MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Guía de materiales para la CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana • DAASU

Bogotá D.C., 2022

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Presidente
Gustavo Petro Urrego

Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Susana Muhamad

Viceministro de Ordenamiento Ambiental del Territorio
Francisco Javier Canal Albán

Viceministra de Políticas y Normalización Ambiental
Sandra Patricia Vilardy Quiroga

Directora de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana
Andrea Corzo Álvarez

Coordinador Grupo de Gestión Ambiental Urbana
Mario Orlando López Castro

AUTORES
Catalina Romano Castañeda
Edgar Augusto Linares Triana
María del Carmen Cabeza Alarcón
Mauricio Gaitán Varón
María Isabel Sánchez Pico
Sara Jaasiel Mojica Oyuela

Corrección de estilo
María Emilia Botero Arias
Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

Diagramación
José Roberto Arango Romero
Grupo de Comunicaciones
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

2022

CATALOGACIÓN EN LA PUBLICACIÓN: Grupo Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Guía de materiales para la construcción sostenible / Minambiente: Romano Castañeda, Catalina; Linares Triana, Edgar Augusto; Cabeza Alarcón, María del Carmen; Gaitán Varón, Mauricio; Sánchez Pico, María Isabel; Mojica Oyuela, Sara Jaasiel. ---- Bogotá D.C., Colombia: Minambiente, 2022.
108 p.: il.

ISBN electrónico: 978-628-7598-12-6

1. construcción 2. materiales reciclables 3. residuos aprovechables 4. economía circular 5. sostenibilidad ambiental 6. buenas prácticas I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

CDD: 691 - Materiales de construcción

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita

CONTENIDO

1. Introducción 8

2. Antecedentes 10

3. Objetivos 12

3.1. Objetivo principal 13
3.2. Objetivo específicos 13

4. Marco conceptual 14

4.1. Economía circular 15
4.2. Los objetivos de desarrollo sostenible y la economía circular Implementación de la economía circular en el sector de la construcción en Colombia 16

5. Problemática 20

6. Sostenibilidad en la construcción 26

6.1. Metabolismo urbano 27
6.2. ¿Qué se entiende por construcción sostenible? 28
6.3. Materiales de construcción 29
6.4. Ciclo de vida materiales de construcción 35
6.5. Evaluación del impacto ambiental 37
6.5., Principales resultados obtenidos 40

7. Innovación tecnológica y buenas prácticas en el sector 74

7.1. Factores de cambio para la economía circular 75
7.2. Buenas practicas identificadas en el marco de la economía circular 77

8. Marco normativo y estrategias publicas 88

8.1. Política nacional de producción y consumo sostenible hacia una cultura de consumo sostenible y transformación productiva 89
8.2. CONPES 3874 política nacional para la gestión integral de residuos sólidos 89
8.3. CONPES 3918 Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) en Colombia 89
8.4. CONPES 3919 Política nacional de edificaciones sostenibles 89
8.5. CONPES 3934 Política de crecimiento verde 90
8.6. Estrategia nacional de economía circular, cierre de ciclos de materiales, innovación, tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. 90
8.7. Decreto 1076 de 2015 único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible 90
8.8. Decreto 1077 de 2015 único reglamentario del sector vivienda, ciudad y territorio 90
8.9. Resolución 1555 de 2005- sello ambiental Colombiano 91
8.10. Resolución 0367 de 2018 93
8.11. Resolución 0472 del 2017 (modificada por la resolución 1257 de 2021) 93
8.12. Resolución 549 del 2015 94
8.13. Guía conceptual y metodológica de compras públicas sostenibles 94
8.14. Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana 94
8.15 Especificaciones técnicas generales de materiales de construcción 94

9. Directrices y recomendaciones 96

Bibliografía 98

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

- **ACV** análisis de ciclo de vida
- **ANLA** Autoridad Nacional de Licencias Ambientales
- **BREEAM** Building Research Establishment Environmental Assessment Method for Buildings
- **CASBEE** Comprehensive Assessment System for Building Environmental Eficiency
- **CNPML** Centro Nacional de Producción más Limpia
- **CSI** Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento (CSI, por sus siglas en inglés)
- **EAAB** Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
- **ENEC** Estrategia Nacional de Economía Circular
- **GEI** gases de efecto invernadero
- **IDU** Instituto de Desarrollo Urbano
- **I&D** innovación y desarrollo
- **IDRD** Instituto Distrital de Recreación y Deporte
- **INVIAS** Instituto Nacional de Vías
- **Minambiente** Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- **MIT** Instituto de Tecnología India-Madrás
- **MP** material particulado
- **LEED** Leadership in Energy & Environmental Design
- **ODS** Objetivos de Desarrollo Sostenible
- **ONAC** Organismo Nacional de Acreditación de Colombia
- **PAI** plan de acción indicativo
- **PET** polietilenotereftalato o polietileno tereftalato (más conocido por sus siglas en inglés PET, polyethylene terephthalate)
- **PNUMA** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- **PROURE** programas de uso racional y eficiente de energía
- **PVA** adhesivo a base de acetato de polivinilo
- **PTAR** planta de tratamiento de aguas residuales
- **RMIT** Royal Melbourne Institute of Technology, sigla en inglés para: Instituto de Tecnología Royal de Melbourne
- **SDA** Secretaría Distrital de Ambiente
- **TNO** Organización de los Países Bajos para la Investigación Científica Aplicada, por sus siglas en inglés TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)
- **WBCSD** Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible
- **WGBC** World Green Building Council sigla en inglés para: Consejo Mundial de Construcción Verde

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Impactos ambientales generados a partir de la inadecuada disposición de residuos 23

Tabla 2: Porcentaje de material aun no aprovechado en Colombia 25

Tabla 3: Clasificación de los materiales de construcción según su origen 30

Tabla 4: Porcentaje de materiales de construcción según sistema constructivo 31

Tabla 5: Clasificación de materiales según su función y origen 34

Tabla 6: Ciclo de vida de los materiales de construcción 37

Tabla 7: Objetivos de sostenibilidad y criterios de selección de materiales para la sostenibilidad ambiental 38

Tabla 8: Impactos valorados por componente ambiental en materiales de construcción. 39

Tabla 9: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción de acero. Porcentaje en peso para cada insumo convencional alternativo. 42

Tabla 10: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción del cemento. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo. 45

Tabla 11: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción del agregado pétreo. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo. 49

Tabla 12: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción del concreto. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo. 52

Tabla 13: Datos relacionados con la recuperación del concreto. 53

Tabla 14: Ventajas y desventajas de la utilización del concreto reciclado. 56

Tabla 15: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción del ladrillo. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo. 60

Tabla 16: Ejemplos de ladrillos ecológicos, ventajas y desventajas. 62

Tabla 17: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción de cerámicos. Porcentaje en peso para cada insumo convencional. 64

Tabla 18: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción del drywall. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo. 67

Tabla 19: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción de pinturas. Porcentaje en pesos para cada insumo convencional y alternativo. 70

Tabla 20: Comparativo de insumos convencionales vs alternativos usados para la producción del asfalto. 71

Tabla 21: Modelos innovadores de negocio. 75

Tabla 22: Programas de prevención. 76

Tabla 23: Ventajas del uso de mezclas asfálticas modificadas con goma de neumático. 81

Tabla 24: Ventajas de uso del concreto hidráulico. 85

Tabla 25: Normas técnicas colombianas (NTC) aplicables a bienes y servicios en el sector de la construcción 92

Tabla 26: Indicadores propuestos para seguimiento del uso y producción de materiales alternativos de construcción. 97

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Principios de la economía circular 15

Ilustración 2: Edificaciones sostenibles y los ODS 17

Ilustración 3: Esquema simplificado del proceso del sector de la construcción, basados en la economía circular 19

Ilustración 4: Proyección de generación de residuos 2015-2030 21

Ilustración 5: Generación anual de residuos de construcción y demolición en ciudades de Colombia 22

Ilustración 6: Toneladas controladas y reutilización de residuos de construcción y demolición 22

Ilustración 7: Porcentaje aprovechado de residuos de construcción y demolición en Bogotá – Periodo 2012-2015 23

Ilustración 8: Mapa mental de los elementos básicos involucrados en el tema del metabolismo urbano 28

Ilustración 9: Consideraciones mínimas de la construcción sostenible en un proyecto 28

Ilustración 10: Proceso de desconstrucción en el ciclo de vida de la edificación 29

Ilustración 11: Materiales sostenibles para construcción 31

Ilustración 12: Pilares del desarrollo sostenible 32

Ilustración 13: Beneficios ambientales a partir del uso de materiales o insumos alternativos. 33

Ilustración 14: Ciclo de vida del proceso constructivo. 36

Ilustración 15: Fases de ciclo de vida de los materiales de construcción. 36

Ilustración 16: Procedimiento aplicado para la identificación de impactos ambientales 39

Ilustración 17: Valoración y porcentajes de impactos ambientales por material 40

Ilustración 18: Valoración y porcentaje de impactos ambientales del acero producido de manera convencional vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida 41

Ilustración 19: Reciclaje de acero 43

Ilustración 20: Valoración y porcentaje de impactos ambientales del cemento producido de manera convencional a través de las etapas del ciclo de vida 44

Ilustración 21: Cemento usados residuos de ceniza de hueso de oliva y escoria 45

Ilustración 22: Residuos agroindustriales al ser transformados en cenizas reactivas 47

Ilustración 23: La piedra de origen natural es un material de bajo costo y muy abundante, por lo que su uso en la industria de la construcción es casi generalizado. 48

Ilustración 24: Valoración y porcentaje de impactos ambientales de los agregados pétreos producido de manera convencional vs alternativa de las etapas del ciclo de vida. 49

Ilustración 25: Gravillas y arenas 50

Ilustración 26: Bloques para contención y paisajismo 50

Ilustración 27: Adhesivos, cerámicos, estucos y morteros 51

Ilustración 28: Valoración y porcentaje de impactos ambientales del concreto producidos de manera convencional vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida 52

Ilustración 29: Ejemplos de utilización de residuos de construcción y demolición a nivel mundial. 54

Ilustración 30: Ejemplos de utilización de residuos de construcción y demolición a nivel mundial 54

Ilustración 31: Los agregados reciclados tienen múltiples aplicaciones en la construcción. 55

Ilustración 32: Ecomuro. 58

Ilustración 33: Tubos, sardineles y bolardos 58

Ilustración 34: Valoración y porcentaje de impactos ambientales del ladrillo producido de manera convencional vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida 60

Ilustración 35: Bloque legobrick 61

Ilustración 36: Bloques estructurales y para mampostería 61

Ilustración 37: Ladrillo ecológico 62

Ilustración 38: Ladrillo ecológico 63

Ilustración 39: Casa con ladrillo ecológico 63

Ilustración 40: Valoración y porcentaje de impactos ambientales de los cerámicos producidos de manera convencional vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida 64

Ilustración 41: Bloques tipo Split y calados 65

Ilustración 42: Losetas y adoquines 65

Ilustración 43: Fachadas y pisos 66

Ilustración 44: Construcción de techos, paredes y ornamentos en drywal 66

Ilustración 45: Valoración y porcentaje de impactos ambientales del drywall producida de manera convencional vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida 67

Ilustración 46: Láminas de Drywall susceptibles de aprovechamiento 68

Ilustración 47: Valoración y porcentaje de impactos ambientales de las pinturas producidas de manera convencional vs alternativo a través de las etapas del ciclo de vida 69

Ilustración 48: Valoración y porcentaje de impactos ambientales del asfalto producido de manera convencional vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida 71

Ilustración 49: Asfalto de caucho 71

Ilustración 50: Prefabricados de concreto que absorben partículas contaminantes del aire 78

Ilustración 51: Casa con ladrillos de plástico reciclado 83

Ilustración 52: Sacos verdes para fabricación de tejas. Cementos Argos S.A 83

Ilustración 53: Esquema de estructura típica y funcionamiento de un pavimento permeable 84

Ilustración 54: Prueba de infiltración en un trama de pavimento en concreto permeable construido en dos celdas del parqueadero de la Universidad EAFIT en Medellín, Colombia 84

Ilustración 55: Juego infantiles 86

Ilustración 56: Placas tipo mármol. Envases de Tetra Pa y foill de aluminio reciclado 86

Ilustración 57: Muebles de polialuminios 87

Ilustración 58: Ladrillos y bloques tipo macizo o aligerado 87

1. Introducción

En Colombia actualmente el 77.1% de la población vive en zonas urbanas (Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2018), fenómeno que ha generado un rápido crecimiento en el sector de la construcción, lo que conlleva a un incremento en el consumo de recursos naturales e insumos requeridos para procesos de construcción tanto de edificaciones como de obras de infraestructura.

Este sector es responsable del consumo aproximado del 60% de recursos no renovables y del 40% de la energía del país. Ese mismo sector, genera el 30% de las emisiones de CO_2 y residuos que superan el 20% del total de materiales utilizados en el desarrollo de las obras de construcción (Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE, 2020).

En el 2018, las actividades económicas consumieron un total de 2´907.532 toneladas de productos del bosque (DANE, 2020, p.20), siendo las industrias manufactureras y la construcción, las que registraron un mayor consumo con un 59% y 39,6% respectivamente. Por su parte la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, así como la información y comunicaciones (agregadas en las demás actividades económicas) consumieron el 1,4%.

En 2017 el uso de agua distribuida por actividad económica sumó un total de 713 millones de metros cúbicos (m^3) para el total nacional, de los cuales la industria de la construcción consumió 7,13 millones de m^3, equivalente al 1% del total (DANE, 2020, p.22).

Por otra parte, la producción del sector cementero a nivel mundial genera el 5% de los gases de efecto invernadero (GEI), estimando que, por cada tonelada de cemento producido se libera casi una tonelada de CO_2 dando como resultado un alto consumo energético (Aristizábal & Luengas, 2007).

Entre tanto, las actividades de extracción de materias primas para la producción de insumos y materiales de construcción impactan directamente al ambiente en términos de pérdida del paisaje natural, deforestación, erosión, desertificación y contaminación de los recursos agua, suelo y aire, incrementado el deterioro de los ecosistemas y la biodiversidad, principalmente en sitios de extracción.

En ese escenario se hace primordial el fortalecimiento de programas y estrategias que permitan minimizar el uso de los recursos naturales, reducir la generación de emisiones, desperdicios y contaminantes, a fin de garantizar un desarrollo sostenible en el país en torno a la transformación de las cadenas de producción y consumo sostenible, garantizando así, el cierre de ciclos de los materiales de construcción, enmarcada en una economía que deja de ser lineal, para convertirse en una economía circular, que tiene por objetivo reducir tanto la entrada de los materiales como la producción de desechos, estableciendo un ciclo cerrado, donde los materiales que han sido desechados son tratados para posteriormente volver a introducirse en el sistema de producción.

Desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente) a través del presente documento se pretende concientizar a productores, constructores y comunidad en general, tratando de resaltar aquellos beneficios que son posibles de lograr mediante el uso de materiales que resultan ser más amigables con el ambiente, esto, como resultado de la sustitución de materias primas naturales por insumos alternativos provenientes del reciclaje o aprovechamiento de residuos sólidos, dentro del proceso de producción como material para la construcción.

El principal insumo para el desarrollo de este documento son los resultados y análisis de la información obtenida como producto de la ejecución del contrato de consultoría IIA, No. 387 de 2015, que tuvo por objeto: "Proponer instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos, en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia, en el marco de la Política de Gestión Ambiental Urbana". A partir del análisis de la matriz de valoración de impactos ambientales generados durante el ciclo de vida de los materiales priorizados, se establecen los porcentajes de reducción en el total de impactos logrados a partir de la sustitución de insumos convencionales por insumos alternativos, en la producción de cada material.

Con base en lo anterior y mediante el presente documento, se pretende contribuir con la conservación y uso eficiente de los recursos naturales, a la necesidad creciente de demanda de vivienda y de infraestructura, reflejada directamente en el incremento en la producción, fabricación y uso de materiales de construcción, configurándose como el escenario propicio para promover el desarrollo y uso de materiales alternativos en la construcción.

2. Antecedentes

Promover consumo y producción sostenible en un mundo que para el 2050 proyecta una población humana de 9.5 billones (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], s.f.), es algo vital. En el 2015 se lanzó el programa de Edificaciones y Construcción Sostenible, liderado por Finlandia y coliderado por el Consejo Mundial de Construcción Verde (WGBC por sus siglas en inglés), el Instituto de Tecnología Royal de Melbourne (RMIT por sus siglas en inglés) y PNUMA.

Su visión es alcanzar una situación para el 2030 donde, *"todas las partes encargadas de la planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, gestión de operación y demolición de obras de infraestructura (edificios, vías, entre otras) tengan un entendimiento común de construcción sostenible y del conocimiento, recursos e incentivos para crearlos mantenerlos y usarlos; haciendo estructuras que sean saludables para vivir y trabajar, que sean sostenibles en el uso de energía, agua, tierra y otros recursos clave, respetando los limites ambientales, y que tengan finalmente un mínimo impacto adverso sobre el mundo natural, manteniendo, el desarrollo económico y social"* (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA, s.f.)

Como complemento del consumo y producción sostenible, la Comisión Europea[1] aprobó el 2 de diciembre de 2015 el llamado "Paquete de Economía Circular", estableciendo algunas pautas para garantizar un crecimiento sostenible, mediante la utilización de los recursos de una manera más inteligente y sostenible.

La economía circular propone un nuevo modelo que utiliza y optimiza el *stock* y los flujos de materiales, energía y residuos, con el objetivo de hacer un uso eficiente de los recursos.[2] En nuestra economía el modelo lineal (extracción, fabricación, utilización y eliminación), ha

1 La Comisión Europea es una de las siete instituciones de la Unión Europea. Ostenta el poder ejecutivo y la iniciativa legislativa. Se encarga de proponer legislación, aplicar las decisiones comunitarias, defender los tratados de la Unión y en general se ocupa de los asuntos diarios de la Unión. Opera de manera independiente a los gobiernos nacionales y representa y defiende los intereses de la Unión. Tiene su sede en la ciudad de Bruselas

2 Congreso Nacional del Medio Ambiente. España, 2018.

alcanzado sus límites, situación que señala el agotamiento de recursos naturales, principalmente los combustibles fósiles.

En una economía circular el valor de los productos y materiales se mantiene durante el mayor tiempo posible. Los residuos y el uso de recursos se reducen al mínimo y los recursos se conservan para utilizarse repetidamente, conservando así su valor. Los residuos de unos se convierten en recursos para generación de otros.

Es evidente que la economía circular en el sector de la Construcción no se acaba en la gestión de los residuos. La economía circular abarca todo el "ciclo de vida" del proceso constructivo, iniciando en la fase de diseño, en la que se debe prever o planificar el espacio, teniendo en cuenta las circunstancias actuales y cuál puede ser su uso en escenarios futuros, de modo que se pueda garantizar la máxima longevidad al proyecto. Así mismo, el diseñador debe optimizar el uso de los materiales, de tal manera que se minimice la producción de residuos de construcción y demolición y se maximice el uso de agua, cuando sea adecuado preverá la construcción modular y la utilización de elementos constructivos industrializados, planteará el proceso de deconstrucción y el uso de productos que, tras su uso, puedan reincorporarse nuevamente al ciclo productivo.

Ya en un plano más social, debe considerarse que el uso de las construcciones requiere de un mantenimiento periódico, lo que garantiza una mayor duración de las obras civiles. Esa durabilidad redunda en economía, ahorro de energía y de recursos. Igualmente, durante la fase de uso debe ser posible modificar o adaptar la edificación a nuevas necesidades de los usuarios. Idealmente un edificio construido para un uso determinado (p. ej.: hospital) debería poderse adaptar a otro uso (p. ej.: oficinas o escuela) si las circunstancias del barrio lo requieren, en última instancia proceder a su derribo.

Este nuevo paradigma precisa de un cambio social y de un cambio en la visión empresarial de los productos y materiales (los edificios, la construcción en general) que deben ser durables en el tiempo, manteniendo sus características y su nivel de confort.

3. Objetivos

3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Fomentar el uso de insumos alternativos con criterios de sostenibilidad, incluyendo aquellos provenientes del aprovechamiento de residuos durante el proceso de producción de materiales de construcción, a fin de contribuir en la reducción de impactos ambientales y sociales generados dentro del ciclo de vida de estos, en el marco de la economía circular.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Trasladar la definición y esquema de la economía circular (desde una perspectiva más amplia) al sector de la construcción, generando de forma colaborativa un esquema que permita identificar los contenidos más relevantes de la economía circular en el sector y situar a los actores potencialmente implicados.
- Identificar y analizar las barreras y retos para fomentar la economía circular en el sector de la construcción, de manera que permita orientar medidas o el desarrollo de políticas en la materia.
- Identificar qué indicadores serían necesarios para medir la circularidad de insumos y materiales en el sector de la construcción.
- Difundir el análisis realizado con principales actores involucrados (administración pública, constructores, academia y la sociedad en general), para compartir resultados y fomentar debates y propuestas que permitan fortalecer y enriquecer el presente documento.
- Fomentar sinergias futuras.

4. Marco conceptual

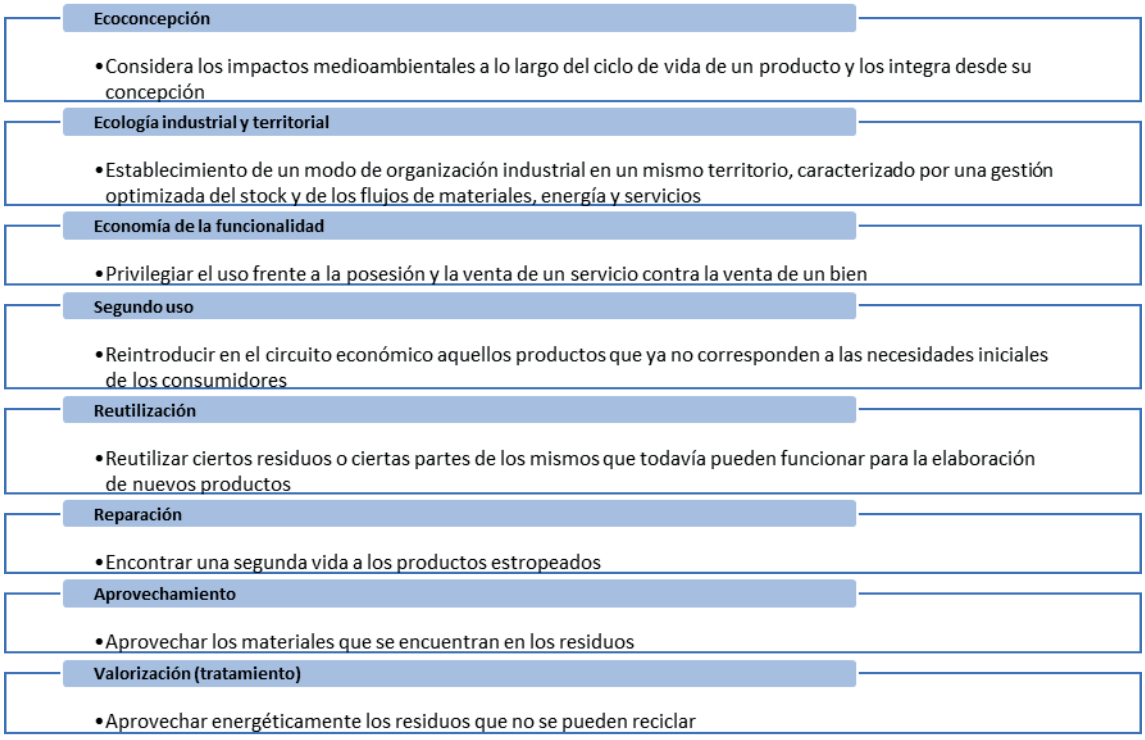
4.1 ECONOMÍA CIRCULAR

La Estrategia Nacional de Economía Circular, basada en la propuesta de la Fundación Ellen MacArthur, la define así:

> *"Sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y la energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible."*

Principios de la economía circular

Ilustración 1. Principios de la economía circular.



Fuente: documento CONPES 3874 de 2016. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Como complemento, basados en los objetivos de presente guía, podemos establecer la economía circular como: **modelo económico** que: [3]

- Utiliza la mínima cantidad de recursos naturales necesarios, incluidos el agua y la energía, para satisfacer las necesidades.
- Selecciona de forma inteligente los recursos, minimizando los no renovables y las materias primas críticas, favoreciendo el uso de materiales reciclados siempre que sea posible.

3 Congreso Nacional del Medio Ambiente. España. 2018.

- Gestiona de manera eficiente los recursos utilizados, manteniéndolos y recirculándolos en el sistema económico el mayor tiempo posible y minimizando la generación de residuos.
- Minimiza los impactos ambientales y favorece la restitución del capital natural, fomentando su regeneración.
- Incentiva a empresas, consumidores y otros actores de la cadena de valor para que desarrollen e implementen nuevos modelos de negocios, transformando los sistemas de producción y consumo existentes, dentro de la responsabilidad misma de la gestión de los residuos, el manejo eficiente de los materiales y el cambio de los estilos de vida de los ciudadanos hacia la sostenibilidad.

De esta forma, la definición no solo atiende al cierre de ciclos, sino que destaca la base de la economía circular[4] como son las 9R: **repensar, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reducir, reproponer, reciclar y recuperar,** minimizando las afecciones ambientales a los ecosistemas y a la sociedad.

4.2. LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA ECONOMÍA CIRCULAR

El 25 de septiembre de 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó la *Agenda 2030 para el desarrollo sostenible* (Organización de la Naciones Unidas -ONU, 2015), la cual desarrolla diversos puntos para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar la paz y la prosperidad. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible -ODS tienen 17 objetivos interrelacionados, lo que significa que el éxito de uno afecta el de otros. En los objetivos se definen 169 metas integradas, y se establece un horizonte temporal, fijado a 2030, para su cumplimiento (Organización de la Naciones Unidas -ONU, 2015).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible coinciden con otros acuerdos históricos celebrados en 2015. El Acuerdo de París[5] aprobado en la Conferencia sobre el Cambio Climático (COP21), junto con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030[6], proveen un conjunto de normas comunes y metas viables para reducir las emisiones de carbono, gestionar los riesgos del cambio climático y los desastres naturales, así como, el reconstruir después de una crisis.

La construcción sostenible proporciona elementos básicos para contribuir al cumplimiento de manera directa, de los siguientes ODS:

4 Estrategia Nacional de Economía Circular, Minambiente y Mincomercio, 2019

5 El Acuerdo de París es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante. Fue adoptado por 196 Partes en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Tomado de: https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris

6 El Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 fue aprobado en la Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres, celebrada del 14 al 18 de marzo de 2015 en Sendai, Miyagi (Japón). Tomado de: https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf

Ilustración 2. Edificaciones sostenibles y los ODS.

Fuente: Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (Concejo colombiano de construcción Sostenible - CCCS, 2017).

Responder a la amenaza del cambio climático repercute en la forma en que gestionamos nuestros recursos naturales. La construcción sostenible basada en la economía circular significará un progreso significativo en la disociación del crecimiento económico, del cambio climático, la pobreza y la desigualdad, aportando al logro de los objetivos y creando un mundo más verde para las generaciones futuras.

4.3. IMPLEMENTACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA

Como parte del Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022 *"Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad"* (Colombia. Congreso de la República, 2019), el Gobierno Nacional introdujo la Estrategia Nacional de Economía Circular con nuevos elementos para fortalecer el modelo de desarrollo económico, ambiental y social del país. *"La Estrategia promueve la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales. Principalmente para cumplir con las metas del crecimiento verde de aumentar la tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos a nivel nacional hasta el*

17,9%, y de reducir los GEI en un 20% en el año 2030, en el marco del Acuerdo de París". Estrategia Nacional de Economía Circular (Gobierno de la República de Colombia, 2019).

Entre las líneas de acción de la Estrategia Nacional de Economía Circular – ENEC se encuentran los materiales de construcción, especificando indicadores, metas de corto y largo plazo, así como acciones que convocan actores hacia la innovación de sus modelos tradicionales de producción y consumo para convertirlos en modelos circulares.

En términos de economía circular, se traduce en oportunidades para optimizar la eficiencia de los materiales de construcción en el país a través de la mejora de instrumentos que facilitan el cierre de ciclos, el aprovechamiento de residuos, el uso de material estéril generado en proyectos de minería y energía, el impulso de ecodiseños, la gestión y aprovechamiento de materiales de construcción y de residuos de construcción y demolición, y la promoción de construcciones sostenibles a través de certificaciones (Gobierno de la República de Colombia, 2019).

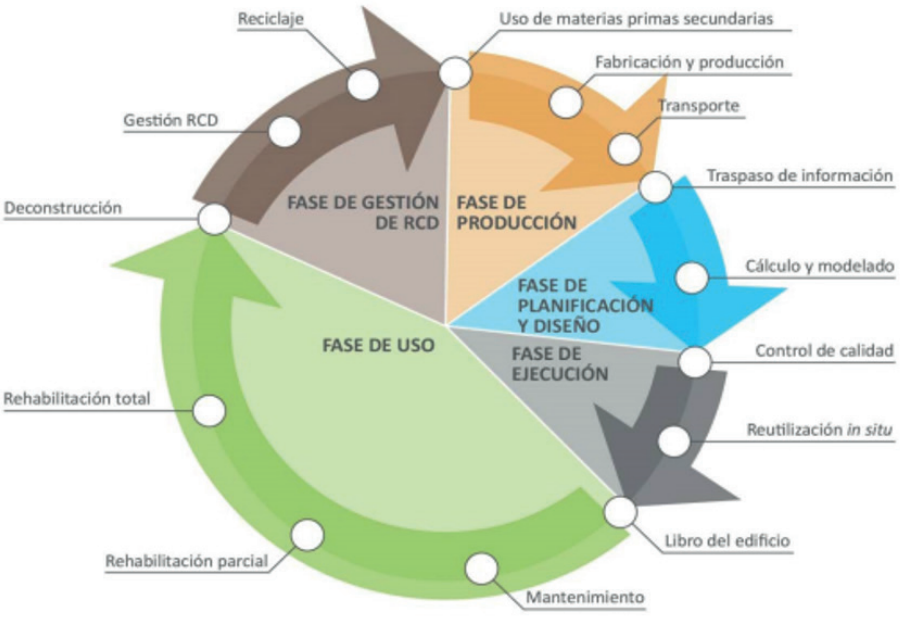
La economía circular, aplicada en materiales de construcción, genera beneficios a partir de la valorización de los recursos en repetidos ciclos, lo que se traduce en la reducción de costos de producción (Ellen MacArthur, 2014)Esos beneficios incluyen la oportunidad de generar nuevos mercados a partir del consumo sostenible, nuevas fuentes de financiación atraídas por un modelo sostenible, así como la innovación en modelos de negocios y sistemas de infraestructura sostenible.

El Foro Económico Mundial ha estimado que la economía circular representa a nivel global beneficios económicos de 380 mil millones de dólares al año (Ellen MacArthur Foundation, 2014. a). En Colombia, este potencial alcanza 11,7 mil millones de dólares anuales (Fiduciaria Colombiana de Comercio Exterior S.A. -FIDUCOLDEX., s.f. p.4) en disminución en el uso de materiales, en oportunidades de nuevos negocios, en la generación de encadenamientos y fortalecimiento de cadenas de valor y, como factor generador de productividad (Estrategia Nacional de Economía Circular, 2019, p.9).

Otros beneficios son de carácter ambiental, los cuales incluyen la reducción en la extracción de materias primas, lo que a su vez disminuye la presión sobre los recursos naturales y servicios

ecosistémicos, así como, la reducción en la generación de residuos y emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye con la conservación de fuentes de recursos naturales. (Ellen MacArthur Foundation, 2014).

Ilustración 3. Esquema simplificado del proceso del sector de la construcción, basado en la economía circular.



Fuente: Economía circular en el sector de la construcción. Rumbo 20.30. Fundación CONAMA (Congreso Nacional del Madio Ambiente, 2018).

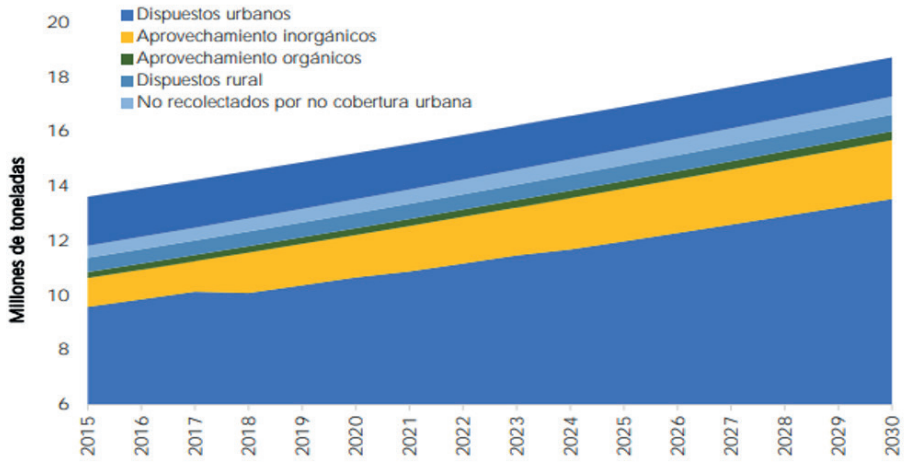
5. Problemática

Con base en el censo poblacional de 2018, según datos revelados por el Departamento Nacional de Estadística - DANE, , cerca al 80% de la población nacional habita en cuidades, aglomeraciones o asentamientos urbanos y, de mantenerse la tendencia de la dinámica poblacional, para el 2030 este porcentaje podrá superar el 85%. Es evidente el crecimiento de la población, lo que conlleva al aumento de la concentración poblacional en centros urbanos (Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE, 2018), sumado al incremento en la cantidad de recursos requeridos para suplir las necesidades y la cantidad de residuos generados en las cabeceras municipales.

Para el año 2016 la generación de residuos sólidos ascendió a 19,9 millones de toneladas, con un incremento de 2,1% con respecto al año anterior (Vélez, 2019). Según información reportada por los 1102 municipios del país y las proyecciones correspondientes, se tiene que para el año 2018, Colombia dispuso en promedio 30.973 t/día de residuos sólidos (Colombia. Superintendencia de servicios públicos domiciliarios, 2019), de las cuales, cerca del 40% podrían aprovecharse, sin embargo, según la Misión de Crecimiento Verde del Departamento Nacional de Planeación (DNP), únicamente se recicla alrededor del 17%. Se estima que, si el consumo de los colombianos se mantiene al ritmo vigente, la generación de residuos aumentará en un 20% en los próximos 10 años (Monterrosa, 2019).

Según cálculos realizados en el documento CONPES 3819 de 2014 (Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP, 2014), Colombia tendrá 64 ciudades con más de 100.000 habitantes en 2035, en las que habitará el 83% de la población. Por otro lado, CONPES 3874 de 2016 indica que "basados en la situación actual, para el año 2030 la generación de residuos en las zonas urbanas y rurales podría llegar a 18,74 millones de toneladas anuales" (Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP, 2016).

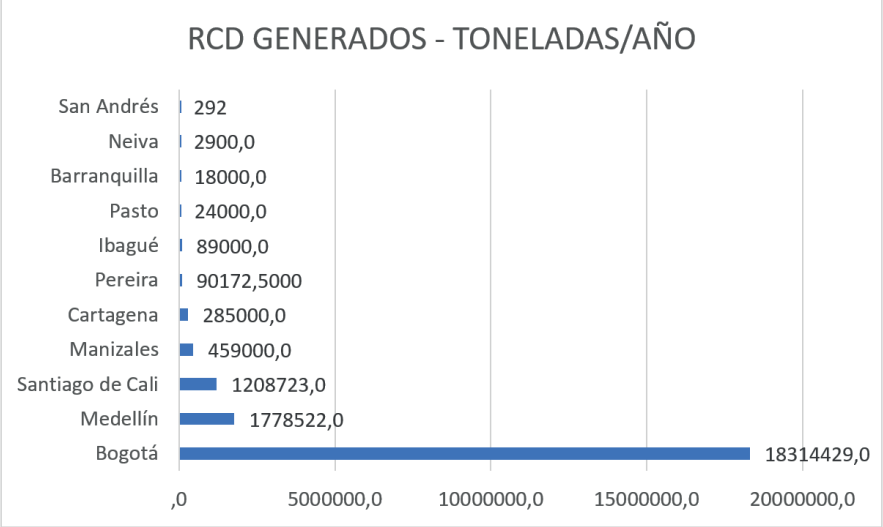
Ilustración 4. Proyección de generación de residuos 2015-2030



Fuente: Documento Conpes 3874/2016. Pág. 32 - Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Aunque las estadísticas de generación de residuos de construcción y demolición son muy escasas, la información disponible indica que la generación de este tipo de residuos es importante (ver ilustración 4), dado que el sector de la construcción es uno de los principales motores de la economía nacional.

Ilustración 5. Generación anual de residuos de construcción y demolición en ciudades de Colombia, 2011

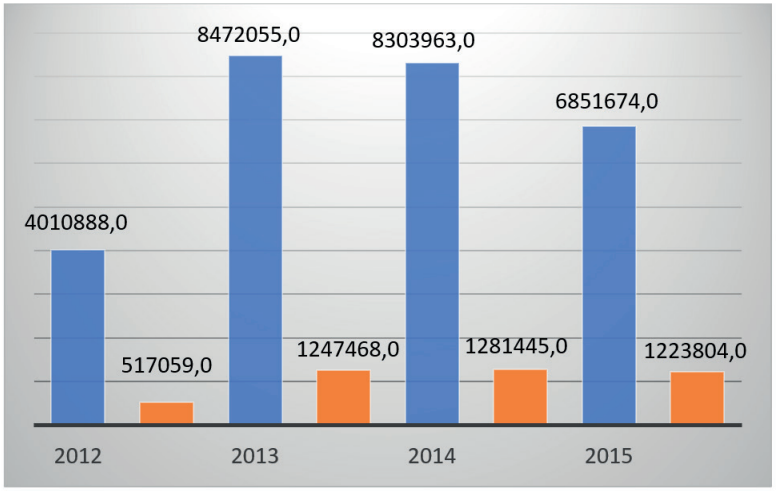


**RCD: residuos de construcción y demolición*

Fuente: documento Conpes 3874. (Colombia. Departamento Nacional de Planeación, [DNP], 2016). *Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Pág. 35. Diagnóstico integral del modelo actual de la gestión de residuos en Colombia*

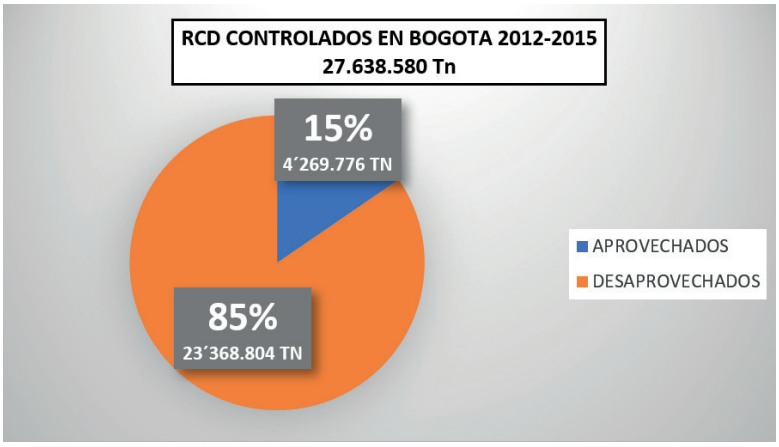
En Bogotá se recogen cerca de 300 mil toneladas de escombros por obras, y se generan aproximadamente al año 8,3 millones de toneladas, cifra que es superior a la producción de otros residuos no peligrosos en todo el país. En Bogotá, de las 27.638.580 toneladas controladas, se aprovecharon 4.269.776 de toneladas de residuos de construcción y demolición, que equivale al 15,4 % durante el periodo 2012-2015 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016, p. 147).

Ilustración 6. Toneladas controladas y reutilización de residuos de construcción y demolición



Fuente: Elaboración a partir de información tomada de: (Ortega, Orozco, Gonzales, Forero, Casas, Albarracín, Perez, Naranjo y Montoya, 2016) BOGOTÁ D.C., Hacia una nueva cultura en la gestión integral de los residuos de construcción y demolición - Disponible en: https://ent.cat/wp-content/uploads/2016/03/Publicacion-Bogota-SDA.pdf

Ilustración 7. Porcentaje aprovechado de residuos de construcción y demolición en Bogotá – Periodo 2012-2015



RCD: residuos de construcción y demolición

Fuente: elaboración a partir de información tomada de: (Ortega, Orozco, Gonzales, Forero, Casas, Albarracín, Perez, Naranjo y Montoya, 2016) https://ent.cat/wp-content/uploads/2016/03/Publicacion-Bogota-SDA.pdf

La problemática de los residuos de construcción y demolición generados ha promovido que desde el orden nacional se actualicen las normas que regulan la gestión de estos residuos. Este es el caso de la expedición de la Resolución 472 del 28 de febrero de 2017 (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017), modificada por la Resolución 1257 de 2021 (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Esta nueva regulación busca que se realice una gestión más enfocada en el aprovechamiento y valorización de los residuos de construcción y demolición, y que los municipios cuenten con herramientas para realizar el control a los generadores de tales residuos.

Gran parte de estos residuos se eliminan en botaderos sin ningún tipo de recuperación o reutilización, lo que genera importantes preocupaciones ambientales y económicas. La disposición inadecuada de estos residuos conlleva a una problemática ambiental en diferentes ámbitos: suelo, atmósfera, agua, biodiversidad y paisaje.

Tabla 1. Impactos ambientales generados a partir de la inadecuada disposición de residuos

Recurso	Categorías de impacto ambiental	Impactos ambientales específicos
Suelo	Alteración a la calidad del suelo	Cambio en el drenaje superficial
		Cambio en las características físicas, químicas y biológicas del suelo
		Cambio en los procesos de erosión
		Disminución de la permeabilidad
	Cambio en el uso del suelo	Cambio en el acceso
		Cambio en el disfrute del suelo
		Cambio en la aptitud del suelo

Recurso	Categorías de impacto ambiental	Impactos ambientales específicos
Atmósfera	Alteración a la calidad del aire	Incremento de la concentración de material particulado
		Incremento de la concentración de monóxido de carbono
	Alteración de la salud humana	Incremento del riesgo de enfermedades respiratorias
		Incremento del riesgo de cáncer
	Generación de olores ofensivos	Cambio en la concentración de los contaminantes generadores de olores ofensivos
		Incremento de la percepción de olores ofensivos
Agua	Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial y/o del régimen sedimentológico	Incremento de la ocurrencia de inundaciones
		Cambio en el patrón de drenaje
	Alteración en la calidad del recurso hídrico superficial	Cambios en las características físicas de las aguas superficiales
		Incremento de la sedimentación
		Incremento o disminución de la turbiedad
		Incremento de los sólidos disueltos
		Incremento de residuos sólidos en el agua
		Alteración del pH
		Fragmentación de la cobertura vegetal
Biodiversidad	Alteración a la cobertura vegetal	Disminución de la biomasa vegetal
		Disminución de la cobertura vegetal
		Disminución de la fijación o almacenamiento de carbono
		Fragmentación de ecosistemas
	Alteración a comunidades de flora	Cambio en la estructura y composición de las especies de flora
		Cambio en el hábitat de las especies de flora y fauna
	Alteración a ecosistemas terrestres	Cambio en la conectividad ecológica estructural y potencial
		Fragmentación del hábitat
		Disminución de ecosistemas
		Disminución de la biodiversidad
		Fragmentación del hábitat de fauna
	Alteración a comunidades de fauna terrestre	Interrupción de corredores de conectividad ecológica
		Cambio en la estructura y fisionomía del paisaje
Paisaje urbano	Alteración en la percepción visual del paisaje	Cambio en la estética característica del paisaje
		Disminución de la calidad del paisaje

Fuente: elaboración a partir de información tomada e la publicación "Listado de impactos ambientales específicos 2021". Suarez, Betancourt, Benavides y Mahecha, (2019) *en:* https://www.redalyc.org/jatsRepo/2654/265460762014/html/index.html. (Consultado el 15/12/2021).

De otra parte, la generación a gran escala de residuos no ha sido el único impacto que se ha desencadenado debido a la concentración poblacional en áreas urbanas. Como producto de ese fenómeno, la industria de la construcción ha encontrado una oportunidad de crecimiento, a través de la construcción, mejora y transformación de infraestructura que, aunque busca satisfacer las necesidades que la sociedad requiere, también genera altos impactos sobre el medio ambiente debido principalmente a los procesos de extracción y recursos empleados.

Sobre el recurso suelo se producen altos impactos de orden ambiental, esto como producto de las actividades del sector de la construcción, asociadas a procesos derivados de la extracción de materias primas y disposición final de residuos. En Colombia, el porcentaje de material reciclable no aprovechado corresponde a:

Tabla 2. Porcentaje de material aún no aprovechado en Colombia

Material reciclable	Porcentaje no aprovechado
Residuos de construcción y demolición	96%
Chatarra	27%
Celulosa y papel	13%
Plásticos, envases y empaques	50%
Residuos orgánicos	65%

Fuente: (Fiduciaria colombiana de comercio exterior S.A. -FIDUCOLDEX., s.f., pág. 4)

La utilización excesiva de materiales produce una enorme pérdida de recursos naturales, degradación del paisaje y alteración a los drenajes naturales. En ese escenario, el sector de la construcción es el principal consumidor de recursos en el mundo ya que, consume el 60% de recursos naturales no renovables, 40% de energía, genera el 30% de CO2 y desperdicia el 20% de los materiales utilizados (Gobierno de la República de Colombia, 2019), igualmente, genera efectos sobre el ambiente, tales como: alteración de la geomorfología, deforestación y pérdida de cobertura vegetal, procesos rápidos de erosión, e incluso inestabilidad en taludes, lo que conlleva a un alto riesgo de deslizamientos (Argos, s.f.).

Otra de las afectaciones se genera sobre el recurso hídrico a causa de movimientos de tierra, excavaciones y eliminación de la cubierta vegetal, conllevando a la modificación en los flujos y alteración en la calidad del recurso agua.

De igual forma, la fabricación de materiales de construcción contribuye al agotamiento de recursos no renovables a causa de la extracción ilimitada de materias primas y del consumo de recursos fósiles. Nuestro entorno natural se ve afectado por la emisión de contaminantes y por la deposición de residuos de todo tipo. La reducción del impacto ambiental del sector de la construcción se debe centrar básicamente en tres aspectos (Instituto de tecnología de la construcción de Cataluña - ITeC, s.f.):

- Control del consumo de recursos
- Reducción de las emisiones contaminantes, y
- Minimización y correcta gestión de los residuos que se generan a lo largo del proceso constructivo

En consecuencia, por los impactos generados por la industria de la construcción, Colombia debe seguir avanzado hacia la economía circular, propendiendo por el cierre de los ciclos de los materiales y búsqueda de eficiencia en el uso de agua y energía, esto con el fin de aprovechar al máximo los recursos y minimizar impactos ambientales derivados. Esto será posible a través de la implementación de acciones y buenas prácticas, que contribuyan a: repensar, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reducir, reproponer, reciclar y recuperar, en especial los materiales de construcción, considerando, que la mayor parte de los impactos son generados durante los procesos de extracción de materias primas y disposición final de residuos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

6. Sostenibilidad en la construcción

6.1. METABOLISMO URBANO

El concepto de "metabolismo urbano" fue utilizado por primera vez por Wolman- Abel (1965) para cuantificar los flujos de energía y materiales dentro y fuera de una ciudad hipotética, y fue desarrollado por Douglas (1983), que describe las ecuaciones para medir la energía, el agua y los saldos que constituyen el metabolismo urbano. La conceptualización de las ciudades como sistemas naturales y organismos vivos llevó a Wolman a definir el metabolismo urbano, o metabolismo de las ciudades, como: *"todos los materiales y materias primas necesarias para mantener a los habitantes de una ciudad, en una casa, en el trabajo y en el juego."* (Slawomir W. & Takashi, 1999).

Por su parte en 2007, Cuddihy y Engel–Yan definieron metabolismo urbano como: *"la suma total de los procesos técnicos y socioeconómicos que ocurren en las ciudades, resultado del crecimiento, producción de energía y eliminación de desechos."* (Kennedy, 2007). En consecuencia, se pueden entender las ciudades como la interrelación de organismos que intercambian materiales, considerando los flujos de materia que entra y los flujos de desechos que salen de las ciudades. Actualmente, el metabolismo urbano estudia los intercambios de materia, energía e información dentro de las ciudades y con el medio circundante (Díaz Álvarez, 2014).

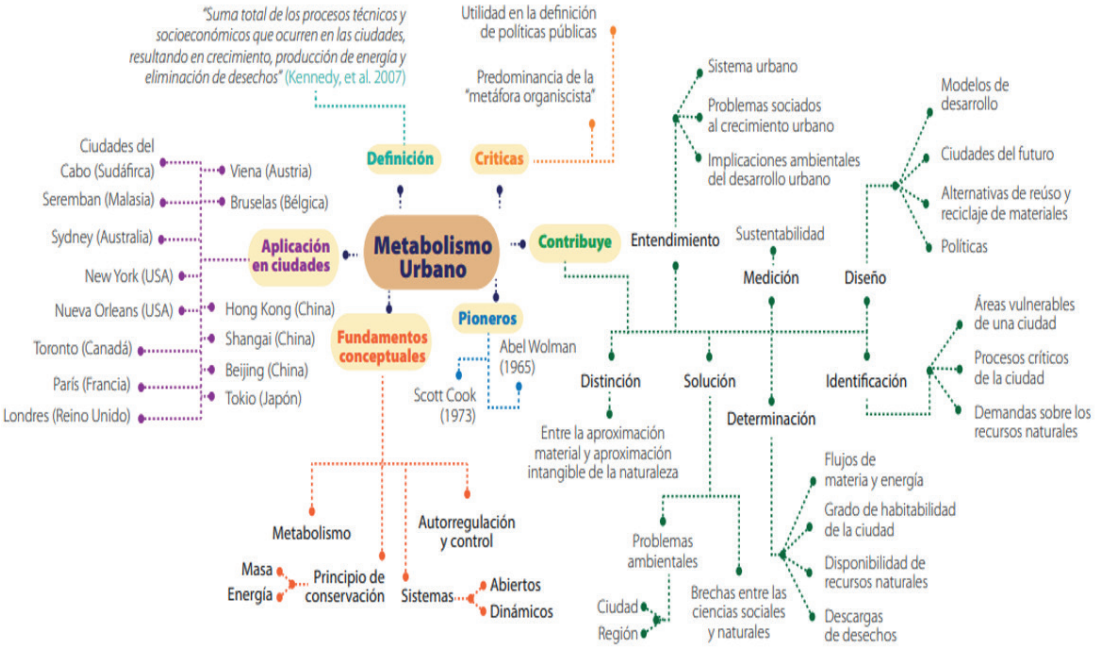
El metabolismo urbano sigue el mismo proceso que el resto de los objetos de consumo: extracción, fabricación y utilización, para acabar convirtiéndose en un residuo (Wadel, Avellaneda, & Cuchí, 2010). En los procesos naturales, los residuos resultantes de los procesos humanos constituyen recursos que se utilizan para volver a comenzar el ciclo de fabricación y utilización. De esta manera la naturaleza funciona con ciclos circulares a diferencia de los ciclos lineales característicos de la actividad humana convencional (Braungart & McDonough, 2005).

El metabolismo urbano se construye a partir de sistemas tales como el del agua, la energía y los materiales, y en general dichos sistemas tienen una secuencia lineal de procesamiento, por lo que el funcionamiento de la ciudad depende por completo de la importación de recursos de alta calidad. Por ello, en términos de manejo de recursos, el metabolismo lineal es altamente ineficiente y fomenta una alta dependencia de los recursos externos a la ciudad (Leduc y Van Kann, 2012). El análisis del metabolismo urbano puede ser una importante herramienta para el estudio del ecosistema urbano (Canela & Gutierrez, 2015).

En el proceso, es importante conocer los volúmenes y dinámicas de los materiales de construcción antes, durante y después del proceso constructivo con el propósito de conocer los impactos ambientales generados por los flujos de materiales, también conocidos como metabolismo urbano de los materiales de construcción (Quintero & Tabares, 2015).

Los flujos de materia y energía en los materiales de construcción de edificaciones se estudian mediante el análisis del ciclo de vida. Se trata de una metodología que permite la valoración exhaustiva del impacto ambiental de los materiales, realizando una contabilidad completa del consumo de recursos y de la emisión de residuos asociados a las distintas fases del ciclo de vida (Gallego, J. et ál., 2020).

Ilustración 8. Mapa mental de los elementos básicos involucrados en el tema del metabolismo urbano.



Fuente: (Diaz, 2014) Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. Interdisciplina, 2(2): 51-70. http://www.revistas.unam.mx/index.php/inter/issue/view/3714

6.2. ¿QUÉ SE ENTIENDE POR CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE?

Se refiere al diseño, construcción y operación de edificios de forma responsable con el medio ambiente, económicamente beneficiosos y además saludables para trabajar y vivir (Mejía & Aristizábal, 2019). Su objetivo principal es integrar criterios ambientales y sociales, a fin de contribuir con la reducción en el uso de recursos naturales, mejorar la relación con el entorno e incrementar la calidad de vida de sus habitantes. Según el informe de mercado inteligente World Green Building Trends 2018 (Dodge Data & Analytics, 2018), se considera un proyecto sostenible aquel que contempla como mínimo:

Ilustración 9. Consideraciones mínimas de la construcción sostenible en un proyecto.

Fuente: Tomado de Negocios Sostenibles. (Concejo Colombiano de Construcción Sostenible - CCCS, 2019)

6.2.1. ¿EN QUÉ CONSISTE LA DECONSTRUCCIÓN?

La **deconstrucción de edificios** es un nuevo concepto que ha surgido a partir de las demoliciones corrientes de **obras civiles**, pero con un objetivo claro de conservar el medio ambiente. De esta manera, a través de la **deconstrucción** se busca que los edificios tengan una nueva vida, pero con un claro respeto a la naturaleza.

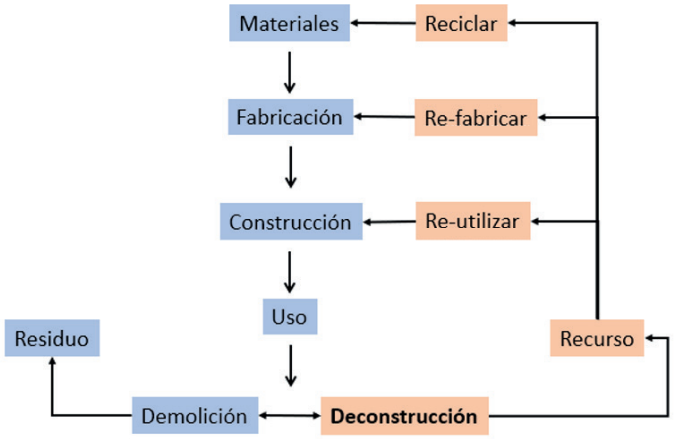
La deconstrucción frente al derribo de edificios

La deconstrucción es un concepto que apenas tiene una década de vida, momento en el que se decidió apostar de manera ciega por la sostenibilidad. Antes, con la **demolición** los materiales se transportaban a escombreras o rellenos sanitarios, sin importar si eran plásticos, maderas, papeles o colchones, todo iba al mismo sitio.

Pero ahora la situación ha cambiado. La **deconstrucción** es deshacer un edificio, en el sentido inverso a la construcción, pero todos los materiales susceptibles de reciclarse van a contenedores específicos para que así protejamos el medio ambiente.

En la deconstrucción se pretende eliminar todos los materiales, pero recogidos en función de sus características. Así, los papeles se llevan a papeleras específicas, los plásticos a contenedores especiales, los hierros a lugares de fundición, la madera se transforma en contrachapado, y otros materiales como trapos quedan comprimidos.

Ilustración 10. Proceso de deconstrucción en el ciclo de vida de la edificación



Fuente: Tomado de Construmática (2021) disponible en: https://www.construmatica.com/construpedia/Impactos_Ambientales_en_el_Sector_de_la_Construcci%C3%B3n

6.3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Los materiales de construcción se definen como todos aquellos elementos o cuerpos que integran las obras civiles de construcción, cualquiera que sea su naturaleza, composición y forma, de tal manera que cumplan con los requisitos mínimos para tal fin (Briceño, s.f.).

Dentro de estos se incluyen materiales de origen convencional, los cuales se pueden denominar: materias primas, específicamente útiles para diferentes actividades y procesos de la construcción, siendo estos nativos, es decir, extraídos de los recursos naturales renovables y no renovables (Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2013).

Según su origen se pueden clasificar en (tabla 3)

Tabla 3. Clasificación de los materiales de construcción según su origen

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SEGÚN SU ORIGEN	
Tipo de material	**Descripción**
Materiales orgánicos	Son fundamentalmente productos de origen vegetal y algunos subproductos simples de estos, como madera, corcho, caucho, fibra de mezcal, bambú, plástico[7], entre otros.
Materiales pétreos	Son materiales de apariencia pétrea obtenidos de manera natural (rocas) o artificial (cerámicos y vidrios), utilizados principalmente en bloques, losetas, fragmentos y granos de distinto tamaño. Por ejemplo: arena arcilla, roca caliza, pizarras, mármol, graba, escayolas, mortero de concreto, ladrillo y vidrio.
Materiales aglutinantes	Son aquellos que poseen la propiedad de unir o adherirse a otros (generalmente de naturaleza pétrea), para formar masas plásticas que permiten moldearlos y obtener otros productos. Se clasifican en aglutinantes aéreos, hidráulicos e hidrocarbonatados. Otra clasificación de acuerdo con la naturaleza física o química producto de su unión puede ser: aglomerantes o conglomerantes. Por ejemplo: barro, cal, alquitrán, yeso, cemento y engrudo.
Materiales metálicos	Son materiales de procedencia natural que requieren procesos especiales para su obtención y uso, así como sus aleaciones y toda la gama de productos elaborados a partir de estos. Los principales son: hierro, acero, cobre, bronce y aluminio. Entre los productos más importantes hechos con metales están las tuberías para conducir agua y fluidos y los perfiles estructurales, así como elementos de fijación (tornillos, puntillas, pernos), barras (también llamadas varillas) y distintos tipos de láminas.
Materiales sintéticos	Derivados principalmente del petróleo, aunque se pueden sintetizar de otras materias. Se trata fundamentalmente de plásticos y polímeros cuya ventaja en la construcción es la estabilidad e inalterabilidad. Se destacan diversos grupos de aglomerantes, impermeabilizantes, aislantes, pinturas, esmaltes, barnices y selladores de todo tipo, como son: PVC, suelos vinílicos, polietileno, poliestireno, poliestireno extruido, poliestireno expandido, polipropileno, poliuretano, poliéster, neopreno, resina epoxi, acrílicos, pintura acrílica, silicona, y brea.
Materiales compuestos	Son el resultado de la combinación de dos o más materiales de un producto cuyas propiedades son mucho más completas o se ven drásticamente reforzadas. Se pueden resaltar, entre otros: mortero, hormigón, concreto pretensado, piedra artificial, fibrocemento, aluminio compuesto, yeso laminado y asfalto.

Fuente: Elaborada a partir de información tomada (Keobra, 2020), *disponible en: https://keobra.com/clasificacion-de-los-materiales-de-construccion*

De acuerdo con los sistemas constructivos más tradicionales en la construcción, se muestra la siguiente clasificación realizada con la base porcentual de uso de materiales (tabla 4):

7 Se denominan plásticos a los materiales constituidos por una variedad de compuestos orgánicos, sintéticos o semisintéticos, Los plásticos orgánicos provienen de materias primas naturales como la celulosa, el carbón, el gas natural, la sal y, por supuesto, el petróleo.

Tabla 4. Porcentaje de materiales de construcción según sistema constructivo

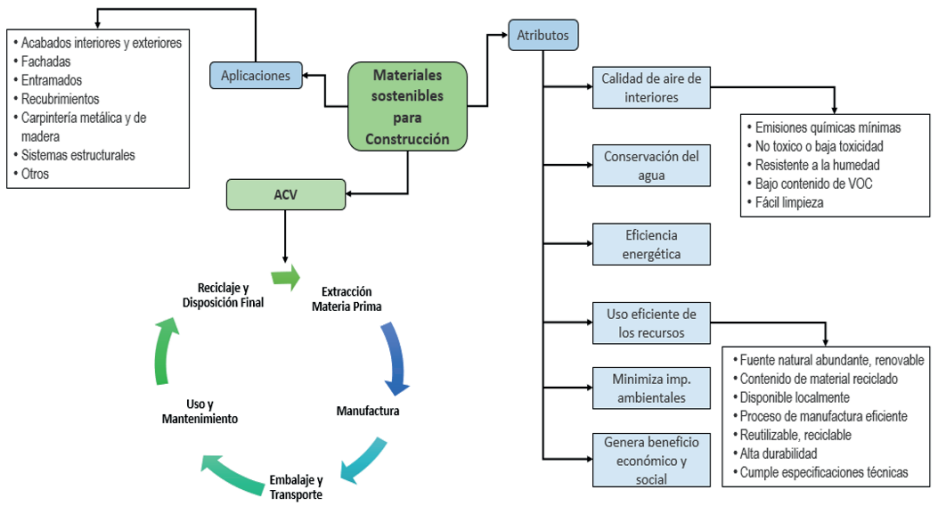
MATERIALES MÁS USADOS EN LA CONSTRUCCIÓN POR SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MÁS FRECUENTES (Kg/m²)			
MATERIALES	SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES		
	Industrializado	Mampostería Estructural	Mampostería Confinada
Agregados triturados	42,70%	29,30%	26,00%
Arena de río	35,10%	25,30%	30,50%
Cemento gris	12,40%	10,10%	12,70%
Roca tuerta	3;7%	11,00%	15,50%
Cerámica cocida	3,20%	21,90%	14,90%
Acero	2,10%	1,50%	0,40%
Madera	0,40%	0,26%	0,00%
Tejas en fibrocemento	0,25%	0,43%	0,00%
PVC	0,19%	0,15%	0,10%
Cobre	0,03%	0,01%	0,00%
Cemento blanco	0,03%	0,03%	0,00%

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

6.3.1. MATERIALES ALTERNATIVOS O SOSTENIBLES

Son producto de la recuperación, reciclaje o aprovechamiento de residuos sólidos usados para reemplazar parcialmente los insumos o materias primas convencionales (Arista, Aguillón, & Posadas, s.f.). Sin embargo, cuando se habla de material sostenible o verde, corresponde a aquel que a lo largo de su ciclo de vida minimiza los impactos ambientales y sociales que genera (Corporación Ruta N, 2014), también genera beneficios de orden económico. Estos materiales contribuyen a partir de sus principales características a la minimización de impactos, tal como se muestra a continuación (ilustración 11):

Ilustración 11. Materiales sostenibles para construcción.



ACV: análisis del ciclo de vida

Fuente: adaptado de Corporación Ruta N (2014)

Los materiales que por su cantidad son potencialmente más susceptibles de poderse repensar, reutilizar, reparar, restaurar, remanufacturar, reducir, re-proponer, reciclar y recuperar, son aquellos que provienen de actividades de excavación, construcción, deconstrucción, mejoras locativas de obras civiles o de actividades conexas. De acuerdo con la Resolución 0472 de 2017 *(modificada por Resolución 1257 de 2021)* del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *"Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones"*, entre los RCD susceptibles de aprovechamiento se destacan los siguientes:

- Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno (coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos producto de excavación, entre otros)
- Productos de cimentaciones y pilotajes (arcillas, bentonitas y demás)
- Pétreos (hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozas de ladrillos y bloques, cerámicos, sobrantes de mezclas de cementos y concretos hidráulicos, entre otros)
- No pétreos (vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos tales como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera o cartón, *drywall*, entre otros.

Por su parte, los residuos de construcción y demolición no aprovechables son aquellos que han sido contaminados por residuos peligrosos, los que por su estado no pueden ser aprovechados o los que tengan características de peligrosidad y se regirán por la normativa ambiental especial establecida para su gestión.

6.3.2. BENEFICIOS A PARTIR DEL USO MATERIALES ALTERNATIVOS

Ilustración 12. Pilares del desarrollo sostenible

Fuente: Beneficios del desarrollo sustentable. (Blog Didáctico, 2019).

La incorporación de residuos en materiales de construcción presenta aspectos ambientales positivos, destacándose los ahorros en consumo de materiales vírgenes o importados y de consumo energético asociados a la fabricación de productos a los que sustituyen, la prolongación de la vida útil de los espacios de vertido, así como a la preservación de espacios naturales debida a una menor necesidad de explotación de recursos minerales (Merino, Cortina, Gracia, Astorqui, & Azevedo, 2006).

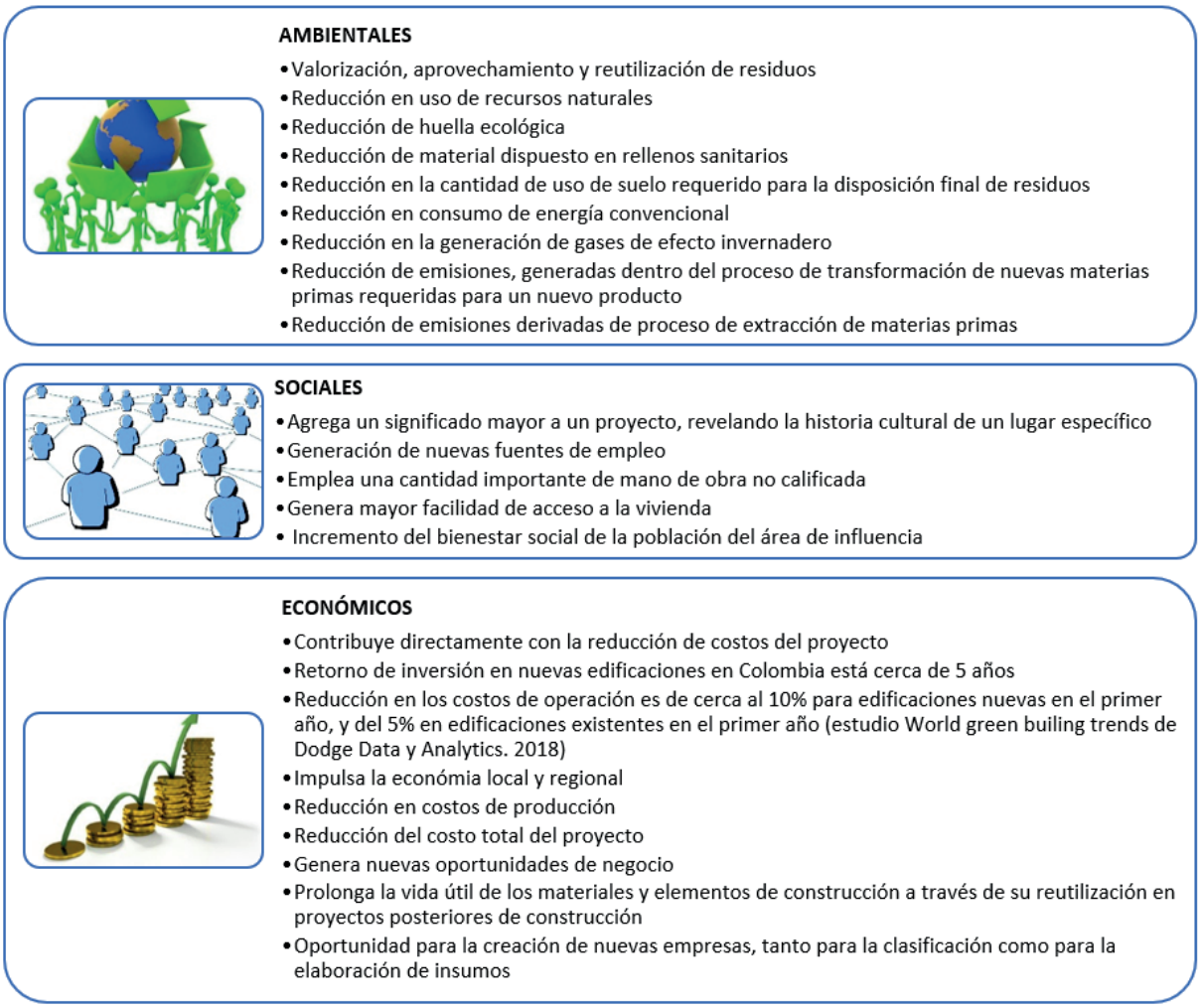
La construcción sostenible no solo es una práctica que implica la utilización de materiales

amigables con el ambiente, sino que también incluye procesos de diseño y desarrollo integral e interdisciplinario, que priorizan aquellos impactos positivos para el ambiente, los usuarios y la comunidad en general.

Según el estudio World Green Builing Trends (Dodge Data & Analytics, 2018) (donde se consultaron alrededor de 2.078 profesionales arquitectos, ingenieros, contratistas, consultores e inversionistas, en representación de 86 países), se destacan algunos datos interesantes, como los siguientes:

- El 65% de los consultados, considera que los **bajos costos de operación** son el elemento clave para promover los negocios sostenibles.
- El 58% considera que los beneficios en la salud y bienestar de los ocupantes son determinantes como beneficios a resaltar en este tipo de proyectos.
- El 32% piensa que aporta significativamente en el **precio final de venta.**

Ilustración 13. Beneficios ambientales a partir del uso de materiales o insumos alternativos.



Fuente: Elaborado a partir de información tomada del Estudio World Green Builing Trends de Dodge Data y Analytics (Dodge Data & Analytics, 2018)

La producción de materiales de construcción a partir del aprovechamiento y valorización de residuos sólidos es una práctica que, además de ser beneficiosa para con el medio ambiente, genera también beneficios en términos económicos y sociales al país (Borsani, 2011).

6.3.3. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MAS USADOS EN COLOMBIA

En la siguiente tabla se presenta la clasificación de los materiales de construcción más usados en Colombia, se indican las fuentes de insumos convencionales o materias primas más usadas en su proceso de elaboración y algunas de las posibles fuentes de insumos alternativos susceptibles de aprovecharse dentro del proceso de elaboración.

Tabla 5. Clasificación de materiales según su función y origen

MATERIAL	FUNCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN	FUENTES CONVENCIONALES	POSIBLES FUENTES ALTERNATIVAS
VIVIENDA Y EDIFICACIONES			
Acero	Estructural y envolvente	Fuentes minerales de hierro, férreos minerales, y trasformación de materiales pétreos y minerales	Proceso de producción de acero, chatarrización, procesos de deconstrucción, residuos generales de materiales, ferrosos (chatarrización vehicular)
Cemento	Adhesivos, concretos, morteros, estabilizantes de suelo y recubrimientos en piso y paredes	Agregados pétreos, calizas, clinker, yeso y otros	Escoria de alto horno, escoria o cenizas volantes de termoeléctricas, cenizas y escorias hornos de arco eléctrico, residuos de concreto, fosfo-yesos de la industria de fertilizantes, ceniza de incineradores de residuos.
Cerámicos	Arquitectónico, recubrimientos y envolvente en pisos, techos y paredes	Arcillas, arenas, caolín, cal, yeso	Residuos de construcción y deconstrucción (agregados finos (arenas)), cenizas volantes.
Concreto	Estructural, arquitectónico y envolvente pisos, techos y paredes.	Agregados pétreos (gravas de diverso tamaño, arena), cemento y agua).	Escoria de alto horno, escoria de termoeléctricas, hornos de arco eléctrico, cenizas volantes, residuos de concreto, ceniza de incineradores de residuos, residuos de construcción y deconstrucción (concreto).
Drywall	Arquitectónico y envolvente paredes	Cartón y minas de yeso	Fosfo-yeso proveniente de la industria de fertilizantes, yeso reciclado de la industria de yeso y cartón de residuos domésticos.
Ladrillo	Estructural, Arquitectónico y envolvente pisos, techos y paredes.	Arcillas, arenas, sal y otros	Residuos de construcción y deconstrucción (arcillas de excavación de obra debidamente caracterizadas), cenizas volantes, escoria de incineradores, lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Arcillas y limos de excavaciones de construcción.

MATERIAL	FUNCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN	FUENTES CONVENCIONALES	POSIBLES FUENTES ALTERNATIVAS
Pinturas	Arquitectónico y recubrimientos en pisos techos y paredes	Cal, yeso, caolín, PVA, dióxido de titanio, aluminio, Tilosa, agua.	Residuos de industria química, cargas minerales, residuo lácteo, cal residual de producción de acetileno.
INFRAESTRUCTURA			
Asfalto	Infraestructura y urbanismo (vías y zonas duras)	Agregados pétreos, emulsión asfáltica	Triturado de asfalto, llantas usadas, agregados reciclados, emulsiones provenientes de lodos asfálticos y del procesamiento de aceites quemados.
Concreto	Infraestructura y urbanismo	Agregados pétreos	Escoria de alto horno, escoria de termoeléctricas, hornos de arco eléctrico, cenizas volantes, residuos de concreto, ceniza de incineradores de residuos, residuos de construcción y deconstrucción (concreto).
Cemento	Infraestructura y urbanismo	Agregados pétreos	Escoria de alto horno, escoria de termoeléctricas, hornos de arco eléctrico, cenizas volantes, residuos de concreto, fosfo-yesos de la industria de fertilizantes, ceniza de incineradores de residuos.
Ladrillo	Infraestructura y urbanismo	Agregados pétreos	Residuos de construcción y deconstrucción (arcillas de excavación de obra debidamente caracterizadas), cenizas volantes, escoria de incineradores, lodos de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Arcillas y limos de excavaciones de construcción
Materiales Pétreos (base y subbase granular)	Infraestructura y urbanismo	Agregados pétreos	Escoria de alto horno, escoria de termoeléctricas, hornos de arco eléctrico, cenizas volantes, residuos de concreto, ceniza de incineradores de residuos, residuos de construcción y demolición. Actualmente se usan tanto estabilizantes de suelo nativo, como agregados de reciclaje de deconstrucción para reemplazar las bases y subbases.

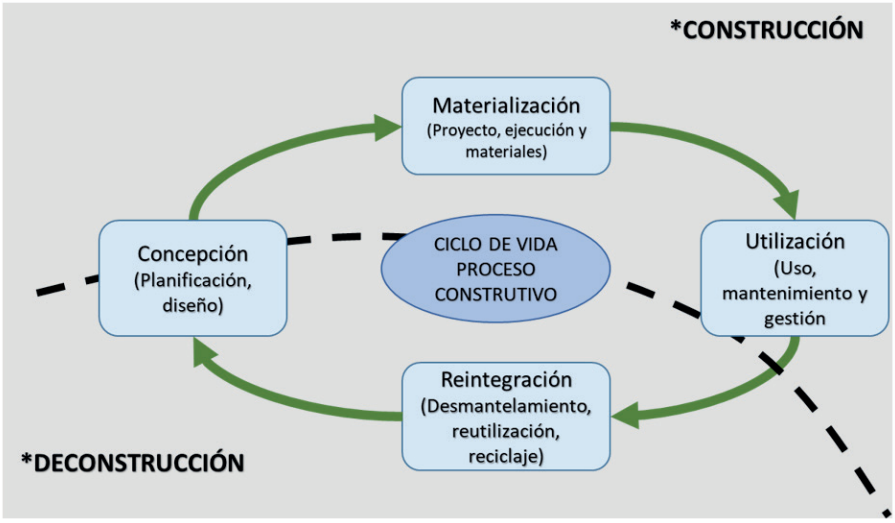
Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

6.4. CICLO DE VIDA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

"Todos los sistemas de producción, procesos o servicios poseen un ciclo de vida que puede estructurarse de forma sistemática, con un principio y un final previamente establecido" (Cardim de Carvalho, 2001).

El análisis del ciclo de vida es una herramienta que produce información objetiva de base científica, considerando un punto de vista holístico que incluye todas las etapas del ciclo, ya sea, de un producto, proceso o actividad. El análisis del ciclo de vida del proceso constructivo, según (Geho-ceb, 1997), se divide en dos partes (i) construcción y (ii) desconstrucción. El ciclo inicia con la concepción del proyecto, seguido de su ejecución o materialización, posteriormente pasa por su utilización y finalmente, su reintegración o reutilización, lo que necesariamente implica realizar una nueva concepción del proyecto, garantizando la circularidad y cierre de ciclos de materiales (ilustración 14).

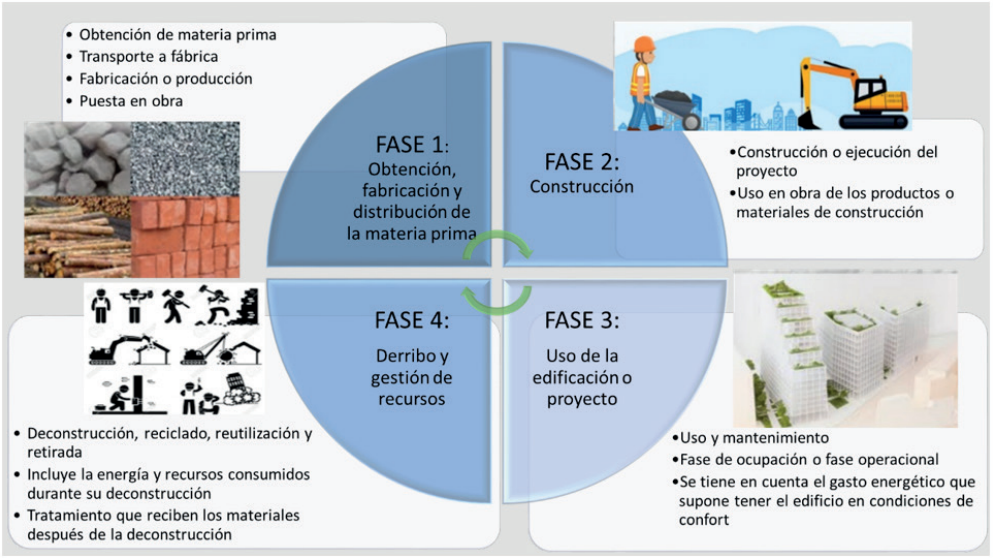
Ilustración 14. Ciclo de vida del proceso constructivo



Fuente: elaborado a partir de información tomada de (Geho-ceb, 1997)

Se debe tener especial cuidado en el proceso de producción de los materiales de construcción para que no se afecte el proceso de construcción y se garantice el ciclo de vida del proyecto. El ciclo se inicia con la concepción del material requerido, luego por su materialización, utilización y finalmente su reintegración al ambiente o su reutilización, siendo necesaria una nueva concepción del proyecto, donde el ciclo puede nuevamente repetirse. En términos generales, se puede considerar que el ciclo de vida posee 4 ciclos o fases (ilustración 15).

Ilustración 15. Fases de ciclo de vida de los materiales de construcción



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Ciclo de vida de los materiales de construcción

CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES	
Fase 1 Materias primas	Obtención de materia prima: explotación de minas o canteras, deforestación. La materia prima utilizada en la fabricación de materiales proviene de la corteza terrestre, para su obtención se realizan procedimientos mecánicos de extracción y corte, alteran los paisajes y ecosistemas, precisan de energía y emiten sustancias nocivas al medioambiente, siendo esta primera fase una de las más impactantes, lo que justifica la necesidad de uso de materiales que provengan de reciclado. Transporte a fabrica: recogida de la materia prima y dejada en el sitio de fabricación o producción de acuerdo con las necesidades. Durante esta fase se producen altas tasas de contaminación debido al uso de combustibles fósiles, por lo cual, una de las medidas más significativas en cualquier actuación sostenible, es la de utilizar productos locales, influyendo positivamente también de esta manera en la economía y las tasas de empleo local. Fabricación o producción: incluye la energía y las emisiones asociadas a la manufactura, el embalaje y posibles transportes asociados. Existen en el mercado productos que precisan de leves acciones de transformación, consistentes básicamente en el corte en formato, como el caso de los productos pétreos naturales, o la madera, y otros, que para su puesta en obra y adquisición de las propiedades que garantizan su calidad, precisan de procesos más complejos con un alto consumo de energía, agua, y aditivos químicos. Puesta en obra: incluye el transporte de los productos de construcción desde la fábrica hasta los distribuidores y de estos a la obra, así como la energía y recursos consumidos durante la ejecución de cada una de las soluciones constructivas que conformarán el edificio.
Fase 2 Construcción	La puesta en obra de los materiales se realiza por diferentes métodos dependiendo del formato del producto. Los que requieran colocación en pasta necesitan una aportación de agua. En el caso de productos rígidos se colocan mediante mortero, adhesivo, anclajes, tornillos, o mediante soldadura. Es fundamental reducir la cantidad de energía, agua y emisiones de partículas, gases y sustancias nocivas al medio (polvo, restos tóxicos y residuos de construcción) y evitar el exceso de ruido.
Fase 3 Uso y mantenimiento	También llamada “fase de ocupación” o “fase operacional”. En esta fase se tiene en consideración funciones tales como las de calefacción, refrigeración, iluminación, uso de agua, etc. Se tiene en cuenta el gasto energético que supone tener el edificio en condiciones de confort. El mantenimiento es un conjunto de operaciones que han de realizarse durante la vida útil del edificio; se concibe como una medida preventiva que asegurará su correcto funcionamiento. Estas operaciones serán simples o complejas según los tipos de productos utilizados, los sistemas constructivos, la intensidad de uso del edificio y el ambiente al cual está expuesto.
Fase 4 Deconstrucción, reciclado, reutilización, retirada	Esta fase marca el final de la vida del edificio. Incluye la energía y recursos consumidos durante su deconstrucción y los transportes asociados, igualmente incluye el tratamiento que reciben los materiales de construcción después de la deconstrucción, como es el reciclado, la reutilización, la retirada a relleno sanitario o escombrera o, la incineración, así como el procesado y transporte asociados. En la demolición o deconstrucción se debe garantizar que se puedan recuperar productos íntegros y que se pueda obtener suficiente material para proceder a su reciclado y reutilización posterior.

6.5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Para que los planteamientos de manejo del impacto ambiental en el uso de materiales de construcción sea eficiente, los criterios de selección deben ser definidos desde la etapa de

planeación y diseño del proyecto, teniendo en cuenta los impactos adversos generados a partir del proceso de producción del material, es decir, a través del análisis de su ciclo de vida, incluyendo, características y comportamientos de resistencia, durabilidad, inercia o conductividad térmica, acústica y óptica, así como requerimientos de mantenimiento (Icontec, 2007).

Tabla 7. Objetivos de sostenibilidad y criterios de selección de materiales para la sostenibilidad ambiental

OBJETIVOS	CRITERIOS DE SELECCIÓN
1. Racionalizar el uso de recursos naturales (insumos)	• Uso de materiales regionales
	• Aplicar propiedades físicas
	• Modulación de elementos
2. Sustituir materiales y procesos de alto impacto	• Reutilización y reciclaje de materiales
3. Manejo del impacto ambiental	• Uso de materiales de menor impacto
	• Manejo de residuos
	• Procesos ordenados y sostenibles
	• Reducción en disposición final
	• Disposición adecuada de residuos no aprovechables

Fuente: elaborado a partir de información tomada de Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana. (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)*:*

Entre los criterios de selección de materiales deben considerarse aspectos como la estética, el rendimiento y disponibilidad a nivel local, sumados a las condiciones de sostenibilidad ambiental representada en los impactos ambientales dentro de las etapas de su ciclo de vida.

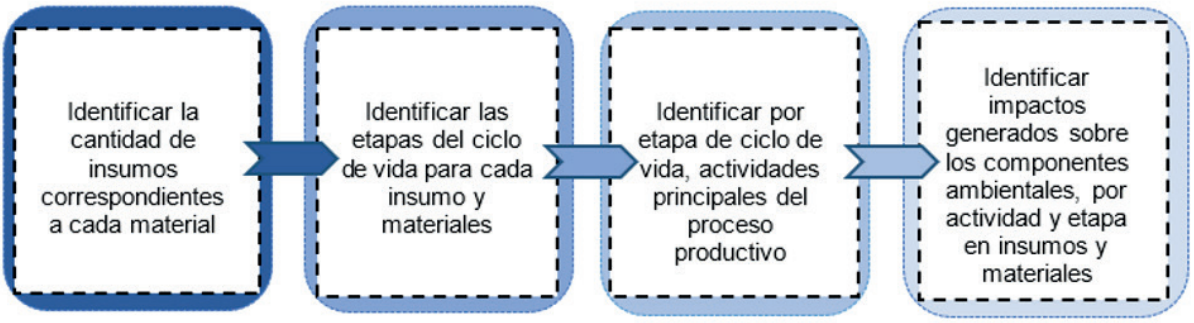
Para el cumplimiento del objetivo 1 *"Racionalizar el uso de materiales"* es vital el determinar las características y condiciones de uso apropiado de los materiales y su aplicación en procesos de construcción sostenible. Los criterios de selección enmarcados en este objetivo pueden ser aplicados a través del aprovechamiento de los materiales disponibles en la zona, identificando aquellos tradicionales y culturalmente arraigados, emblemáticos o representativos del sitio y que sean producidos de manera sostenible. Asimismo, se debe recionalizar el uso de materiales, seleccionando aquellos que contribuyen a mejorar las condiciones de temperatura, iluminación, acústica, y reducción en consumo energético (aplicar propiedades físicas de los materiales). Para el proceso de modulación de los materiales, en la fase de diseño del proyecto, se debe coordinar las dimensiones del proyecto con las de los elementos especificados, planteando el uso de unidades modulares que permitan reducir los cortes de material y su consecuente desperdicio.

En relación con la aplicabilidad de los criterios de selección, en cumplimiento de los objetivos 2 *"Sustituir materiales y procesos de alto impacto"* y 3 *"Manejo del impacto ambiental"*, se deberá adelantar una sustitución progresiva de aquellos materiales que en los procesos constructivos presentan mayores impactos ambientales, consumos energéticos, emisiones contaminantes o componentes nocivos, por materiales o insumos alternativos que generen un menor impacto ambiental, priorizando la utilización de elementos y materiales provenientes de reciclaje o recuperación, que cumplan las condiciones de calidad necesarias y con la normativa vigente. Para esto, es importante aportar, mediante la selección, separación y acopio, en el desarrollo del reciclaje de materias primas recuperadas de procesos de demolición o sobrantes, y en la reutilización de

elementos y materiales recuperados de edificaciones desmontadas. Para la fase de diseño del proyecto, se debe especificar en planos o cartillas de detalle, el uso de materiales de menor impacto ambiental en su producción o que se destaquen por la aplicación de medidas efectivas de manejo ambiental en su proceso de producción (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

Para el análisis de los impactos ambientales potenciales, se aplicó el siguiente procedimiento, considerando la información para cada etapa del ciclo de vida (ilustración 16).

Ilustración 16. Procedimiento aplicado para la identificación de impactos ambientales.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Para la valoración de los posibles impactos que afectan los componentes ambientales de aire, agua, suelo y biodiversidad, se utilizó la matriz de Leopold, como método para la obtención de los datos presentados en esta guía. A continuación, en la tabla 8, se listan algunos de los impactos valorados.

Tabla 8. Impactos valorados por componente ambiental en materiales de construcción

COMPONENTE	AIRE	AGUA	SUELO	BIODIVERSIDAD
IMPACTO AMBIENTAL	Incremento del material particulado	Afectación a la calidad del agua por lixiviación de sustancias tóxicas	Afectación a la calidad del suelo por disposición de residuos no peligrosos	Afectación a la biodiversidad
	Incremento de los GEI expresados como CO_2 Eq[8]	Afectación a la calidad del agua superficial por vertimientos	Afectación a la calidad del suelo, por disposición por residuos peligrosos	Disminución de cobertura vegetal
	Contaminación atmosférica por generación de CO_2 Eq- combustión de combustibles en fuentes móviles	Cambio en las propiedades fisicoquímicas del agua	Deterioro de propiedades fisicoquímicas del suelo (estructura, textura, compactación, fertilidad)	Deterioro en la composición y estructura florística o faunística (sin implicar su desaparición)
	Incremento de la presión sonora / aumento en los niveles de ruido	Disminución de la oferta hídrica	Activación o aceleración de procesos erosivos	Afectación a los servicios ecosistémicos

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

8 Dióxido de carbono equivalente (CO2 eq), es una medida universal utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero. Es usado para evaluar los impactos de la emisión (o evitar la emisión) de diferentes gases que producen el efecto invernadero.

La evaluación se realizó mediante la aplicación de variables de priorización para cada uno de los impactos ambientales potenciales identificados en las etapas del ciclo de vida, tanto para los insumos como para los materiales, de tal forma, que pueden medirse bajo una misma unidad o característica.

Las variables priorizadas y aplicadas para este análisis, fueron: (i) nivel de afectación o magnitud del impacto, que corresponde a un valor asignado al nivel de afectación, permitiendo establecer una diferencia entre los niveles bajo, medio y alto para cada impacto ambiental identificado, (ii) carácter del impacto, (+) beneficioso o (-) perjudicial, para las actividades donde se interactúa con los distintos componentes ambientales, y la aplicación de ponderación en porcentaje en peso que tiene cada uno de los insumos en los materiales de construcción analizados. El resultado de la interacción de estas tres variables corresponde al valor final de la evaluación realizada por material la cual se presenta a continuación, de manera que se identifica la magnitud de influencia en la elaboración de los materiales y su posible impacto generado en cada etapa de su ciclo de vida.

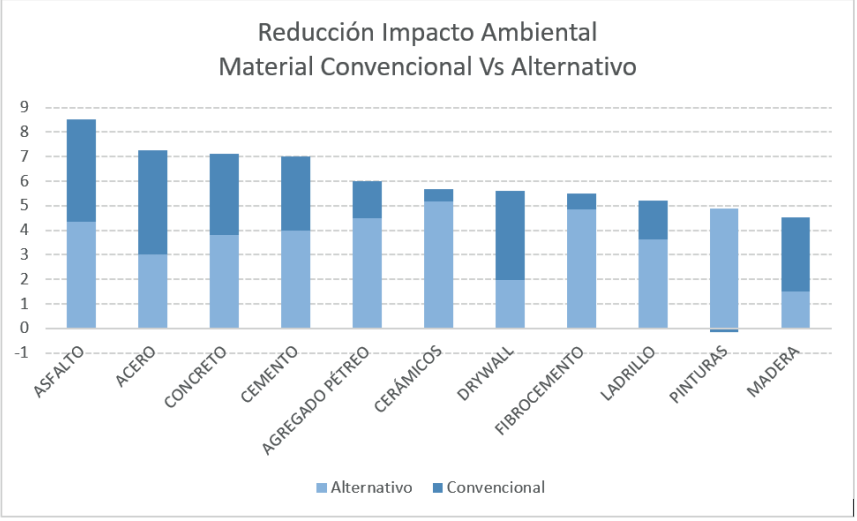
Cabe señalar, que para la identificacion y evaluación de los impactos ambientales -IA de un proyecto o una obra especifica se recomienda el uso de metologias cuantitativas (p.e. Battelle-Columbus) o cualitativas (p.e. Conesa) y un analisis detallado de las posibles afectaciones al ambiente circundante a la obra.

6.6. Principales resultados obtenidos

La valoración de impactos realizada se basó en el análisis de variables que permiten identificar y comparar los impactos ambientales generados durante el proceso de producción de materiales de construcción, elaborados a partir del uso de insumos convencionales alternativos. Está valoración permite identificar, por material, la reducción porcentual sobre el total de impactos ambientales identificados y analizados en cada una de las etapas del ciclo de vida (extracción – obtención; producción; transporte; uso, disposición – fin de vida).

En la siguiente ilustración, se identifica el porcentaje en términos de reducción que se logra mediante la sustitución de insumos convencionales por insumos alternativos dentro del proceso de producción de cada material.

Ilustración 17. Valoración y porcentajes de impactos ambientales por material.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

A continuación, se relacionan los principales materiales utilizados en la construcción, acompañados de la descripción de su proceso de producción convencional y una posible valoración del impacto de acuerdo con las etapas del ciclo de vida. Igualmente se referencia la manera alternativa de producir los mismos materiales o de volverlos a incluir en el ciclo productivo. Finalmente, se hace un comparativo a través de la valoración de los impactos ambientales definidos en aire, agua, suelo y biodiversidad.

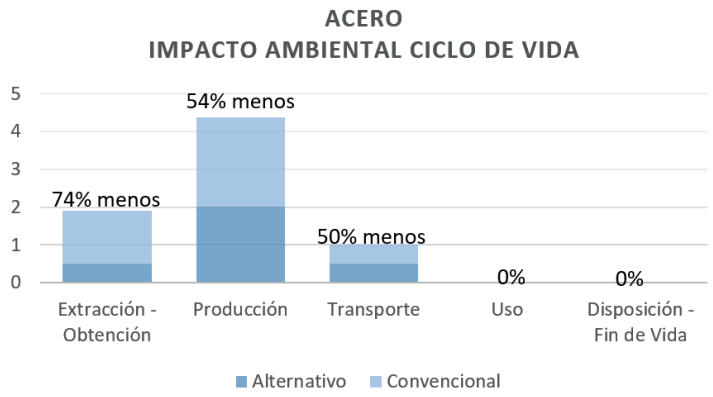
6.6.1. acero

El acero convencional se produce a partir de la separación en horno del mineral de hierro extraído en minas de cielo abierto. Ese material se transporta hasta la instalación del alto horno calentado con coque (carbón de origen vegetal de alta generación calórica) donde es mezclado con roca caliza y llevado a temperaturas superiores a los 1.600 °C, lo que conlleva una separación del metal de hierro de los restantes minerales con que sale de la mina. En ese estado, el hierro es un metal blando no adecuado para las exigencias de uso industrial, de manera que se hacen mezclas y aleaciones con diversos materiales que le dan las características de uso que requiere la industria. Una de las más conocidas es con carbón y su resultante es el acero utilizado en la construcción, su principal uso se da en la parte estructural.

Cuando se adicionan otros elementos, algunos de ellos metales, se genera un metal con características de dureza o resistencia a la abrasión o a los impactos, entre ellos se reconocen los carburos, cromo, manganeso, etc. Una vez producido el metal se moldea en lingotes, los cuales son transportados a las diversas dependencias de la planta para su formado, ya sea por laminación, extrusión o fundición en moldes especiales, de donde se transporta para maquinación o uso directo. Posterior a su uso en obra, el material se dispone en escombrera donde se puede separar y llevar como “chatarra” a fundición para su reciclaje (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

En la siguiente gráfica se observa el nivel de afectación en términos de impactos ambientales generados por material en cada una de las etapas del ciclo de vida (extracción, producción, transporte, uso y disposición fin de vida). Igualmente, se identifican los porcentajes de reducción en el total de los impactos ambientales identificados. Esta reducción se logra, mediante la sustitución o reemplazo de insumos convencionales por alternativos dentro del proceso de producción del material (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Ilustración 18. Valoración y porcentaje de impactos ambientales del acero producido de manera convencional Vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Para el caso del material acero, como se muestra en la siguiente tabla, los insumos convencionales pueden sustituirse o reemplazarse por otros reduciendo así los impactos ambientales generados durante el ciclo de vida del material (tabla 9) (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Tabla 9. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción de acero. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo.

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Carbón	5%	Chatarra	100%
Roca de hierro	95%		

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Cuando se reemplazan los insumos convencionales por insumos alternativos, en este caso reincorporando el acero al proceso de producción, se logra una reducción del 59% en el total de impactos (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)), porcentaje logrado principalmente en las etapas de extracción, producción y transporte.

Las emisiones de CO_2 derivadas por la elaboración de una tonelada de acero se reducen al 50% por el reciclaje múltiple con respecto de la producción primaria (Siderúrgica Sevillana S.A., (s.f.)). El acero es conocido por ser un material completamente reciclable, ya que tiene la capacidad de conservar sus propiedades, lo que facilita su reutilización y transformación en diversidad de productos destinados a la industria de la construcción. Se estima que, en el mundo se reciclan alrededor de 650 millones de toneladas anuales de acero y en Colombia, las cifras ascienden a más de 1 millón de toneladas al año, según el Comité Colombiano de Productores de Acero; panorama que lo convierte en uno de los referentes de la economía circular en el país. (Portafolio, 2021)

Esta reincorporación del acero se realiza gracias a sus características fisicoquímicas que le proporcionan un alto potencial de reciclaje ya que, después de su uso, es susceptible de ser fundido y reincorporado a la producción de nuevo acero. Varias de las plantas productoras de acero mezclan acero proveniente del reciclaje dentro de la producción de acero nuevo. En este caso, el residuo conocido como “chatarra” se despieza o se corta a tamaños de ocupación de horno y se funden en alto horno hasta lograr una colada donde prosigue el mismo proceso que el acero nuevo, que corresponde al de la mecanización o moldeo para la obtención de productos de consumo (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

El acero reciclado mantiene las propiedades inherentes del acero original. Estas propiedades pueden modificarse durante el proceso de fabricación de acero o mediante procesos mecánicos para crear miles de productos de acero. También se puede mejorar la calidad del producto en el reciclaje. El alto valor de la ‘chatarra’ de acero garantiza la viabilidad económica del reciclaje.

Los porcentajes de recuperación del acero lo posiciona como el material más reciclado del mundo con los siguientes porcentajes de recuperación según aplicación (Arquitecturaenacero.org, s.f.):

- 95% para automóviles
- 80% para construcción
- 70% para embalaje

Todo el acero producido en el mundo tiene un alto contenido de material reciclado que, dependiendo del proceso de producción, puede llegar desde 15% hasta más de 90%. Estos valores son de los más altos comparados con otros materiales de construcción.

Por cada tonelada de acero y hierro desguazado se evita la extracción de 1,5 toneladas de mineral de hierro. También los subproductos derivados de la fabricación del acero son completamente reciclados, y son reintroducidos en el ciclo de vida de los materiales (Siderúrgica Sevillana S.A., (s.f.)). Los materiales ferrosos son usados por ejemplo en la industria cementera y en la construcción de calles, el óxido de hierro es utilizado en la industria de los barnices y como material magnetizable para los discos duros. Las escorias siderúrgicas reemplazan caliza, grava y otros materiales similares.

Ilustración 19. Reciclaje de acero

Fuente: Imágenes tomadas de: (Siderúrgica Sevillana S.A., (s.f.))

6.6.2. Cemento

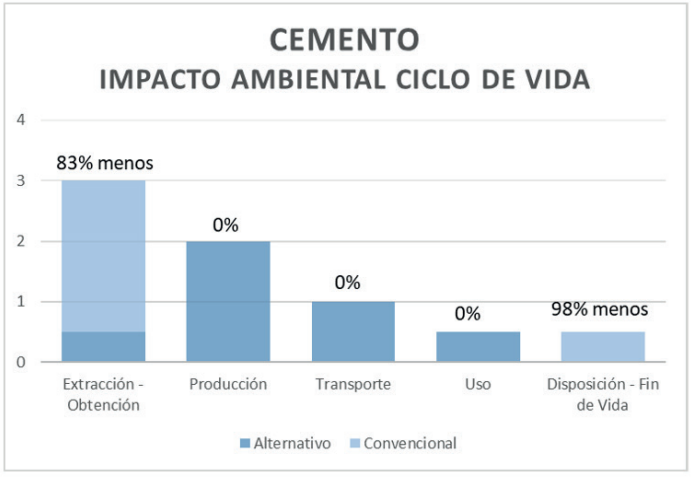
Utilizado masivamente desde la era romana en edificios de las más diversas escalas. Es casi imposible pensar en un edificio que no tenga al menos un elemento de concreto. De hecho, es el material de construcción más utilizado en el mundo debido a su versatilidad, resistencia, facilidad de manejo, valor accesible, estética, entre otros atributos. Sin embargo, al mismo tiempo su fabricación es uno de los principales contaminantes de la atmósfera, debido a que la industria del cemento emite alrededor del 8% de todas las emisiones globales de dióxido de carbono (CO_2). Según un estudio reciente de la BBC, la producción de cemento se ha multiplicado por treinta desde 1950 y cuadriplicado desde 1990, impulsada en parte por la construcción de posguerra en Europa y el auge de la construcción en Asia desde la década de 1990 en adelante. Se pronostica que para mantener el ritmo de las demandas en el sudeste asiático y el África subsahariana, la producción de cemento podría aumentar en un 25% para el 2030 (Walsh, 2019).

Si observamos de cerca la contribución de la industria de la construcción al empeoramiento del cambio climático, el concreto puede verse como uno de los principales villanos. Según Lucy Rodgers de BBC News, "si la industria del cemento fuera un país, sería el tercer emisor más grande del mundo, detrás de China y los Estados Unidos. Aporta más CO_2 que el combustible de aviación (2.5%), y no está muy lejos del negocio agrícola global (12%)" (Rodgers, 2018). En la Conferencia sobre Cambio Climático COP24 (Organización de las Naciones Unidas - ONU, 2018) se destacó que, para cumplir con los requisitos del Acuerdo Climático de París 2015, las emisiones anuales de cemento deben caer un 16% para el 2030 (Walsh, 2019).

El cemento más conocido a nivel mundial es portland, pero existen muchos tipos distintos de cemento con diferentes propiedades. Cementos especiales con propiedades particulares son comercializados para proyectos en ambientes marinos, construcción de represas y proyectos de diseño en construcción. Cerca del 95% del cemento manufacturado es utilizado para hacer diferentes tipos de concreto. Los otros usos del cemento son principalmente estabilización de suelos y estabilización del pH de lodos (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009).

El cemento portland es el cementante hidráulico usado en la industria de la construcción a nivel mundial. Proviene de la pulverización del clinker (roca caliza calcinada a 1.600 °C), el cual es mezclado con yeso en una proporción no mayor al 10% hasta alcanzar tamaños no mayores a 45 micrómetros, pero en promedio su tamaño es de 15 micrómetros. La roca caliza obtenida por extracción minera se transporta a la planta de producción y se procede a triturarla hasta homogenizar su tamaño para poder llevarla al molino de bolas donde se lleva al tamaño deseado. En algunos casos, es en este proceso donde se adiciona el yeso necesario para controlar el tiempo de fraguado, ya que, sin éste el cemento se fraguaría de inmediato al entrar en contacto con la humedad presente en el aire. Una vez surtido este proceso de mezclado con yeso, el material se empaca y se transporta a lugares de distribución o directamente a la obra. El cemento como aditivo de agregados finaliza su vida útil en sitios de escombrera como residuos de construcción y demolición pétreos (residuos con potencial de reincorporarse al ciclo de producción como agregado reciclado para nuevos usos) (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)). A partir del proceso de análisis realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el 2015 a través de la firma consultora Ingeniería, Investigación y Ambiente - IIA, se obtuvo la siguiente valoración, de acuerdo con los impactos ambientales analizados (ilustración 12).

Ilustración 20.Valoración y porcentaje de impactos ambientales del cemento producido de manera convencional a través de las etapas del ciclo de vida.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Una vez el cemento se haya usado para la producción de concreto, no es posible extraerlo para reciclarlo. No obstante, el concreto de desecho o de demolición, puede reciclarse en el proceso de fabricación de nuevo cemento en cantidades controladas, ya sea como materia prima alternativa para producir clínker o como aditivo, al moler el clínker con yeso y otros agregados.

En la siguiente tabla se muestra que es posible sustituir algunos insumos convencionales por insumos alternativos dentro del proceso de producción del cemento, acción con la cual se logra una reducción en el total de los impactos ambientales generados en el ciclo su vida (tabla 10).

Tabla 10. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción del cemento. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Agregados pétreos	80%	Cal residual de producción de acetileno, residuos de construcción y demolición	75%
Yeso	10%	Materiales puzolánicos: escorias y cenizas (residuos térmicos), ceniza de cascarilla de arroz, residuos de construcción y demolición	25%

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Cuando se sustituyen insumos convencionales por insumos alternativos en la elaboración de cemento, se presenta una reducción del 43% sobre el total de impacto valorados, porcentaje logrado principalmente en las etapas del ciclo de vida de extracción y disposición final del material (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Un ejemplo de sustitución de insumos fue realizado por un equipo de investigadores de la Universidad Politécnica de Valencia y de la Universidad Estatal Paulista Júlio de Mesquita Filho de Brasil, produciendo un nuevo cemento elaborado a base de ceniza de hueso de oliva y escoria originada en altos hornos[9]. Este cemento de activación alcalina presenta buenas condiciones mecánicas, lo que permite obtener resistencias suficientemente elevadas para su aplicación en construcción (unos 300 kg/cm2 a compresión), especialmente en prefabricados (Universitat Politécnica de Valéncia. UPV Innovación, 2017).

Entre sus novedades, los investigadores resaltan la sustitución del reactivo químico de síntesis (de precio elevado y con una significativa huella de carbono) necesario en otros cementos de activación alcalina investigados anteriormente, por la ceniza de hueso de oliva. Además, en la preparación de estos cementos no se requiere de altas temperaturas, tal y como ocurre con el cemento portland, donde son necesarias temperaturas superiores a 1.400 °C.

Ilustración 21. Cemento usando residuos de ceniza de hueso de oliva y escoria.

Fuente: (Universitat Politécnica de Valéncia. UPV Innovación, 2017)

9 En las pruebas realizadas hasta el momento, el cemento contenía aproximadamente un 20% de ceniza de hueso de oliva y un 80% de residuos de escoria.

Cementos alternativos al cemento portland

Las mayores ventajas de los cementos alterativos al portland son las siguientes: los costos de producción son menores, se requiere menor inversión de capital para comenzar a producir, y menos tecnología y equipos importados. También pueden producirse en pequeña escala para abastecer un mercado local, lo que da como resultado la reducción de los costos de transporte y un mayor grado de participación local en el suministro de materiales de construcción, con lo que se obtiene un mayor desarrollo de la industria local. Menores costos de producción significan menores precios para el consumidor, lo que permitiría a aquellos que no pueden comprar el cemento Portland, contar con un aglomerante de calidad. Algunos de estos cementos alternativos son:

Cal

Se puede encontrar dos formas de cal, cal viva y cal hidratada. "La cal viva es producida mediante el quemado de la roca que contiene carbonato de calcio (piedra caliza, mármol, tiza, etc.), a unos 1000 °C, por varias horas, en un proceso conocido como "calcinado" o simplemente "quemado". La cal viva es un producto inestable y ligeramente peligroso, por ello normalmente es hidratada o aflojada no sólo para darle mayor estabilidad, sino para que sea más fácil y segura de manejar. La cal hidratada se produce al agregar agua a la cal viva, las cuales se combinan químicamente formando un polvo seco y fino. Si la cal viva es hidratada con gran cantidad de agua y es bien agitada, se forma una suspensión lechosa conocida como lechada de cal. Una vez que se asientan los sólidos y se extrae el exceso de agua, queda un residuo pastoso llamado masilla de cal" (Practical Action, 1994).

La cal más requerida por la mayoría de las industrias es la cal pura o blanca, se caracteriza por tener un alto contenido de calcio. En la industria de la construcción, la cal es mezclada con agregados y agua para producir concreto o mortero de la manera usual. La masilla de cal generalmente produce morteros y enlucidos de excelente calidad y consistencia. Los morteros simples de cal y arena son débiles y cualquier esfuerzo de adhesión temprano es resultado del proceso de secado, pero la verdadera resistencia y dureza tienen lugar con el tiempo debido a la recarbonatación por la acción del CO_2 del aire sobre la cal. Tradicionalmente, los enlucidos de cal y yeso eran mezclados con pelo animal para mejorar la cohesión. Hoy es más común agregar yeso o cemento Portland o puzolanas para aumentar su durabilidad y obtener un tiempo menor de fraguado (Practical Action, 1994).

Puzolanas

Las puzolanas son materiales que, aunque no son cementantes en sí mismos se combinan químicamente con la cal en presencia del agua para formar un fuerte material cementante. Se consideran puzolánicos: las cenizas volcánicas, cenizas de plantas generadoras de energía y arcilla calcinada, cenizas de algunas plantas industriales y tierras silíceas, entre otros (Practical Action, 1994).

Ilustración 22. Residuos agroindustriales al ser transformados en cenizas reactivas.

Fuente: Fotografia de Andrés Almeida / UN., (2015). Imagen disponible en: (residuosprofesional.com). disponible en: https://www.residuosprofesional.com/aprovechan-residuos-agroindustriales-para-producir-cemento-mas-resistente/

Los materiales que no están en forma de polvo fino se tienen que moler, y algunos necesitan calcinarse a unos 600 °C a 750 °C para optimizar sus propiedades puzolánicas. Las puzolanas pueden mezclarse con cal o cemento portland para reducir costos y mejorar la calidad del concreto (Practical Action, 1994).

Yeso

Es un mineral abundante y se necesita de una temperatura aproximada de 150 °C para convertirlo en un material aglomerante muy útil. También conocido como yeso hemihidratado o yeso de Paris, que mezclado con agua fragua de forma muy rápida. Para dar más tiempo para su aplicación, se agregan 5% de cal y 0.8% de sustancia retardante como cola (extractos conseguidos del hervido de huesos de pescado, cascos de animales o cuernos) para retardar el fraguado. Este tipo de yeso de París se puede usar solo o en una mezcla con tres partes de arena limpia y se le puede agregar cal hidratada para aumentar su resistencia y durabilidad ante la humedad; también se le puede reforzar usando diversos materiales fibrosos desde juncos hasta fibra de vidrio picada. El recubrimiento de yeso no resiste bien la humedad y se usa normalmente para ambientes interiores (Practical Action, 1994).

Otros aglomerantes alternativos

El azufre es usado como aglomerante alternativo en la región del golfo Pérsico, donde un millón de toneladas por año son extraídas de plantas de gas natural en los Emiratos Árabes. En otros lugares como la Isla Santa Lucía (en el Caribe), se emplea el azufre que se acumula alrededor de las fumarolas de los volcanes. Una combinación del 15% al 25% de azufre derretido a 130 °C con 5% de un aditivo orgánico, y de 75% a 85% de arena o de otro agregado mineral previamente calentado a 160 °C o 170 °C, puede ponerse en un molde y vaciado en unos 5 minutos. El aditivo se emplea principalmente para proveer durabilidad. El concreto de azufre se utiliza por su rapidez en endurecer, por su resistencia a la corrosión o porque el cemento portland es más costoso, escaso o poco práctico (en temperaturas bajo 0 °C, por ejemplo) (Practical Action, 1994).

El barro se obtiene de la mezcla de tierra mezclada con agua, que ha sido y es empleado como material aglomerante. El barro desarrolla una adhesión bastante fuerte con ladrillos horneados o secados al sol, y resulta satisfactorio siempre que esté protegido de las lluvias. Resulta práctico utilizar

morteros de barro en paredes interiores y morteros de cal o cementante en exteriores. Los mejores suelos para la construcción contienen arena y arcilla, de tal modo que sería necesario mezclar dos tipos diferentes de suelo para obtener óptimos resultados. Tradicionalmente los morteros de barro se mejoran agregando materia orgánica como paja y estiércol de vaca (Residuosprofesional, 2017).

Química verde

El concepto de química verde está asicado con la prevención de la contaminación ambiental mediante el diseño de procesos y productos químicos que no posean propiedades dañinas para con el medio ambiente (Universidad Pontificia Bolivariana -UPB, 2019). La "química verde" [10] diseña productos y procesos químicos que reducen o eliminan el uso o la generación de sustancias peligrosas; los principios se aplican durante el ciclo completo del producto que incluye: diseño, fabricación, uso y almacenamiento final. Los cementos alternativos, siguen rutas químicas diferentes a las del cemento portland y son más ecológicas (Cornejo, 2017).

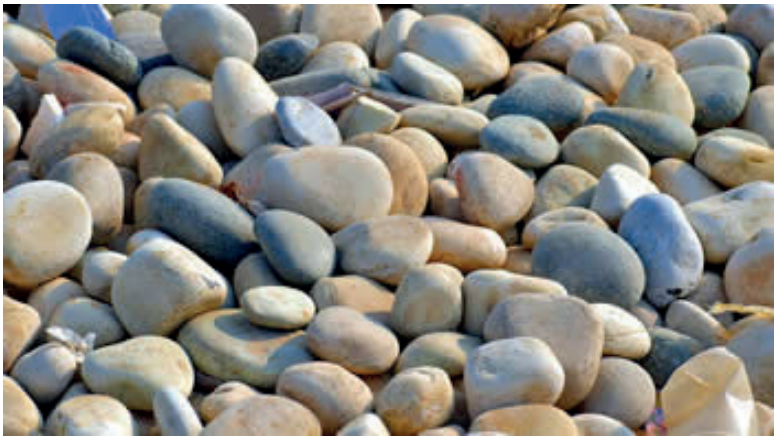
"Los cementos belíticos son cementos muy bajos en CO_2, en los que el clinker es rico en la fase belita C_2S ($2CaO.SiO_2$) (50 – 60%). Con numerosas propiedades que lo promueven para ser una alternativa al cemento portland" (Cornejo, 2017).

Los cementos supersulfatados pueden ser sustitutivos del cemento portland en diversas aplicaciones; son cementos ecológicos muy bajos en carbono que reducen las emisiones de CO_2 hasta un 90%, por lo que se consideran cementos muy próximos a los cementos de carbono cero (Cornejo, 2017).

El cemento novacem (cemento basado en óxido de magnesio, que emite menos cantidad de CO_2) es una de las alternativas más prometedoras para producir un nuevo cemento de carbono cero o negativo, distinto del cemento portland, y contribuir así, de manera eficaz a reducir el CO_2 en la atmósfera y evitar el calentamiento global (Cornejo, 2017).

6.6.3. Materiales pétreos

Ilustración 23. La piedra de origen natural es un material de bajo costo y muy abundante, por lo que su uso en la industria de la construcción es casi generalizado.

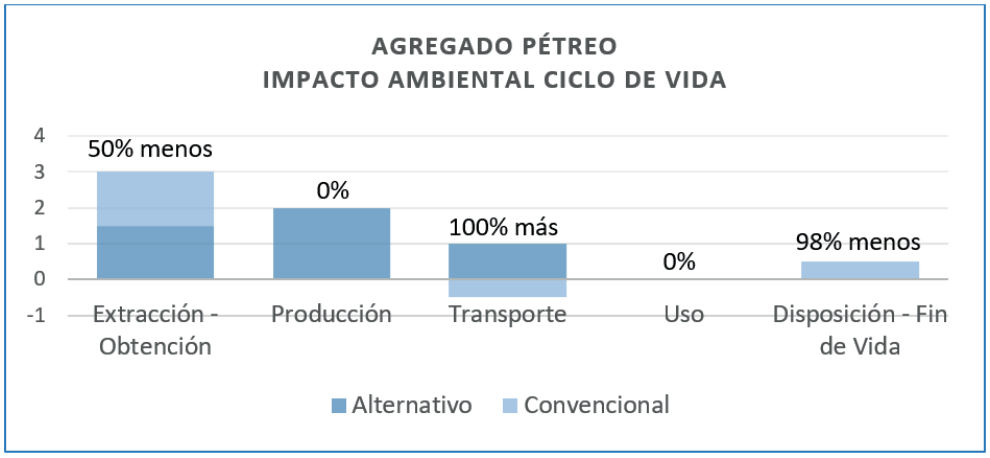


10 La 'química verde' es una vertiente de la ciencia dirigida hacia el diseño de productos y procesos químicos que impliquen la reducción o eliminación de productos nocivos.

Los materiales pétreos en su mayoría son usados en la construcción especialmente en las etapas de mejoramiento de la capacidad portante del suelo, cimentación y estructura. También son usados como agregados en la preparación de morteros y otros subproductos. En la construcción de vías aportan un 100% de los materiales que se utilizan para su conformación estructural. En su proceso de extracción se genera un alto impacto ambiental, debido a los métodos de explotación, triturado y cribado, procesos que generan alto flujo de material particulado.

Para efectos comparativos, en la etapa de transporte de materias primas y de materiales a los sitios de construcción, las distancias se valoraron de forma equitativa, tomando la misma distancia para todos los materiales. Sin embargo, debido al masivo uso de agregados pétreos en la construcción, el impacto se ve reflejado por el volumen de material requerido, situación que se muestra en el incremento del número de viajes requeridos para disponer del material en sitio. Por otra parte, el material en su fin de vida es llevado a sitios de disposición final, escombrera o relleno sanitario, generando contaminación del suelo (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Ilustración 24. Valoración y porcentaje de impactos ambientales de los agregados pétreos producido de manera convencional Vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Como se muestra en la siguiente tabla los insumos convencionales pueden ser sustituidos por residuos de construcción y demolición, disminuyendo de esta manera, impactos generados en el ciclo de vida del material.

Tabla 11. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción del agregado pétreo. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo.

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Agregados pétreos	100%	Residuos de construcción y demolición	100%

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Al sustituir las materias primas convencionales por materias primas alternativas dentro del proceso de elaboración de agregados pétreos, se logra una reducción de impactos ambientales en un 25%. Este proceso se puede realizar de manera alternativa a partir de la trituración de concreto, ladrillos y agregados pétreos de demoliciones de edificaciones e infraestructura que han llegado a su fin de vida, residuos comúnmente conocidos como residuos de construcción y demolición. Las materias primas alternativas deben pasar por un proceso de trituración y cribado. El uso de residuos para la producción de agregados se cuantifica como un beneficio ambiental, por la desviación de los flujos de residuos que van a disposición final y son utilizados como materia prima, valorizando así el residuo generado (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

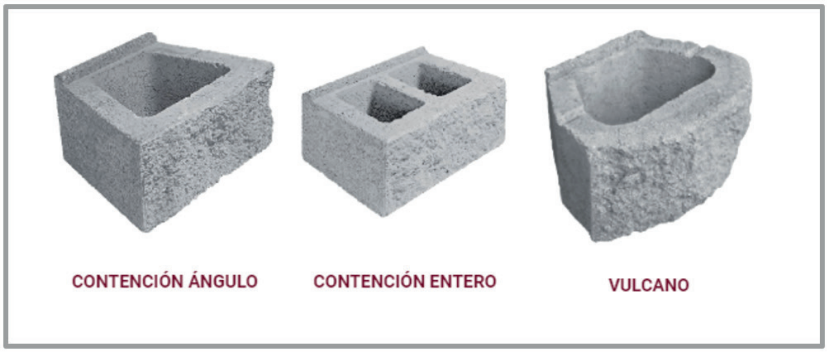
Algunos de los agregados pétreos son los resultantes de la pulverización mecánica de las capas de pavimento. En el caso de la ciudad de Bogotá, las condiciones para el uso de agregados pétreos en infraestructura vial están descritas en las Especificaciones Técnicas Generales ET-IC-01 del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2019).

Ilustración 25. Agregados: gravillas y arenas.

Fuente: (Universidad del Valle, 2005)

Otro ejemplo del reciclaje de agregados pétreos son los bloques fabricados con mezclas compuestas por agregados pétreos (Indural, 2019).

Ilustración 26. Bloques para contención y paisajismo.



Fuente: Indural (2019)

Finalmente, también es posible que la producción de morteros, adhesivos y estucos secos, se realicé a partir de tecnologías de transformación y reutilización de residuos sólidos industriales y residuos de construcción y demolición. Los agregados son los resultantes de la selección y trituración mecánica del concreto hidráulico reciclado.

Ilustración 27. Adhesivos, cerámicos, estucos y morteros.

Fuente: (Universidad del Valle, 2005)

6.6.4. Concreto

Es el segundo material más consumido después del agua y moldea nuestro entorno. Es un material que puede conservarse por cientos de años, sin embargo, las necesidades humanas cambian y dichos cambios generan desechos o residuos, tan solo en Europa, se generan más de 900 millones de toneladas por año. El concreto puede ser recuperado: puede ser triturado y reutilizado como agregado en nuevos proyectos (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009).

El concreto es una mezcla de cemento portland, material pétreo (agregado fino, agregado grueso), aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades definidas, especialmente en resistencia. El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, formando un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias llamadas aditivos, que sirven para mejorar o modificar algunas propiedades del concreto (Montalvo Peña, 2001, pág. 4).

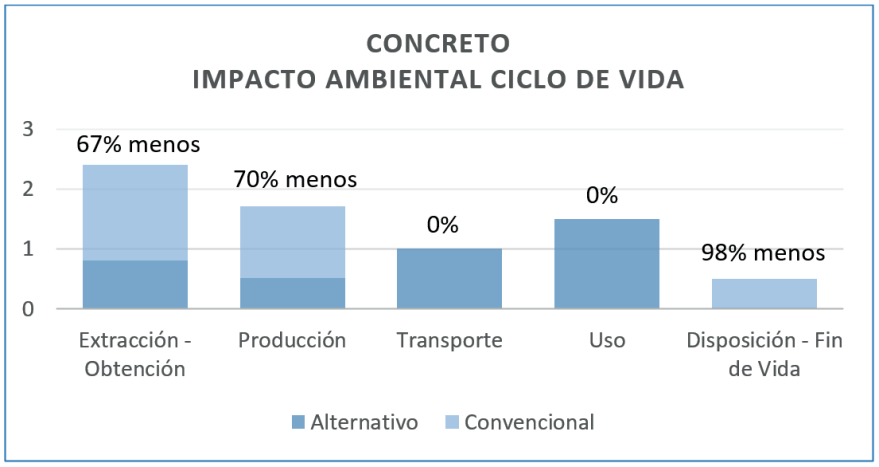
La industria del cemento ha venido considerando el reciclaje de concreto como un componente de las mejores prácticas para el desarrollo sostenible. El reciclaje o recuperación del concreto presenta dos ventajas principales: (1) reduce la utilización de nuevos agregados vírgenes y los costos ambientales de explotación y transporte y asociados, y (2) reduce el desecho innecesario de materiales valiosos que pueden ser recuperados y reutilizados (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009). A pesar de estas ventajas, el reciclaje de concreto no tiene un impacto significativo en la reducción de la huella de carbono. La principal fuente de emisiones de carbono en el concreto está en la producción del cemento. No es viable separar el contenido de cemento en el concreto para su reciclaje o reutilización como nuevo cemento, por lo que no es posible reducir las emisiones de carbono por medio del reciclaje de concreto (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009).

Para cada una de las iniciativas de reciclaje de concreto es necesario realizar un completo análisis del ciclo de vida. Aunque muchas veces la meta es el reciclaje total, el impacto global y la utilización óptima de los materiales siempre deben ser considerados. Refinar la recuperación puede resultar

en un producto de alto grado, pero a un mayor costo ambiental. En la actualidad, la mayoría del concreto recuperado es utilizado como sub-base en proyectos de infraestructura vial. Desde la perspectiva de la sostenibilidad, estos usos de grados relativamente bajos proporcionan los mejores resultados (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009).

A continuación, se evidencian los impactos ambientales generados a través de las etapas del ciclo de vida de la producción del concreto a partir del uso de insumos convencionales o alternativos.

Ilustración 28. Valoración y porcentaje de impactos ambientales del concreto producido de manera convencional Vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida



(Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Como se muestra la siguiente tabla, es posible sustituir insumos convencionales por alternativos, en el proceso de producción de concreto.

Tabla 12. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción del concreto. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Agregados pétreos	80%	residuos de construcción y demolición	80%
Cemento	20%	Cemento alternativo	20%

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Cuando se sustituyen insumos convencionales por alternativos, se logra una reducción del 47% en el total de impactos ambientales, generados en las etapas de producción y disposición final del ciclo de vida del material.

Datos relacionados con la recuperación de concreto [11]

Tabla 13. Datos relacionados con la recuperación del concreto

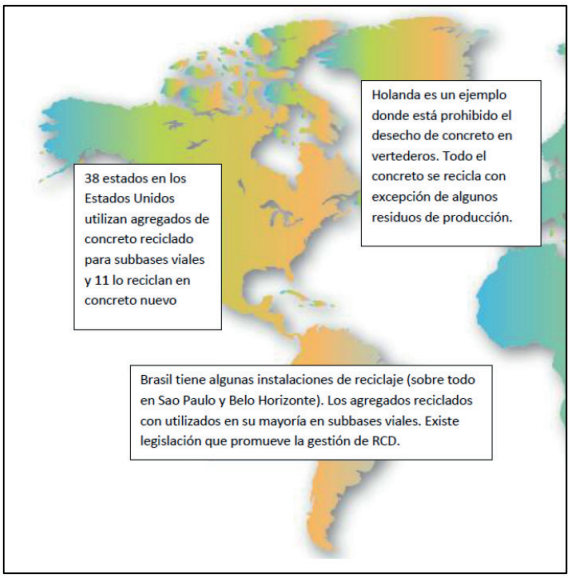
Se estima que en el mundo se fabrican alrededor de 25 billones de toneladas de concreto cada año, eso representa más de 1.7 billones de cargas de camiones anuales, o cerca de 6.4 millones de cargas diarias, o más de 3.8 t/persona en el mundo cada año
La cantidad de concreto utilizado en construcción dobla la cantidad del resto de materiales, incluyendo madera, acero, plástico, y aluminio
Cerca de 1,300 millones de toneladas de desechos son generadas en Europa cada año, de las cuales el 40% (510 millones de toneladas), corresponden a residuos de construcción y demolición. Estados Unidos produce cerca de 325 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición y Japón unos 77 millones
Dado que China e India están produciendo y consumiendo más del 50% del concreto en el mundo, su generación de desechos también será significativa a medida que su desarrollo avanza
Muchos países tienen esquemas de reciclaje para residuos de construcción y demolición y se alcanzan altos niveles de recuperación en países como Holanda, Japón, Bélgica y Alemania. Actualmente, los diferentes métodos de cálculo y la disponibilidad de información dificultan la comparación entre países
El concreto recuperado a partir de residuos de construcción y demolición puede ser triturado y utilizado como agregado. Su uso más común es como subbase vial. También puede utilizarse en concreto nuevo
Las devoluciones de concreto (concreto fresco, húmedo, devuelto a la planta de premezclado como exceso) también pueden reciclarse exitosamente. Existen instalaciones de recuperación en muchos sitios de producción en el mundo desarrollado. Más de 125 millones de toneladas son generadas cada año
El reciclaje de concreto reduce la explotación de recursos naturales y costes asociados de transporte; también reduce volumen de desecho de concreto en rellenos sanitarios o escombreras municipales. No obstante, su impacto sobre la reducción de emisiones de gases con efecto invernadero es muy limitada, ya que la mayoría de las emisiones se generan durante la fabricación del cemento, y no es posible reciclar cemento por sí solo
Los esquemas de construcción verde reconocen la recuperación de residuos de construcción y demolición y apoyan la utilización de materiales reciclados incluyendo concreto reciclado

Fuente: elaborado a partir de información tomada de: (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009)

11 Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento (CSI, por sus siglas en inglés) – 18 compañías líderes que trabajan juntas por una mayor sostenibilidad, bajo el auspicio del Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD).

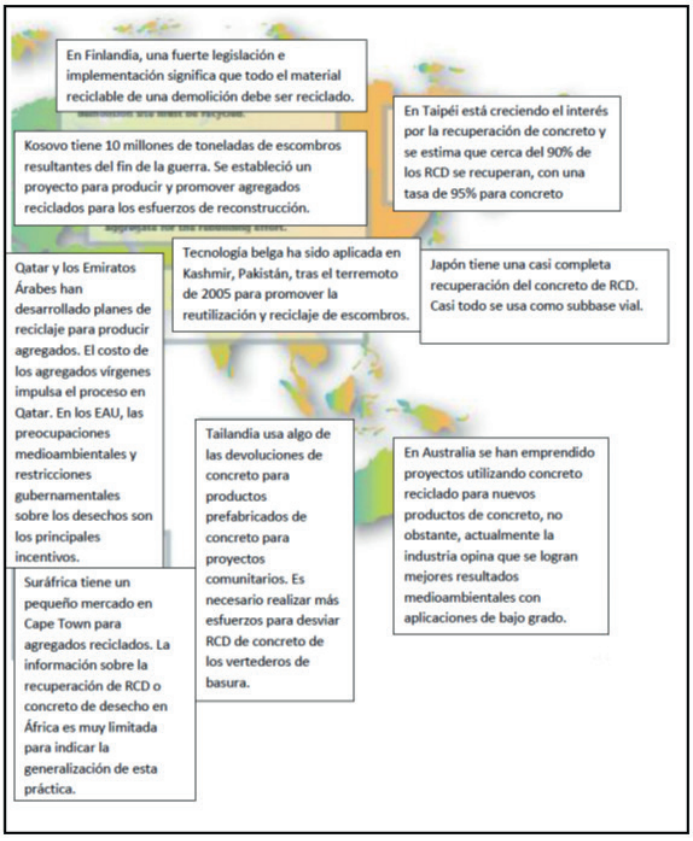
¿Qué se está haciendo en el mundo para recuperar el concreto?

Ilustración 29. Ejemplos de utilización de residuos de construcción y demolición a nivel mundial



Fuente: (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009)

Ilustración 30. Ejemplos de utilización de residuos de construcción y demolición a nivel mundial



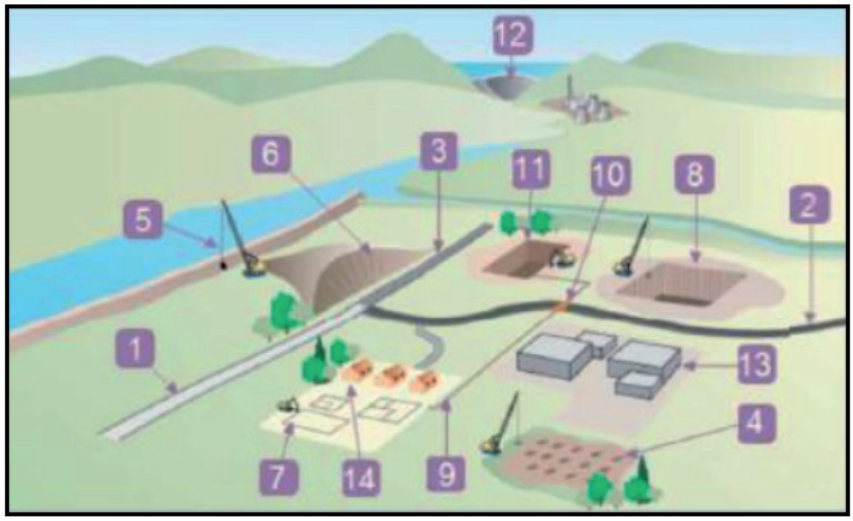
Fuente: (Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible – WBCSD, 2009)

El concreto puede reciclarse de desechos de producción, de desechos de devoluciones de mezcladoras y de desechos de construcción y deconstrucción. Los desechos de deconstrucciones son la fuente más significativa y al mismo tiempo la más problemática ya que, el concreto por lo general está mezclado con otros materiales de desecho de construcción y deconstrucción y, por otra parte, es difícil saber la preparación e historial de la mezcla original del concreto (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009).

Los agregados reciclados tienen múltiples aplicaciones en la construcción, como se ilustra a continuación:

1. Vía de concreto	9. Servicios públicos
2. Vía de asfalto	10. Rehabilitación de servicios públicos en vías
3. Vías de conglomerados hidráulicos	11. Subestructuras de concreto
4. Mejoras del suelo	12. Estructuras de concreto
5. Excavaciones – terraplenes	13. Edificaciones (industriales)
6. Excavaciones – zanjas	14. Edificaciones (residenciales
7. Bases superficiales	
8. Bases profundas	

Ilustración 31. Los agregados reciclados tienen múltiples aplicaciones en la construcción, como se ilustra a continuación



Fuente: tomado de:Iniciativa por la sosteniblidad del cemento. Reciclando Concreto. Disponible en: https://docs.wbcsd.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf. (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009)

Ventajas y desventajas del uso de concreto reciclado en la actualidad

Tabla 14. Ventajas y desventajas de la utilización del concreto reciclado

Tema	Desventaja	Ventajas
Costo del material vs. agregados naturales	Bajo costo de los agregados vírgenes en algunos países	Los impuestos sobre agregados naturales y sus costos de transporte pueden ser mayores a aquellos de los agregados reciclados. Los costos totales del proyecto pueden reducirse en la medida en que se pagan menos impuestos y tarifas sobre el vertimiento de residuos de construcción y demolición cuando el material es recuperado y no desechado
Disponibilidad del material	Oferta irregular de residuos de construcción y demolición	Los residuos de construcción y demolición usualmente se encuentran en áreas urbanas cercanas a proyectos de construcción y desarrollo. Los materiales vírgenes por lo general necesitan transportarse desde lugares más alejados
Infraestructura para procesamiento	Se necesitan planes de manejo de residuos de construcción y demolición *in-situ* Puede necesitarse la clasificación de residuos de construcción y demolición El concreto recuperado de alto valor requiere de procesos costosos	Una vez la infraestructura se ha establecido, unidades móviles de separación e instalaciones especializadas pueden generar retornos atractivos
Opinión pública	Percepciones equívocas sobre la menor calidad del concreto recuperado Se cree que los materiales nuevos son de mejor calidad	La creciente preocupación por el medio ambiente estimula una mayor demanda por productos ecológicos y la reutilización de materiales
Leyes, regulaciones y estándares aceptados en la industria	La clasificación de concreto recuperado como desechos puede incrementar la cantidad de permisos y reportes necesarios. Se pueden imponer limitaciones adicionales a su uso	Leyes que incentiven el reciclaje, impuestos a las escombreras municipales y políticas de abastecimiento verde por parte de grandes usuarios pueden promover el uso de concreto reciclado

Tema	Desventaja	Ventajas
Impactos ambientales	La tecnología de procesamiento para la recuperación del concreto debería considerar posibles impactos de polución atmosférica y auditiva, lo mismo que el consumo de energía, aunque difiere muy poco del procesamiento de agregados vírgenes	En el contexto de un análisis del ciclo de vida, el uso de concreto recuperado puede disminuir el impacto ambiental en general - No utilizar materiales recuperados incrementa los costos ambientales y de salubridad asociados a una mayor generación de desperdicios - No aprovechar materiales recuperados implica el uso de materiales vírgenes en su lugar - Por lo general, el concreto recuperado suele ser inerte - En algunos casos, la necesidad de transporte del concreto reciclado es inferior a la de materiales vírgenes (que por lo regular están alejados de áreas de desarrollo urbano) reduciendo así el consumo de combustibles, la emisión de CO_2 y el uso de vías y vehículos
Propiedades físicas	Para aplicaciones especiales (Ej.: concreto de alto rendimiento) hay algunas limitaciones en la idoneidad de su uso La tecnología puede ser un limitante de las opciones de reciclaje	El concreto reciclado tiene un buen desempeño en la mayoría de las aplicaciones

Fuente: eaborado a partir de información tomada de (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009)

El concreto *in-situ* y el concreto prefabricado juegan un papel clave en el diseño de planes de desmantelamiento

Concreto *in-situ:* con frecuencia se cree que el concreto *in-situ* no tiene muchas aplicaciones para su reutilización o posibilidades de recuperación. No obstante, las edificaciones con losas de concreto postensado pueden ser reutilizadas y modificadas según las necesidades. Si el edificio es demolido, un registro o etiqueta en el concreto detallando sus componentes puede ayudar a su posible futuro reciclaje. Algunas veces los diseños indican que esto es una degradación del material, ya que el agregado de concreto reciclado se usa para proyectos como, por ejemplo, subbase vial. No obstante, como se ha mencionado, la mejor solución ambiental global no necesariamente requiere reprocesamiento refinado y es posible lograr un ciclo cerrado del uso de materiales.

En el mercado existen materiales para la conformación de muros de contención, los cuales son fabricados en un 100% de material de concreto reciclado. Con estas condiciones de reciclabilidad, se obtiene un elemento de producción masiva que es capaz de disminuir los escombros generados en la ciudad a razón de 46 toneladas por cada 100 m^2 de muro de contención o de jardín vertical que se construya (Concretodo, 2019).

Ilustración 32. Ecomuro.

Fuente: Concretodo (2019)

Losas prefabricadas

Los diseños deberían considerar el uso de losas prefabricadas que puedan ser desmanteladas y reutilizadas. Se debe evitar el uso de rellenos como polietileno para evitar posibles obstáculos en el posterior reciclaje de los materiales. La producción de prefabricados en concreto está regida por la NTC 6093.

Existen prefabricados para el desarrollo de proyectos de infraestructura, tanto en formatos livianos como en gran formato, que incluyen prefabricados normalizados como: bordillos y sardineles, barreras, cunetas, bermas, tubería en concreto reforzada, sistemas de sumidero y traviesas. Además de otros prefabricados como, box culvert, vigas, losas, columnas, dovelas, muros de contención, entre otros (Concretodo, 2019). Todos estos elaborados en concreto con un porcentaje de material recuperado y, se rige por la NTC 6093 “Criterios ambientales para prefabricados en concreto”.

Ilustración 33. Tubos, sardineles y bolardos.

Fuente: Concretodo (2019)

Tecnologías emergentes

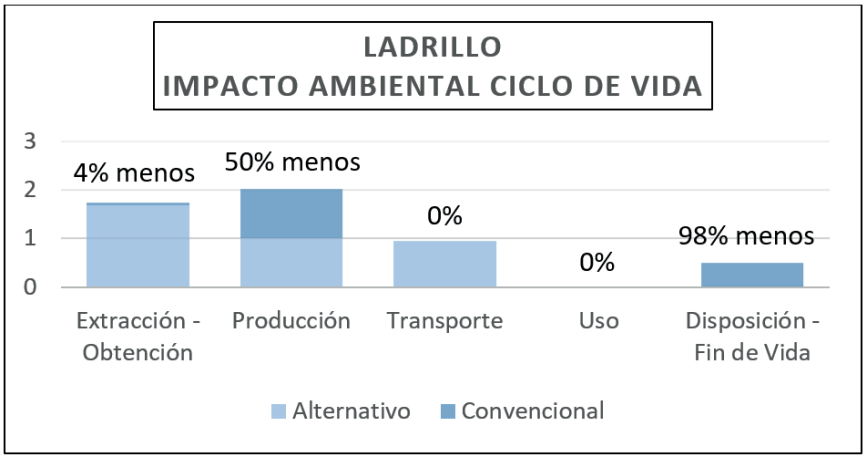
Aunque no son viables comercialmente en el presente, algunas de las tecnologías emergentes incluyen:

- **Construcción de circuito cerrado utilizando energía térmica y mecánica**. La Universidad de Tecnología Delft (Delft University of Tecnology) de países bajos, junto con la Organización de los Países Bajos para la Investigación Científica Aplicada, (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research), están trabajando en un innovador concepto de construcción de ciclo cerrado en el que los escombros de concreto y albañilería se separan en agregados gruesos y finos y, piedra de cemento utilizando la energía mecánica y térmica derivada de la fracción combustible de los residuos de construcción y demolición (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009).
- **Descomposición eléctrica del concreto**. Para separar el concreto (o rocas), se necesita tensión cortante por medio de un choque de onda. La tecnología convencional utiliza fuerza mecánica. Es posible utilizar energía térmica (arriba) o eléctrica en su lugar. La energía eléctrica puede ser utilizada para crear pulsaciones. En la actualidad, los costos iniciales de instalación hacen que su uso sea privativo; no obstante, aplicaciones de nicho se pueden beneficiar de esta tecnología en donde se realicen actividades altamente repetitivas. También es necesario considerar los impactos ambientales de utilizar energía eléctrica (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009).
- **Microondas**. La tecnología de microondas también puede utilizarse para triturar concreto (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009)

6.6.5. Ladrillo

El ladrillo ha mantenido desde tiempos remotos su principio de fabricación. Este consiste en extracción minera de arcillas que se trituran y homogenizan en tamaño mediante molienda y tamizaje a fin de separar piedras y materiales indeseables en la elaboración de la pasta. Una vez preparado este insumo se procede a adicionar minerales que modifican las características del material cerámico según se requiera (ladrillos refractarios, recocidos, vitrificados, etc.). A esa mezcla se le adiciona agua en mezcladora mecánica horizontal y se lleva a la máquina extrusora que les da forma a los ladrillos, para luego ser llevados a la zona de secado, donde la pasta pierde casi la totalidad del agua. De allí se lleva al horno, donde se cuece a aproximadamente 800°C de temperatura, se saca y se almacena para su transporte final. Después de su uso en la construcción (se calcula un tiempo de duración de vivienda aproximado a los 50 años debido a la dinámica de transformación urbana y no a la capacidad del material. La durabilidad de un ladrillo puede ser de más de 2.000 años) se dispone en escombrera, desconociendo el potencial de reciclaje como insumo para la elaboración de agregados finos (arenas) para morteros de construcción, y como materia prima para la elaboración de cementos de bajo carbono (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Ilustración 34. Valoración y porcentaje de impactos ambientales del ladrillo producido de manera convencional Vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Es posible sustituir los insumos convencionales por alternativos para la producción del ladrillo, tal y como se muestra en la siguiente tabla: esta acción permite alcanzar una disminución en el total de impactos generados en las etapas del ciclo de vida del material.

Tabla 15. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción del ladrillo. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Agua	10%	Agua	10%
Arcillas	85%	Arcilla de excavación de obra	80%
Arena	5%	Cal residual de producción de acetileno	5%
		residuos de construcción y demolición	5%

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Al realizar la sustitución de insumos convencionales por alternativos, se puede lograr una reducción del 30% de impactos sobre el total de los generados en todo el proceso de producción del material. El porcentaje logrado se da principalmente en la reducción de impactos en las etapas de extracción, producción y disposición final. Esta sustitución se realiza a través de un procedimiento alterno para la producción de los ladrillos, la cual se basa en la estabilización geo polimérica, con la que se han logrado resultados que llevan los adobes o ladrillos de arcillas crudas a especificaciones técnicas del ladrillo cocido, eliminando uno de los mayores problemas asociados a la producción tradicional de cerámicos de mampostería.

Para este proceso se pueden utilizar arcillas de excavación de obra debidamente caracterizadas, que normalmente son consideradas un residuo inservible. Las arcillas se separan y homogenizan en tamaño, luego se mezclan con los aditivos mencionados hasta lograr una pasta que simplemente secada al sol se puede usar en mampostería. Esto supone un bajo impacto en la producción de

material de mampostería debido a la eliminación de la etapa de cocción del material, al igual que el uso de arcillas de excavación o residuo que mejora el panorama ambiental en reducción en disposición de residuos (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Un ejemplo en la sustitución de insumos convencionales son los bloques auto ensamblables con resistencia compresiva, sísmica y a la intemperie, que adicionalmente mejoran el aislamiento térmico y acústico. Su principal uso se da en edificaciones de baja altura. Estos productos cumplen con las características de las diferentes normas técnicas colombianas, NTC 4026 y 4076 (Bsecomaterials, 2019).

Ilustración 35. Bloque legobrick.

Fuente: Bsecomaterials (2019)

También son ejemplo de esta sustitución los bloques tradicionales para uso estructural y no estructural bajo las normas NTC 4026 y 4076. Para esta línea, se diferencian en la sustitución de la mezcla en un 80% a 90% agregados provenientes de los desechos de la construcción y de la industria (BSECOMATERIALS, 2019). La producción de ladrillos sostenibles está reglamentada por la NTC 6033.

Ilustración 36. Bloques estructurales y para mampostería.

Fuente: Concretodo (2019)

Ladrillos ecológicos

Ilustración 37. Ladrillo ecológico

Fuente: (Ecología Verde, 2019)

Los ladrillos ecológicos son aquellos cuya fabricación no supone un impacto ambiental tan grande como el de los convencionales. Tanto el tipo de materiales empleados como su proceso de fabricación y funcionalidad pueden determinar que los sean.

Hay que reconocer que cada vez son más las iniciativas ecológicas que intentan reinventar o reemplazar los ladrillos tradicionales utilizando materiales sostenibles o propiciando una sostenibilidad reduciendo consumo de energía y de la huella de carbono.

Tabla 16. Ejemplos de ladrillos ecológicos, ventajas y desventajas

ALGUNOS EJEMPLOS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS
Los ladrillos de cenizas de carbón inventadas por Henry Liu en 1999 son una estupenda manera de reciclar las cenizas generadas en las centrales térmicas de carbón, al tiempo que se aprovechan sus altas temperaturas para su fabricación.
Una versión similar (en fase de prototipo) es el ladrillo negro propuesto por un equipo del Instituto de Tecnología India-Madrás - MIT liderado por Laracy, Michael y Poinot, Thomas, que proponen fabricarlos a partir de los residuos que produce la industria del papel en la India. Su objetivo es conseguir una alternativa al tradicional ladrillo de arcilla roja para que aquel país no siga consumiendo sus recursos naturales, al tiempo que pueden aprovechar estos desechos.
También son muy conocidos los ladrillos de cáñamo y paja o de cáscara de cacahuete. En ambos casos se obtienen ladrillos muy resistentes con grandes propiedades aislantes.
El Instituto Tecnológico de Massachusetts, en colaboración con el Lawrence Livermore National Laboratory, propone un novedoso material tan ligero como el aerogel, también denominado humo congelado. Es capaz de soportar hasta 160.000 veces su propio peso y puede producirse fácilmente con impresión 3D.
También están aquellos ladrillos que no tienen un inventor conocido, y utilizados gracias al voz a voz, en esto, el internet tiene buena parte del mérito. Es el caso, por ejemplo, de los ecoladrillos elaborados con residuos domésticos, como los ladrillos de plástico reciclado, ideales para hacer un muro o una casa pequeña. Para ello, se utilizan botellas de plástico en las que introducen arena u otros residuos no orgánicos, como papel, cartón o bolsas de plástico. El objetivo es rellenarlas con materiales que aporten resistencia a las botellas. Una vez conseguido, se agrupan en un molde en el que vacía cemento para rellenar los huecos, de ese modo, cuando se seca se logra conseguir ladrillos de buen tamaño.
VENTAJAS DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS
Menor afectación para la naturaleza, ya que su fabricación requiere menos energía y residuos, así como pueden reciclarse materiales de desecho.
Son mejores aislantes del frío y del calor exterior, con lo que se gasta menos energía en el hogar

ALGUNOS EJEMPLOS DE LADRILLOS ECOLÓGICOS
En algún caso son más económicos que los convencionales, pero cuando no es así, al ser mejores aislantes, el ahorro de energía amortiza la diferencia.
Los materiales de los ladrillos ecológicos hacen que éstos sean más ligeros y manejables para el trabajador, agilizando los tiempos de construcción y disminuyendo los gastos.
DESVENTAJAS DE LOS LADRILLOS ECOLÓGICOS
Al ser productos que no tienen una utilización a gran escala, en algunas zonas aún no se consiguen y hay que pedirlos.
No existen variedades decorativas como en los ladrillos convencionales, que permiten decorar fachadas, muros, jardines, etc.

Fuente: (Ecología Verde, 2019)

Ilustración 38. Ladrillo ecológico

Fuente: (Ecología Verde, 2019)

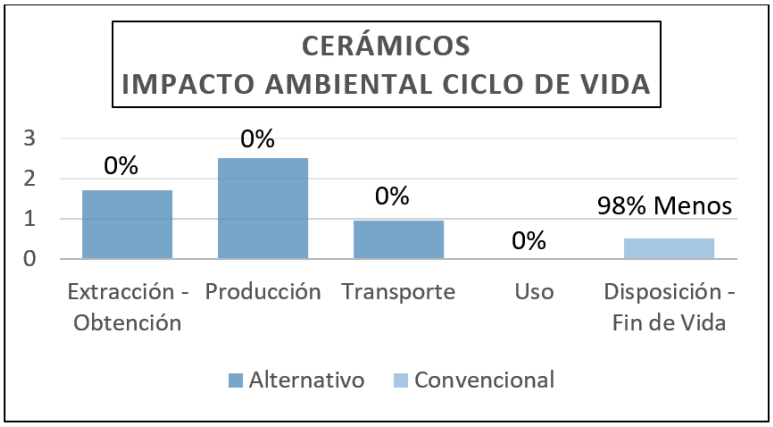
Ilustración 39. Casas con ladrillo ecológico

Fuente: imagen: arquitecturayempresa.es. Ecología Verde. (2019) Cómo hacer ladrillos ecológicos con botellas de plástico. Disponible en: https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-ladrillos-ecologicos-con-botellas-de-plastico-1872.html. (Ecología Verde, 2019)

6.6.6. Cerámicos

El proceso de producción de cerámicos de enchape o revestimiento se inicia con la extracción de arcillas de diverso tipo, entre ellas el caolín. Estos materiales secos se homogenizan en su tamaño (por trituración gruesa, molienda por molinos de martillos o súper fina por molinos de bolas), separándolos por medio de zarandas mecánicas con mallas de tamaños adecuados, lo que permite elaborar una pasta fina y sin grumos. Posteriormente son llevados a mezcladoras donde se adicionan minerales de diverso tipo (genera características específicas para los diferentes tipos de materiales resultantes, como material de gres o vitrificados, porcelanas, etc.) y agua de amasado. En ese punto se moldea y se seca por evaporación para su posterior cocción en horno. En el caso del enchape, una vez horneado, se pinta o barniza con materiales especiales y se vuelve a hornear para obtener el acabado deseado. En el caso de la cerámica sanitaria sucede de igual manera y, la diferencia radica en los tiempos de secado preliminar y la consistencia de la pasta original. El final de su vida útil es similar al de la cerámica de mampostería o ladrillo, y tiene el mismo potencial de reciclaje o aprovechamiento (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Ilustración 40. Valoración y porcentaje de impactos ambientales de los cerámicos producidos de manera convencional Vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

La siguiente tabla muestra que para el caso de los cerámicos los insumos convencionales no son sustituibles. Sin embargo, se logra una disminución en el total de impactos a través del reciclaje.

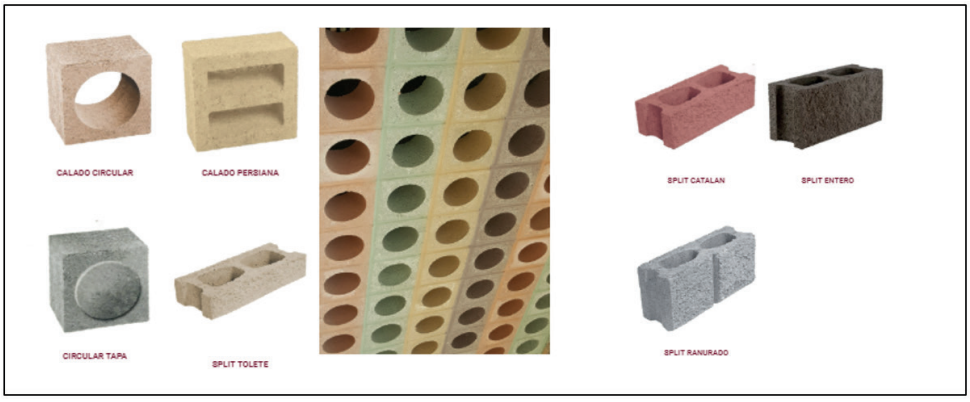
Tabla 17. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción de cerámicos. Porcentaje en peso para cada insumo convencional

INSUMOS	
Agua	8%
Arcillas	80%
Arena	5%
Caolín	5%
Óxidos metálicos (color)	2%

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

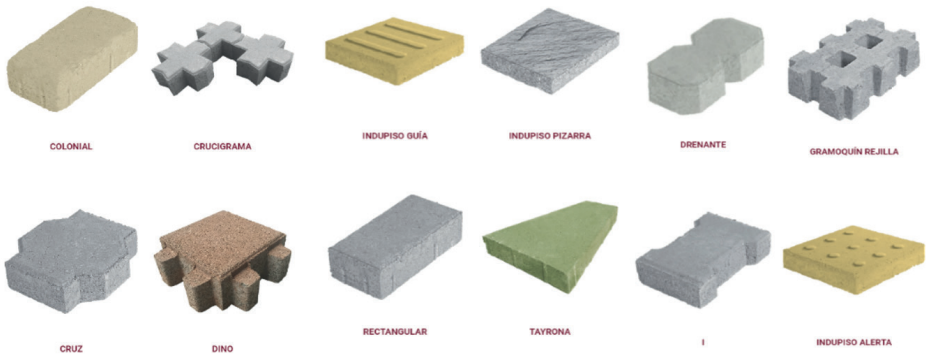
El material cerámico, bien sea ladrillos, bloques, enchapes y sanitarios, tienen un alto potencial de reciclaje en la medida en que, por simple trituración y molienda, se adicionan en la producción de agregados finos (arenas) elaboradas a base de residuos de construcción y demolición[12], pero pueden aumentar su potencial al poder ser utilizados como materia prima para la elaboración de cementos alternativos, aprovechado las condiciones puzolánicas que poseen algunas arcillas sometidas a cocciones con temperaturas que van entre 700 y 800 °C. En este caso se selecciona el residuo de construcción y demolición y se somete a trituración y molienda a fin de obtener un material con un tamaño por debajo de 4mm que se considera como una arena gruesa para morteros de piso, y por debajo de 2mm para lograr una arena menos gruesa usada para morteros de recubrimiento, pañetes o revoques (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)). Al realizar estos procedimientos, la reducción de impactos en el ciclo de vida del material es del 9 %. A partir del reciclaje de residuos de construcción y demolición de material cerámico de ladrillos, bloques, enchapes y sanitario se elabora el material de mampostería conocido como "calado", que es básicamente un bloque que posee sólo perforaciones transversales que permiten el paso parcial de luz y aire. Se utilizan como cierres no estructurales, para jardines, muros divisorios, cocinas, entre otros. También se obtienen bloques tipo *Split*, que son estructurales, divisorios, arquitectónicos, decorativos, para aislamientos acústicos, barreras contra fuego o cerramientos (Indural, 2019). Las normas que reglamentan estos bloques son las NTC 4026 y 4076.

lustración 41. Bloques tipo split y calados.



Fuente: (Indural, 2019)

Ilustración 42. Losetas y adoquines.



Fuente: (Indural, 2019)

12 Residuos de Construcción y Deconstrucción

También se obtienen adoquines fabricados con mezclas compuestas por agregados pétreos provenientes de residuos de construcción y demolición (Varón, Sierra, & Bedoya, 2011). La NTC 6024 contiene la línea base establecida para baldosas cerámicas.

También se producen enchapes para acabados arquitectónicos que combinan materiales pétreos, reciclados de concreto, piedra molida y pigmentos (Indural, 2019).

Ilustración 43. Fachadas y pisos.

Fuente: (Indural, 2019)

6.6.7. Drywall

Se denomina genéricamente *drywall* al sistema constructivo de muros secos ensamblados sobre una estructura metálica liviana. Estos muros están compuestos por paneles de dos tipos, uno de fibrocemento y otro de placa yeso. En el caso del fibrocemento, el proceso consiste en una mezcla de minerales provenientes de extracción minera como el carbonato de calcio, fibra de vidrio o crisotilo con cemento portland, celulosa y agua. Dichos materiales se homogenizan y dosifican para llevarlos a la mezcladora donde se prepara la pasta que se moldea en láminas y se transporta por cinta a la mesa de prensado, donde, mediante la aplicación de una presión superior a 4.000 libras se da la forma final al producto, ya sean láminas planas u onduladas.

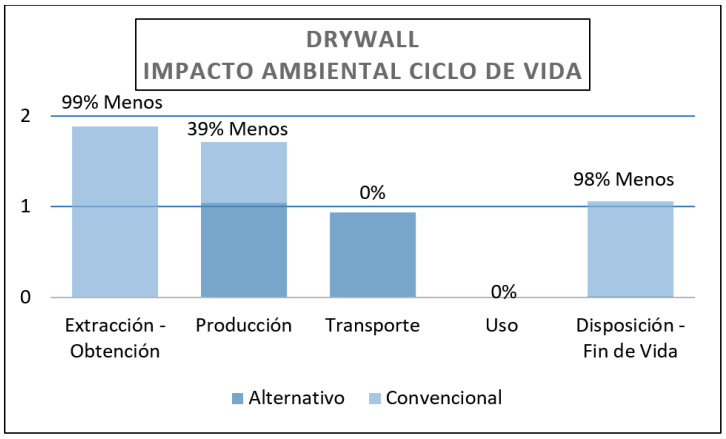
Ilustración 44. Construcción de techos, paredes y ornamentos en drywall

Fuente: imagen tomada de HomeSolution, (2021) https://homesolution.net/blog/drywall-que-es-ventajas-y-desventajas/

En el caso de la placa yeso el procedimiento es diferente, ya que las materias primas son el papel y el yeso (sulfato de calcio) que, preparado en una mezcla rica en agua (lechada) es vertido entre dos láminas de papel que ruedan por una cinta de transporte suficientemente larga (120 m), lo que permite un secado preliminar hasta llegar a la cortadora que separa láminas de medidas estandarizadas en 2,44 m x 1,22 m. Una vez cortadas se apilan y se secan para su transporte final. Una de las cualidades de este sistema constructivo es su velocidad de construcción y los bajos costos, razón por la cual su vida útil es inferior a los sistemas de mamposterías tradicionales como el ladrillo (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Al realizar la valoración de impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del *drywall*, se obtienen los siguientes porcentajes en reducción (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)):

Ilustración 45. Valoración y porcentaje de impactos ambientales del drywall producido de manera convencional Vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

De acuerdo con la siguiente tabla, es posible sustituir insumos convencionales por alternativos, en el proceso de producción del *drywall*.

Tabla 18. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción del drywall. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Cartón	12%	Cartón reciclado	12%
Yeso	88%	Yeso reciclado	88%

Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

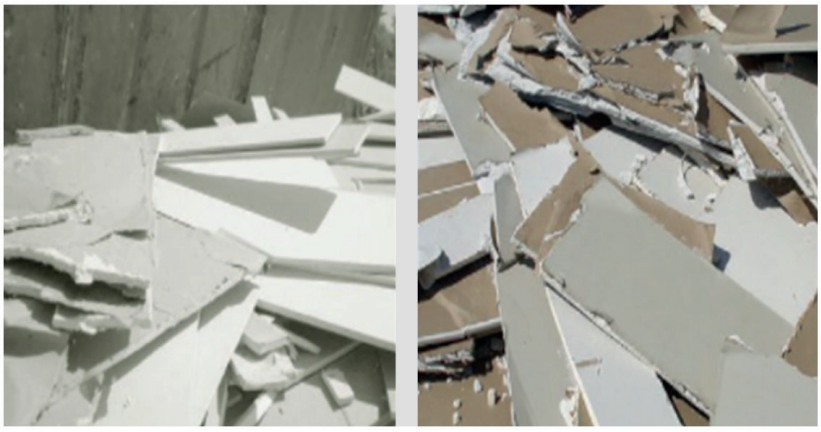
Al realizar el cierre del ciclo mediante el reciclado de las placas de yeso, se presenta una reducción de impactos ambientales del 65% en las etapas de extracción, producción y disposición final (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Reciclaje

El potencial de reciclaje de las placas de fibrocemento radica en la posibilidad de recuperación de materias primas para la industria agrícola (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

La placa yeso al ser un material sin mayores complicaciones de composición, puede reciclarse para la obtención de yeso y de cartón. Con el paso de los años la industria del reciclaje ha incluido los residuos de *drywall* dentro del aprovechamiento, especialmente para productos agrícolas, ya que las placas de *drywall* están compuestas en un 85% de yeso-sulfato de calcio dihidratado (CaSO4 2H2O); más conocido como yeso agrícola usado para tratar suelos ácidos. En Bogotá, por ejemplo, ya existen empresas dedicas al aprovechamiento del *drywall* con fines agrícolas, generando materia prima que se utiliza para la producción de insumos agrícolas como abono y compost para tratar algunos tipos de suelo. (Maat Soluciones Ambientales, 2021). Para ello, se tritura y separa el material con el cuidado de evaluar la presencia de aditivos, posteriormente es procesado a través de maquinaria especializada que tritura los residuos, y permite la separación del papel y/o cartón con el fin de que el yeso quede clasificado y limpio. Se requiere de sistemas mecánicos que eviten la dispersión de material particulado, ya que la baja dureza del material genera alta concentración de polvo en el ambiente (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Ilustración 46. Láminas de Drywall susceptibles de aprovechamiento.



Fuente: Imágenes Maat Soluciones Ambientales, 2021. Disponibles en: https://www.maat.com.co/drywall-circular/ (Maat Soluciones Ambientales, 2021)

En general podemos decir que el *drywall* es un material difícil de reciclar, por lo que en la mayoría de los casos se desechan en los rellenos sanitarios o escombreras.

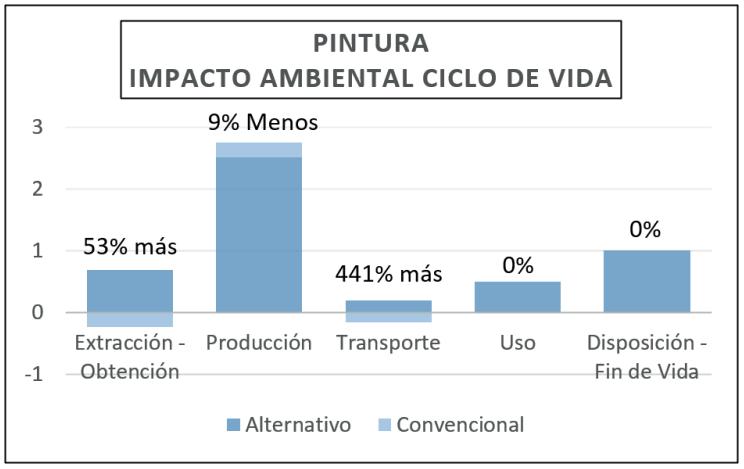
En Estados Unidos y Europa existen iniciativas que regulan el reciclaje de las placas de yeso laminado. En estos países ya se logra cerrar completamente el ciclo de vida del material y los usuarios responsables de los procesos ya segregan perfectamente en obra las placas de yeso laminado del resto de residuos de construcción o deconstrucción. Sin embargo, aún hay mucho camino por recorrer (Fernández, 2013).

6.6.8. Pintura

Las pinturas se diferencian por su uso (interior, exterior; mampostería, maquinaria, etc.) y ello define su composición. En la planta de producción se establece el tipo de pintura a elaborar como, lacas, esmaltes, vinilos, acrílicas, bituminosas, entre otros. Según el tipo se dosifican los componentes, se preparan en mezcladoras verticales de baja velocidad hasta logar las consistencias requeridas y homogeneidad de composición y color, para su envase y transporte final a distribución o uso. Normalmente los insumos (carbonato de calcio, cal, talco, caolín, dióxido de titanio, etc.) provienen de fuentes mineras. Los pigmentos pueden provenir de diferentes fuentes que incluyen minerales y vegetales. Y los disolventes, que entre los más comunes se encuentra el agua, que normalmente se usa para pinturas vinílicas, acrílicas o plásticas; el aguarrás que es un disolvente genérico para barnices y pinturas sintéticas elaborado a base de hidrocarburos alifáticos y terpenos; el aceite de trementina, es un disolvente de origen vegetal resultante de la destilación de una oleorresina de especies coníferas y se usa para modificar la viscosidad de pinturas sintéticas, y finalmente, los disolventes sintéticos, suelen estar compuestos por una mezcla de cetonas e hidrocarburos y se usan para diluir pintura sintética (MontóProfesional, s.f.). Su vida útil es la de la construcción, aunque por ser de uso superficial están expuestas a agentes atmosféricos que las deterioran y deben repararse o reemplazarse. No tienen reciclaje y se incorporan en la deconstrucción a los agregados (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)).

Como se muestra en la siguiente tabla, es posible sustituir algunos insumos convencionales por alternativos en el proceso de producción de las pinturas. Sin embargo, para el caso particular de las pinturas fabricadas con cal y residuo lácteo sucede lo contrario, es decir, que la valoración de impactos tiene un incremento de un 3%, a diferencia de lo que sucede generalmente con otros materiales, donde se identifica una reducción en el total de impactos ambientales al sustituir insumos convencionales por alternativos en otros materiales.

Ilustración 47. Valoración y porcentaje de impactos ambientales de las pinturas producidas de manera convencional Vs alternativo a través de las etapas del ciclo de vida.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

Sin embargo, hay otras soluciones o alternativas que son traídas de antiguas tradiciones populares que suponen bajos impactos ambientales, fundamentalmente al no usar solventes y adhesivos derivados del petróleo. Es el caso de las pinturas obtenidas de la adición de gel de *Aloe* u otro

tipo de mucílagos (sustancia vegetal viscosa) a la cal disuelta en agua; esta técnica se usó en Centroamérica y hoy se pueden apreciar frescos y superficies pintadas con esta técnica de más de ochocientos años. Igualmente, el uso de líquidos residuales de la industria lechera para apagar cal viva permite producir caseína que debidamente adicionada con pigmentos, puede ser usada como pintura de alta resistencia al agua por su composición (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)). En Colombia la NTC 6018 de 2015 (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC, 2013), define los criterios ambientales aplicables a pinturas y materiales de recubrimiento, con el fin de promover el uso y desarrollo de técnicas y tecnologías sostenibles.

Tabla 19. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción de pinturas. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Cargas minerales	18%	Cargas minerales	18%
Adhesivo a base de acetato de polivinilo - PVA	24%	Residuo lácteo	12%
		Cal residual de producción de acetileno	12%
Solvente thinner	25%	Solvente thinner	25%
Solvente varsol	33%	Solvente varsol	33%

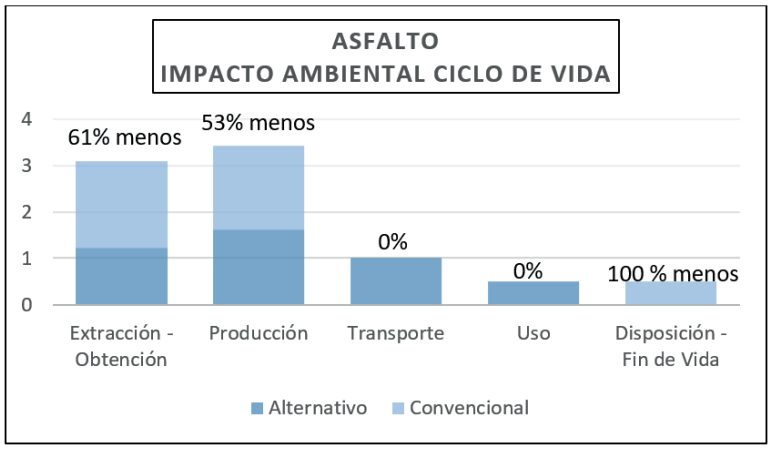
Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

6.6.9. Asfalto

El asfalto es un derivado bituminoso de la refinación del petróleo. También se encuentra en la naturaleza como asfalto natural en lugares de yacimientos petroleros que se mezclan con gravas y arenas vírgenes.

El asfalto artificial se produce mezclando en caliente el bitumen con agregados finos (arenas) y gruesos (gravas) para obtener un concreto asfáltico, que se usa como carpeta de rodadura en obras viales. Tiene potencial de reciclaje al permitir dosificar con bitumen el resultante triturado de carpeta asfáltica o usar como agregados los productos de la trituración de residuos de construcción y demolición (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)). Igualmente es posible modificar la temperatura de producción del bitumen (Material altamente viscoso de color negro formado por diversas sustancias orgánicas, principalmente hidrocarburos).

Ilustración 48. Valoración y porcentaje de impactos ambientales del asfalto producido de manera convencional Vs alternativa a través de las etapas del ciclo de vida.



Fuente: (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar))

En la siguiente tabla se muestra que es posible sustituir los insumos extraídos de yacimientos petroleros por insumos alternativos, logrando así una disminución en los impactos ambientales:

Tabla 20. Comparativo de insumos convencionales Vs alternativos usados para la producción del asfalto. Porcentaje en peso para cada insumo convencional y alternativo

INSUMOS CONVENCIONALES		INSUMOS ALTERNATIVOS	
Agregados pétreos	80%	residuos de construcción y demolición	20%
		llanta	31%
Emulsión asfáltica	20%	emulsión asfáltica	49%

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)

La sustitución de insumos convencionales por insumos alternativos en la elaboración de asfalto logra una reducción de impactos ambientales del 49% dado principalmente en las etapas de extracción, producción y disposición final.

Ilustración 49. Asfalto de caucho.

Fuente: IncoAsfaltos (2015)

Reciclaje y mezclas asfálticas tibias

Las plantas de procesamiento de asfalto Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EE. UU. (Environmental Protection Agency, 2000), son una de las principales fuentes de contaminación del aire, identificando contaminantes como, formaldehído, hexano, fenol, materia orgánica policíclica y tolueno. En labores de transporte y almacenamiento se liberan compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y partículas condensadas muy finas (Arencibia Junco, 2013). El procesamiento resulta muy peligroso debido a la presencia de solventes como el tolueno, xileno y nafta, además de estireno, asbestos y sílice. Igualmente, se pueden producir humos, gases y vapores que contienen sustancias letalmente tóxicas, como son el sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, arsénico, benceno y cadmio. Las plantas de asfalto caliente generan un gran impacto de contaminación, principalmente a nivel atmosférico (Arencibia Junco, 2013).

El reciclaje de asfalto puede hacerse de dos maneras, (i) redosificando con emulsión asfáltica la carpeta asfáltica demolida en el mantenimiento vial y homogenizada en tamaño mediante trituración. Esta redosificación puede ser en caliente o en frío, dependiendo del tipo de emulsión que se use. Incluso se han adelantado trabajos de investigación para la recuperación de emulsiones de los lodos petroleros generados en la explotación en los pozos y, (ii) mediante el uso de agregados pétreos de diverso tamaño provenientes de la trituración y selección de residuos de construcción y demolición aprovechados en plantas de reciclaje (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015 (sin editar)). Si bien el asfalto de caucho (tipo de asfalto alternativo) no está disponible de forma masiva en Colombia, constituye una buena opción de sustitución, ya que se obtiene a partir de la reutilización de llantas desechadas, las cuales son molidas y procesadas hasta lograr las condiciones aptas para su combinación con la mezcla asfáltica y su aplicación a la mezcla de grano de caucho reciclado puede hacerse por medio seco o medio húmedo, es decir, mezclando el material molido directamente como parte de los agregados o del asfalto, respectivamente (Benítez Bustamante, 2013).

Las mezclas asfálticas tibias son un tipo de mezcla que requiere temperaturas de producción más bajas (20% menos) en comparación con las mezclas asfálticas en caliente. El objetivo de las mezclas tibias es disminuir considerablemente las emisiones de gases y polvo al medio ambiente durante el proceso de producción y colocación, manteniendo las mismas propiedades mecánicas de una mezcla en caliente, tales como la resistencia a la humedad y a la deformación permanente, así como sus propiedades a la fatiga (Pinedo, García, Barros, Vesga, & Cormane, 2015).

Las técnicas más usadas para preparar mezclas asfálticas tibias son cuatro: (1) reducción de la viscosidad utilizando aditivos orgánicos. (2) asfaltos espumados. (3) tecnologías con bases acuosas. (4) uso de aditivos químicos, se caracteriza por el uso de aditivos químicos como emulsificantes, que se adicionan a una base acuosa y luego es mezclada con altos contenidos de asfalto para obtener la emulsión (Pinedo, García, Barros, Vesga, & Cormane, 2015).

La reducción de las temperaturas en las mezclas asfálticas, brindan beneficios, como:

- Reducción en el uso de combustibles para la producción de mezclas asfálticas.
- Facilidad en la compactación de pavimentos asfálticos.
- Incremento en el uso de pavimentos asfálticos reciclados dentro de las mezclas.
- Mejor ambiente de trabajo para los operarios en sitio.
- Reducción o eliminación de gases y olores.
- Eliminación del envejecimiento prematuro del ligante asfáltico.
- Permite una apertura más rápida al tránsito.

Una alternativa en el país es la implementación de este tipo de mezclas asfálticas tibias, donde con algunas modificaciones en las plantas de producción existentes es posible obtener mezclas asfálticas que brindarían grandes beneficios y una importante reducción en costos. Por otra parte, es importante generar incentivos para su fabricación y utilización (Ulloa Calderón, 2011).

7. Innovación tecnológica y buenas prácticas en el sector

Cuando se desea romper viejos paradigmas, innovar y cambiar prácticas que se han convertido en obsoletas y perjudiciales para la conservación del medio ambiente, es necesario que se muestren nuevas formas de actuar en sociedad; es aquí donde la economía circular cumple su papel.

7.1. FACTORES DE CAMBIO PARA LA ECONOMÍA CIRCULAR

La transición a una economía circular requiere cambios fundamentales en muchas áreas diferentes del sistema socioeconómico actual. A continuación, se identifican algunos de los factores instrumentales, técnicos, económicos o sociales más importantes que guían y aceleran el proceso de transición: (Cerdá & Khalilova, s.f. p.12).

Tabla 21. Modelos innovadores de negocio

Sistemas productos - servicios	Hace referencia a la mezcla de productos tangibles y servicios intangibles, diseñados y combinados de manera que conjuntamente sean capaces de satisfacer las necesidades finales del consumidor
Segunda vida de materiales y productos	La segunda vida de materiales y productos funciona cuando una compañía puede recuperar y reacondicionar de manera eficiente sus productos después de su uso y poner los mismos productos en el mercado. