

Identificación de eco-materiales implementados como materiales de uso común en Ingeniería Civil

Identification of eco-materials implemented as commonly used materials in civil engineering

Yurley Viviana Salamanca Martínez^{1*}

Resumen

Los ecosistemas naturales se han visto gravemente afectados a causa de factores antrópicos, siendo el sector de la construcción uno de los causantes de este deterioro debido a su estrecha relación con el medio ambiente. El desarrollo de esta revisión de literatura tuvo como objetivo identificar los materiales eco-sostenibles más relevantes en el ámbito de la construcción y que han permitido generar una nueva visión en dicho sector para la fabricación o rediseño de los ya existentes. Se pudo establecer que elementos orgánicos, elementos renovables y/o reutilizables como el vidrio, el caucho, el plástico e incluso los elementos de residuos de construcción y demolición (RCD) han sido los de mayor estudio hasta el momento.

Palabras Claves: Desarrollo sostenible — Materiales — Sector constructivo — Infraestructura

Abstract

Natural ecosystems have been severely affected by anthropic factors, with the construction sector being one of the causes of this deterioration due to its close relationship with the environment. The development of this literature review aimed to identify the most relevant eco-sustainable materials in the field of construction that have allowed to generate a new vision in this sector for the manufacture or redesign of existing ones. It could be established that organic, renewable, and/or reusable elements such as glass, rubber, plastic, and even building and demolition waste (RCD) elements have been the most studied so far.

Keywords: Sustainable development — Materials — Construction sector — Infrastructure

¹ *Fundación Universitaria del Trópico Americano Unitropico - Programa Ingeniería Civil. Yopal, Colombia.*

* **Autor para correspondencia:** vivissalamanca@hotmail.com

Introducción

El número de obras de construcción, remodelación y demolición en las ciudades aumenta de manera constante como consecuencia del crecimiento y desarrollo socioeconómico de la población; sin embargo, aquello ha generado una serie de afectaciones e impactos ambientales que con el paso del tiempo se han visto mayormente reflejadas (Robayo et al., 2015). Por ello es de vital importancia implementar alternativas de solución enfocadas en el desarrollo sostenible, el cual ha venido tomando impulso en el proceso de innovación y evolución desde finales del siglo anterior. Pero, ¿qué es el desarrollo sostenible? Desarrollo se denomina al proceso de satisfacción de las necesidades y el término sostenible indica que aquella satisfacción de las necesidades se genera colocando en primer lugar el bienestar del medio ambiente, sin provocar alteración alguna al medio natural como lo indica el Protocolo de Kyoto, 1997. Con esto se busca alcanzar homogeneidad y coherencia entre el crecimiento económico de la

población, los recursos naturales y la sociedad; evitando poner en riesgo la biodiversidad y la calidad de vida de la humanidad, tanto en el presente como en el futuro (Inarquía, 2019). Por ello mismo, el desarrollo sostenible se ha convertido en uno de los principales retos del siglo XXI, presentándose, como una solución a los problemas antrópicos, que han afectado significativamente al medio ambiente (Eguzki, 2011).

El sector de la construcción mantiene una relación muy estrecha con el medio ambiente, puesto que presenta una doble vertiente: Por una parte, la relación es positiva, ya que la industria de la construcción crea edificaciones e infraestructuras que bien contribuyen a mejorar el desarrollo social y económico de los países o bien proporcionan los medios físicos para mejorar o proteger el medio ambiente. Por otra parte, la relación es negativa puesto que supone un importante consumo de recursos, muchos de los cuales son no renovables, generando una gran cantidad de residuos, que son una fuente de contaminación del aire, el agua y la tierra, causando afectaciones, no sólo a los ecosistemas, sino

