autores.

Conflicto de intereses

Se indica que No existe ningún tipo de interés con los contenidos del artículo científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Al, A., Butt, A. y Nassiri, S. (2023). Feasibility assessment of self-deicing concrete pavements with recycled CFRP reinforcement: Environmental and mechanical performance. *Resources, Conservation & Recycling*, 188, 107213.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107213>

Asad, E., Qing, L. y Mohammed, A.; Mohammad, A. y Ahmed; E. (2024) "Laboratory performance evaluation of porous asphalt mixture containing recycled concrete aggregate and fly ash"

<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02849>

Chaojie, R., Guoxin; L., Fanxin, G., Xuedi, S.;

Deliang, y and Zheng Chen (2022) "Experimental Evaluation of the Properties of Recycled Aggregate Pavement Brick with a Composite Shaped Phase Change Material"
<https://doi.org/10.3390/ma15165565>

Guerra, R. y Guerra, C. E. (2020). Design of a permeable rigid pavement as an urban sustainable drainage system. *Fides et Ratio - Magazine of Cultural and Scientific Diffusion of the La Salle University in Bolivia*, 20(20), 121-140. Retrieved on November 20, 2024,
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2020000200008&lng=es&tlng=es.

Graczyk, M. y Beblacz, D. (2023). Roller-compacted concrete with the use of recycled aggregate for local road pavement execution
<https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3154>. *Roads and Bridges-Drogi i Mosty*.
<https://doi.org/10.7409/rabdim.023.025>

Safoura, S., Mehrdad, A., Jayantha, K. y Guppy, R. (2021). Sustainable Pavement Construction: A Comprehensive Review and Assessment. *Journal of Cleaner Production*, 542, 123031.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621021545>

Kondeti, C., Yatish, G., Doma, K., Raviraj, M. y Ravi, S. (2023) "Utilization of recycled concrete aggregates for pavement base courses – A detailed

- laboratory study” }
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134122>
- Mendoza, J. y Vanga, M. G. (2020). Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador. *Revista San Gregorio*, (43), 197-209.
<https://doi.org/10.36097/rsan.v1i43.1116>
- Lei, B., Yang, W., Guo, Y., Wang, X., Xiong, Q., Wang, K., y Li, W. (2024). Interfacial adhesion between recycled aggregate and asphalt mastic filled with recycled concrete powder. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e02721.
[10.1016/j.cscm.2023.e02721](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02721).
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02721>
- Hoyos, L., AL-Puicon, I. y Al-Sócrates, M. (2022). Use of granulated rubber in asphalt mixtures: A literary review
https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-37052021000100011
- Ochante, R., Riveros, M. y Mamani, N. Sustainable practices and environmental awareness: Strategies for environmental conservation. *Koinonia [Internet]*. 2023 Aug [cited 2024 Nov 20]; 8(Suppl 1): 287-305.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2542-30882023000300287&lng=es. Epub 05-Jun-2024.
<https://doi.org/10.35381/r.k.v8i1.2791>
- Rispoli, O. y Ajibade, O. (2024). Comparative life cycle assessment of a novel sustainable road pavement system adopting recycled plastic from PET bottles and carbonated aggregate. *Heliyon*,
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24354>
- Alonso, R., Cano, J., Quispe, R. y Santa Cruz, K. S. (2024). SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ITS IMPLICATION IN THE PERUVIAN AMAZON. A SYSTEMATIC REVIEW. *Virtual Classroom*, 5(12), e298. Epub July 19, 2024.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.11301897>
- Sabzoi, N., Muhammad, J., Gravina, R. y Giustozzi, F. (2020) “Recycled plastic as bitumen modifier: The role of recycled linear low-density polyethylene in the modification of physical, chemical and rheological properties of bitumen”.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121988>
- Ungureanu, D., Taranu, N., Hoha, D.; Zghibarcea, S.; Isopescu, D.; Boboc, V.; Oprisan, G.; Scutaru, M.; Boboc, A. y Hudisteanu, I. (2020). Accelerated testing of a recycled road structure made with reclaimed asphalt pavement material. *Construction and Building Materials*, 251,
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120658>
- Zhang, X., Chen, H. H. (2022) “I The classification and reutilisation of recycled asphalt pavement binder: Norwegian case” study
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01491>
- Bobadilla, J., Tigre, J., Tesen, F. y Muñoz, S.

- P. (2022). Use of polymers in asphalt: a review. *Technical Gazette*, 23(1), 94-109. Epub July 28, 2022. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.7>
- Llano, D. y Ríos, R. "Evaluation of technologies for the stabilization of road soils using accelerated weathering. A strategy for analyzing impacts on biodiversity", *Tecnológicas*, vol. 23, no. 49, pp. 185-199, 2020. <https://doi.org/10.22430/22565337.1624>
- Segura, L.; Sigüenza, R.; Solar, M. y Zamora, J. E. (2022). Effect of using recycled glass in concrete design. *University and Society Magazine*, 14(1), 179-192. Epub February 10, 2022. Retrieved on November 20, 2024, from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000100179&lng=es&tlng=es.
- Hernández, M.; Jiménez, S. y Sánchez, J. I. (2021). Alternative materials as an opportunity to reduce environmental impacts in the construction sector. *Technology in March Magazine*, 34(2), 3-10. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i2.4831>
- Patzlaff, J.; Stumpf, M. y Parisi, A. (2014). Evaluation of the sustainability of construction in micro or small construction companies: Case study in southern Brazil. *Journal of Construction Engineering*, 29(2), 151-158. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732014000200002>
- Jimenez, A. (2021). Analysis of the mechanical performance of an asphalt mixture modified with bamboo fiber. *Road Infrastructure*, 23(42), 44-52. <https://dx.doi.org/10.15517/iv.v23i42.44839>
- Peralta, F. (2020). Sustentabilidad y transporte desde un enfoque de jerarquización para la ciudad de Mexicali, Baja California. *Estudios demográficos y urbanos*, 35(1), 215-242. Epub 23 de abril de 2020. <https://doi.org/10.24201/edu.v35i1.1920>

Contribución de autoría

1. Lilian Rocío Villanueva Bazán Valdivia: Concepción y elaboración del manuscrito.
2. Martha Gladys Huamán Tanta: Análisis de datos.

Recibido: 20-11-2024 Aceptado: 21-12-2024 Publicado: 31-12-2024