también generando patologías en los seres humanos (Cabezas, 2009; Piñeiro y García, 2009). Es así que, en búsqueda de disminuir los impactos negativos, se han desarrollado investigaciones que proponen nuevas alternativas de desarrollo sostenible en el ámbito constructivo, estas comprenden desde la planificación de las estructuras, el desarrollo de materiales ecológicos, hasta la finalización del ciclo de vida del mismo (Pertuz et al., 2020; Mnasri et al., 2017; Bressi et al., 2018). También se ha determinado que, al finalizar la vida útil de ciertos materiales implementados en infraestructuras, se puede aportar a la evolución del desarrollo sostenible mediante el aprovechamiento con métodos como el reúso (volver a utilizar algo, bien con la función que desempeñaba anteriormente o con otros fines), el reciclaje (someter a un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar) y la re-fabricación. Por lo anterior, el objetivo de esta revisión de literatura fue identificar los principales materiales eco-sostenibles implementados en el sector constructivo.

1. Metodología

La presente revisión de literatura se realizó con base en artículos científicos publicados en revistas presentes en las bases de datos Publindex y Scimago, delimitando la temática a la identificación de materiales eco-sostenibles aplicados en el sector constructivo y desarrollo sostenible. La búsqueda y análisis de la información estuvo conformada por cuatro secciones (Fig. 1)

1. Definición del objetivo de la revisión
2. Realización de la búsqueda bibliográfica: Identificación y recolección de los artículos referentes a la temática. La búsqueda de literatura se basó en la revisión de artículos publicados en revistas indexadas en su mayoría nivel de clasificación nacional A y B según Publindex, e internacional de Q1 de acuerdo con Scimago; de igual manera se estableció un periodo de publicación correspondiente a los años 2012-2020.
3. Organización de la información: Los artículos fueron organizados en tres grandes grupos de acuerdo con el enfoque de las investigaciones: i) impactos medioambientales causados por el sector constructivo, ii) pre-diseño y diseño de materiales de construcción con elementos orgánicos, renovables y/o reutilizables y iii) fin de vida útil de estructuras. Posteriormente se realizó la lectura crítica y el análisis de la información a través de organización, identificando variables, metodología, resultados, aspectos relevantes, entre otros.
4. Redacción del artículo de revisión de literatura.

2. Impactos medioambientales causados por el sector constructivo

La industria de la construcción ha comprendido el impacto positivo que puede causar en el mejoramiento del comportamiento medioambiental, ha venido desarrollando conocimiento sobre

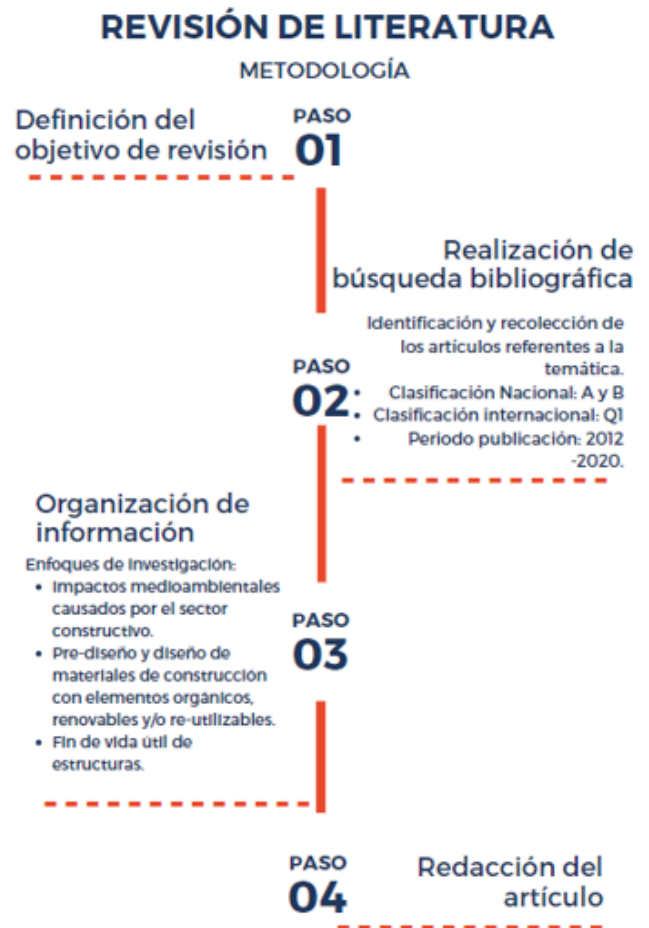


Figura 1. Etapas de la metodología implementada para el artículo de revisión de literatura

nuevas tecnologías, componentes y materiales, que generan progreso económico y ambiental. Además, el desarrollo sostenible genera una mayor evolución para estar cerca del cumplimiento de los retos de desarrollo de infraestructuras, desarrollo económico sustentable, entre otros, establecidos en la ODS (Landeta et al., 2016; Vargas et al., 2008; Alvarez, 2016; Moyano y Rivera, 2016).

Los impactos medioambientales generados por el sector constructivo, a pesar de ser mayormente significativos en la fase de uso y mantenimiento de la infraestructura, también se presentan en las otras fases del proceso. Es por esto debido a conseguir un adecuado proceso de planeación, puesto que allí se condicionan todos los impactos que se van a producir en las siguientes fases del proceso constructivo (Piñeiro y García, 2009). Se han establecido diferentes alternativas que permiten la mitigación de dichos impactos, un ejemplo son los Sistemas de Gestión Ambiental y la utilización de nuevos materiales de construcción amigables con el medio ambiente. A través de ellos se busca fomentar una economía ecológica en el sector de la construcción, enfocándose en procesos de manufactura ya sea de materiales elaborados o mediante la implementación de elementos renovables y/o reutilizables, teniendo en cuenta que el desarrollo de materiales de construcción sostenibles es esencial para cumplir con los requisi-

tos mundiales de la economía verde y sostenible (Shanmugavel et al., 2020).

3. Pre-diseño y diseño de materiales de construcción con elementos orgánicos, renovables y/o reutilizables

El proceso de producción de materiales ecológicos en el sector de la construcción últimamente ha tomado gran importancia, estableciendo varias alternativas entre las cuales destacan la implementación de caucho, vidrio y elementos orgánicos (Tabla 1). Entre las alternativas de manufactura que incluyen elementos orgánicos, se han desarrollado materiales tanto aglomerantes como aglomerados que pueden ser empleados en obras estructurales, para el diseño y elaboración de concreto, por ejemplo; el concreto elaborado a base de cáscara de coco con fibras de plástico reciclado, el cual fue utilizado como reemplazo parcial del cemento; este material además de ser amigable con el medio ambiente, presenta parámetros de elasticidad y resistencia aptas para ser implementado como concreto estructural debido a las características que poseen las fibras de polipropileno presentes en él (Prakash et al., 2020). Otra alternativa sostenible es el concreto con extracto de cactus, el cual presenta una mejora en la fase de fraguado puesto que evita el secado rápido y por tanto se reducen significativamente las grietas de contracción lo que permite extender la durabilidad del concreto (Shanmugavel et al., 2020).

Se identificaron también innovaciones en la elaboración de materiales tipo mortero, en este aspecto se reporta la adición de cascarrilla de arroz; el material obtenido se caracterizó porque a pesar de no ser apto para utilizar como elemento estructural por poseer baja densidad y alta porosidad (baja resistencia mecánica), se pudo establecer como material acelerante de fraguado (Payá.J. et al., 2012). De igual manera, se ha propuesto el diseño de un mortero de alta resistencia debido a la adición de micro-sílice extraída de cenizas de cáscara de arroz (EMS) en porcentajes de 5%, 10% y 15%; como resultado este material presentó una mejora en la densidad (Khan et al., 2020). Entre otros materiales eco-prometedores, se han identificado diversas fibras vegetales, entre las cuales se encuentran fibras de cáñamo, fibras de madera, guata de celulosa, paneles de textiles reciclados y virutas de paneles de madera, los cuales pueden ser implementados en materiales constructivos (Mnasri et al., 2017). Entre las alternativas, también se han elaborado espumas de geo-polímero reutilizando los desechos sólidos resultantes del tratamiento de agua potable (PTAP), este geo-polímero presentó parámetros adecuados, entre los cuales resaltan los valores de resistencia mecánica y densidad (Ji et al., 2020).

Ahora, teniendo en cuenta que anualmente se producen aproximadamente 17 millones de toneladas de llantas y que entre el 65%-70% de sus componentes corresponde a caucho o sus derivados, se puede establecer que actualmente nos encontramos con una gran problemática, puesto que estos residuos y desechos traen efectos nocivos tanto en la salud humana como en el medio ambiente, debido a que la mala disposición genera contaminación

del suelo, agua y aire (Peláez et al., 2017). Por lo anterior, se han realizado grandes avances al desarrollar materiales sostenibles a base de caucho reciclado; es el caso de la implementación de áridos de desechos de caucho, generando mortero de goma el cual mejora sus propiedades y abre posibilidades para el desarrollo y la aplicación de este material (Moreno et al., 2020). En este sentido, el hormigón ligero a base de caucho y arcilla compactados es un buen ejemplo, este material presentó alta fluidez y cohesión, baja densidad y resistencia mecánica; sin embargo, al no lograr el cumplimiento de todos los parámetros requeridos en el sector de la construcción, se debe analizar las cantidades de caucho para adicionar (Angelin et al., 2020). Otro aporte al desarrollo sostenible es la elaboración de asfaltos con caucho reciclado desmenuzado, en el cual se pudieron observar parámetros aptos para ser implementado comercialmente, destacando entre estos la deformación (Bressi et al., 2018).

Además, la reutilización de residuos de caucho puede derivar en nuevas líneas de negocio para las empresas o incluso en nuevos emprendimientos, por los beneficios que éste tiene: economía, mayor resistencia, liviandad, ductilidad, y genera mayor empleo. Se puede proponer un uso más allá de morteros, concreto y asfalto, también puede ser utilizado como componente de materiales para pisos de áreas recreativas y deportivas, aisladores sísmicos y aisladores acústicos (Peláez et al., 2017).

Desde otro punto de vista, siendo los residuos plásticos otro desafío ambiental, éstos se han implementado en la fabricación de materiales de construcción. En este caso, la elaboración de concreto con este material permite sustituir los agregados tanto gruesos como finos, produciendo un concreto que cumple propiedades mecánicas y de aislamiento acústico (Moreno et al., 2020). Otro claro ejemplo que aparte de eficiente es bastante satisfactorio, es el desarrollo de viviendas eco-sostenibles para sectores vulnerables, en donde se implementan sistemas eco-eficientes (panel fotovoltaico, y colector solar) para suplir demandas energéticas eléctrica y térmica respectivamente (Salazar et al., 2014). En su sistema estructural, los muros y columnas fueron realizados con desechos de bolsas y botellas plásticas recicladas. Como resultado de los estudios de laboratorio se concluyó que posee características óptimas para uso residencial, con propiedades importantes de aislamiento térmico y acústico así como resistencia climática y relativa (Salazar et al., 2014).

En este mismo sentido, el vidrio también se ha utilizado en la fabricación de concreto y se ha establecido que de acuerdo con el tamaño de sus partículas y al porcentaje dosificación, puede mejorar la permeabilidad y la resistencia a la congelación y descongelación de este material (Park et al., 2020). Otro material para construcción que se ha desarrollado con adición de vidrio es el ladrillo; el cual está catalogado como una alternativa innovadora puesto que cumple con los parámetros de capacidad de deformación y mejora su resistencia (Bustos et al., 2019). Es importante resaltar que, en busca de la construcción sostenible, se ha establecido que los materiales reciclados se utilizan cada vez más en aplicaciones de obras viales, especialmente como materiales base; la adición de vidrio no modifica el comportamiento mecánico de los materiales viales a los cuales se les ha

Tabla 1. Pre-diseño y diseño de materiales de construcción con materiales orgánicos, renovables y/o reutilizables.

Material implementado	Referencia
Mortero	
Mortero con cascara de arroz	Payá.J. et al., 2012; Khan et al., 2020
Mortero con fibras de vidrio	Bustos et al., 2019
Mortero con lecho de tierra	Duriez et al., 2020
Mortero con caucho reciclado	Moreno et al., 2020
Hormigón o concreto	
Concreto con cascara de coco	Prakash et al., 2020
Concreto con residuos de vidrio	Guo et al., 2020
Hormigón con caucho	Angelin et al., 2020
Concreto con extracto de cactus	Shanmugavel et al., 2020
Hormigón con residuos plásticos	Belmokaddem et al., 2020
Mampostería (ladrillos y bloques)	
Ladrillos con aceite de palma	Shakir et al., 2020
Infraestructura vial	
Pavimento con vidrio reciclado	Mohsenian et al., 2018
Asfalto con caucho desmenuzado	Bressi et al., 2018
Espumas de geopolímero (mejorar suelo) de residuos de PTAP	Ji et al., 2020
Asfalto con fibra de vidrio	Park et al., 2020

adicionado (Mohsenian et al., 2018)

4. Fin de vida útil de estructuras (demolición, reuso, reciclaje, refabricación)

El proceso constructivo de una estructura está definido por las fases de planificación, ejecución, operación, mantenimiento y la finalización de vida útil, siendo, la fase de utilización y mantenimiento, donde se producen los mayores impactos ambientales, sin desconocer, los producidos durante la fase de finalización de vida útil, puesto que se prosigue al derribo o demolición y en estos casos, habitualmente no hay un adecuado proceso de despoje de los residuos (Piñeiro y García, 2009)

La implementación de agregados de concreto fino reciclado (RFA) es una alternativa eco-sostenible en la fabricación de mortero, en el que, a medida que se disminuye la relación de w/c en la elaboración, mejoran significativamente sus propiedades mecánicas llegando al punto de cumplir los estándares de calidad del mortero, esto se debe a que se alcanza un grado de saturación que permite una mejor adherencia entre los agregados y la matriz de cemento (Bouarroudj et al., 2019). La eficiencia de los materiales RCD depende de diversas variables. Por ejemplo, el estudio de reciclaje de los componentes textiles del hormigón (TRC), demostró que al contener fibras de carbono e impregnaciones de polímeros se presenta una disminución pronunciada en la resistencia a la flexión y por lo tanto no logra cumplir con los parámetros mínimos requeridos; en otro caso se pudo observar que al establecer una dosificación inadecuada para generar hormigón con agregados reciclados (RAC), tampoco se cumple con la totalidad de estándares de calidad puesto que falla en el parámetro de deformación por contracción del RAC (Tošić et al., 2018). Sin

embargo, el reciclaje de los hormigones viejos puede contribuir a reducir la extracción de los nuevos recursos naturales (grava, arena) y a disminuir las áreas de depósito de residuos. Ahora bien, el uso de RAC indudablemente va en aumento, generando otras alternativas como es el caso de concretos a partir de agregados reciclados (Anike et al., 2020).

Específicamente, refiriéndonos a concretos a base de áridos reciclados, se ha reportado que un procedimiento de desgaste a los agregados finos, es necesario para disminuir la cantidad de mortero adherido (?); de igual manera, se reemplazó hasta en un 30% la cantidad de agregados lo que permitió obtener concretos de propiedades mecánicas óptimas, incluso con mejores resultados en resistencia que el concreto convencional (Etxeberria y Gonzalez, 2018). Además de los materiales nombrados anteriormente, se han generado elementos de mampostería, tal es el caso de la alternativa de fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de materiales RCD, reemplazando el agregado pétreo convencional, los mejores resultados se presentan al adicionar el 70% de agregado reciclado (Vásquez et al., 2015). También se estableció una alternativa para la elaboración de ladrillos reemplazando hasta el 20% su composición con residuos industriales sólidos (Luna et al., 2014); así como una placa suelo-cemento con hasta 95% de RCD (Chica y Beltrán, 2018). Los productos obtenidos como resultado de la implementación de estos materiales en los trabajos anteriores cumplen con los parámetros mecánicos y estándares de calidad, e incluso, los bloques alternativos obtuvieron mejores resultados en sus propiedades mecánicas que los bloques fabricados con agregado convencional. Los RCD también han sido contemplados para la producción de materiales de infraestructura vial, es el caso del uso de elementos RCD como agregado para pavimentos de bajo tráfico pesado y de alto

Tabla 2. Elementos elaborados con materiales Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Material implementado	Referencia
Mortero	
Mortero con agregado fino reciclado	Mohsenian et al., 2018
Hormigón o concreto	
Hormigón con áridos reciclados	Leal et al., 2012; Etxeberria y Gonzalez, 2018; Tošić et al., 2018
Hormigón con fibras de carbono y polímeros reciclados	Anike et al., 2020; Le y Bui, 2020 Kimm et al., 2018
Mampostería	
Ladrillo con residuos sólidos agroindustriales	Luna et al., 2014
Bloques con RCD	Vásquez et al., 2015
Infraestructura vial	
Placa suelo cemento con RCD	Chica y Beltrán, 2018
Mezcla asfáltica con concreto reciclado	Pasandín et al., 2018
Sub-base de pavimento con RCD	Beja et al., 2020

volumen (Beja et al., 2020). Por otra parte, la fabricación de mezcla asfáltica semi-cálida con uso de agregado de concreto reciclado con una dosificación de 55% (Pasandín et al., 2018), genera resultados favorables respecto a los estándares de calidad.

A nivel nacional se ha emprendido en la gestión, manejo y aprovechamiento de materiales de RCD, generando un proceso cíclico mediante la identificación y aprovechamiento de materiales para reciclaje, re-uso y reutilización, aumentando la vida útil de los mismos en ciudades como Cali y Bogotá (Robayo et al., 2015; Chávez et al., 2013). Otro claro ejemplo de la innovación nacional basado en el desarrollo sostenible es el hotel Waya Guajira, el cual aparte de ser eco-sostenible impulsa el turismo y por lo tanto la economía regional, demostrando que al implementar el desarrollo sostenible se favorece y se va en pro del medio ambiente, la salud y la economía (Contreras et al., 2017).

5. Conclusiones

Debido a que el manejo y los procedimientos del sector constructivo tradicional, no favorecen la protección del medio ambiente, se han venido desarrollando varias alternativas para emplear el desarrollo sostenible en esta área, mediante diversos aspectos como lo son el diseño de materiales de construcción con elementos orgánicos, renovables y/o reutilizables, destacando la implementación de elementos reciclables como el vidrio, el caucho, el plástico e incluso los elementos de residuos de construcción y demolición.

Es importante resaltar que muchos materiales eco-sostenibles han demostrado resultados óptimos en cuanto al desempeño de sus propiedades físicas y mecánicas, de tal manera que se puede establecer una nueva visión acerca de la fabricación de los materiales constructivos, teniendo en cuenta que al implementarse de manera industrial y comercial el uso de RCD, aparte de generar un proceso de innovación y evolución, se favorece al medio ambiente y se genera un crecimiento en el desarrollo socioeconómico.

Referencias

- Alvarez, A. (2016). Retos de américa latina: agenda para el desarrollo sostenible y negociaciones del siglo xxi. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana De Economía*, 47(186):31–45.
- Angelin, A., Cecche, R., Osório, W., y Gachet, L. (2020). Evaluación del factor de eficiencia de un hormigón ligero autocompactante con contenido de caucho y arcilla expandida. *Construcción y materiales de construcción*, 257:1–10.
- Anike, E., Saidani, M., Ganjian, E., Tyrer, M., y Olubanwo, A. (2020). Evaluación de métodos de diseño de mezcla de volumen de mortero convencionales y equivalentes para concreto agregado reciclado. *Materiales y estructuras*, 53(1):1–15.
- Beja, I., Motta, R., y Bernucci, L. (2020). Aplicación de áridos reciclados de residuos de construcción y demolición con cemento portland y cal hidratada como subbase de pavimento en brasil. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–7.
- Belmokaddem, M., Mahi, A., y Senhadji, Y. andPekmezci, B. (2020). Propiedades mecánicas y físicas y morfología del hormigón que contiene residuos plásticos como agregado. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–11.
- Bouarroudj, M., Remond, S., Michel, F., Zhao, Z., Bulteel, D., y Courard, L. (2019). Uso de un agregado fino de piedra caliza de referencia para estudiar el comportamiento fresco y duro del mortero hecho con agregado fino reciclado. *Materiales y estructuras*, 52(1):1–14.
- Bressi, S., Colinas, N., y Di Mino, G. (2018). Enfoque analítico para la optimización del diseño de mezclas de mezclas bituminosas con caucho desmenuzado. *Materiales y estructuras*, 51(1):1–14.

- Bustos, A., Moreno, E., Zavalis, R., y Valivonis, J. (2019). Pruebas de compresión diagonal en carteras de mampostería recubiertas con morteros reforzados con fibras de vidrio. *Materiales y estructuras*, 52(3):1–13.
- Cabezas, A. (2009). La evaluación de los riesgos ambientales y su aplicación a los proyectos de desarrollo limpio. *Cuadernos de Economía*, 32(90):73–136.
- Chica, L. y Beltrán, J. (2018). Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso. *DYNA*, 85(206):338–347.
- Chávez, ., Palacio, ., y Guarín, N. (2013). Unidad logística de recuperación de residuos de construcción y demolición: Estudio de caso bogotá d.c. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 23(2):95–108.
- Contreras, O., Pedraza, A., y Martínez, M. (2017). La inversión de impacto como medio de impulso al desarrollo sostenible: una aproximación multicaso a nivel de empresa en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 33(142):13–23.
- Duriez, M., Vieux-Champagne, F., Trad, R. and Maillard, P., y Aubert, J. (2020). Una metodología para el diseño de mezcla de mortero de lecho de tierra. *Materiales y estructuras*, 53(1):1–14.
- Eguzki, U. (2011). Las teorías alternativas del desarrollo sostenible. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 55:113–126.
- Ettxeberria, M. y Gonzalez, A. (2018). La evaluación de áridos reciclados mixtos y cerámicos para hormigones de alta resistencia y baja contracción. *Materiales y estructuras*, 51(5):1–21.
- Guo, P., Meng, W., Nassif, H., Gou, H., y Bao, Y. (2020). Nuevas perspectivas sobre el reciclaje de residuos de vidrio en la fabricación de concreto para infraestructura civil sostenible. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–15.
- Ji, Z., Li, M., Su, L., y Pei, Y. (2020). Porosidad, resistencia mecánica y estructura de espumas de geopolímero a base de residuos por diferentes agentes estabilizantes. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–10.
- Khan, K., Ullah, M., Shahzada, K., Amin, M., Bibi, T., Wahab, N., y Aljaafari, A. (2020). Uso efectivo de micro-sílice extraída de cenizas de cáscara de arroz para la producción de mortero de cemento de alto rendimiento y sostenible. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–12.
- Kimm, M., Gerstein, N., Schmitz, P., Simons, M., y Gries, T. (2018). Sobre el comportamiento de separación y reciclaje del hormigón textil reforzado: un estudio experimental. *Materiales y estructuras*, 51(5):1–13.
- Landeta, B., Arana, G., Ruiz, P., y Diaz, P. (2016). Adopción de sistemas de gestión de diseño ecológico en el sector de la construcción. análisis desde la perspectiva de los grupos de interés. *DYNA*, 83(196):124–133.
- Le, H. y Bui, Q. (2020). Hormigones agregados reciclados: un estado de la técnica desde la microestructura hasta el rendimiento estructural. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–15.
- Leal, M., Osses, R., Valdes, G., y Letelier, V. (2012). Utilización de áridos reciclados para la evaluación de las propiedades de resistencia mecánica, permeabilidad y contenido de aire en hormigones de grado estructural h-30. *Revista Ingeniería De Obras Civiles*, 2:99 – 112.
- Luna, L., Ríos, C., y Quintero, L. (2014). Reciclaje de residuos sólidos agroindustriales como aditivos en la fabricación de ladrillos para el desarrollo de materiales de construcción sostenibles. *DYNA*, 81(188):34–41.
- Mnasri, F., El Ganaoui, M., Khelifa, M., y Gabsi, S. (2017). Un ejemplo de estudio de viabilidad de la cadena de producción de materiales ecológicos y productos de base biológica para la construcción ecológica / renovación en la región más grande nombrada (bélgica, francia, luxemburgo). *Energy Procedia*, 139:167–172.
- Mohsenian, S., Vaillancourt, M., Carter, A., y Bilodeau, J. (2018). Módulo resiliente de pavimento de materiales granulares no unidos que contienen agregado de vidrio reciclado. *Materiales y estructuras*, 51(4):1–12.
- Moreno, D., Ribeiro, S., y Saron, C. (2020). Compatibilización de áridos de caucho reciclado en mortero. *Materiales y estructuras*, 53(2):1–12.
- Moyano, M. y Rivera, J. (2016). El enfoque de sostenibilidad en los planes de salud de las comunidades autónomas: el desarrollo sostenible como oportunidad. *Gaceta Sanitaria*, 30(3):172–177.
- Park, K., Shoukat, T., Yoo, P., y Lee, S. (2020). Fortalecimiento de mezclas de asfalto híbrido reciclado reforzado con fibra de vidrio híbrido. *Materiales de construcción y construcción*, 258:1–10.
- Pasandín, A., Pérez, I., Caamaño, L., Pérez, N., y Gómez, B. (2018). Viabilidad del uso de agregados de concreto reciclado para mezcla asfáltica semicálida. *Materiales y estructuras*, 51(4):1–13.
- Payá, J., Serrano, T., Borrachero, M., y Monzó, J. (2012). Morteros aligerados con cascarilla de arroz: diseño de mezclas y evaluación de propiedades. *DYNA*, 79(175):128–136.
- Peláez, G., Velásquez, S., y Giraldo, D. (2017). Aplicaciones de caucho reciclado: Una revisión de la literatura. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(2):27–50.
- Pertuz, A., González, O., y Graciano, C. (2020). Investigación en ingeniería en Colombia. *Revista UIS Ing*, 19(1):7–14.

- Piñeiro, P. y García, A. (2009). Prácticas ambientales en el sector de la construcción. el caso de las empresas constructoras españolas. *Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de La Empresa*, 15(2):183–200.
- Prakash, R., Thenmozhi, R., Raman, N., y Subramanian, C. (2020). Interacción de un biopolímero viscoso del extracto de cactus con pasta de cemento para producir concreto sostenible. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 94:33–42.
- Robayo, S., Matthey, P., Silva, Y., Burgos, D., y Delvasto, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Revista Tecnura*, 19(44):157–170.
- Salazar, E., Arroyave, J., y Moreno, I. (2014). Desarrollo de vivienda ecosostenible para sectores vulnerables. *Ingeniería y Competitividad*, 16(1):249–259.
- Shakir, A., Wan, M., Othman, N., Ahmed, A., y Burhanudin, M. (2020). Producción de bloques híbridos ecológicos. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–12.
- Shanmugavel, D., Selvaraj, T., Ramadoss, R., y Raneri, S. (2020). Interacción de un biopolímero viscoso del extracto de cactus con pasta de cemento para producir concreto sostenible. *Materiales de construcción y construcción*, 257:1–8.
- Tošić, N., de la Fuente, A., y Marinković, S. (2018). Contracción del hormigón agregado reciclado: base de datos experimental y aplicación del código modelo 2010 de fib. *Materiales y estructuras*, 51(5):1–16.
- Vargas, S., Onatra, W., Osorno, L., Páiz, E., y Sáenz, O. (2008). Contaminación atmosférica y efectos respiratorios en niños, en mujeres embarazadas y en adultos mayores. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 11(1):31–45.
- Vásquez, A., Botero, L., y Carvajal, D. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21):197–220.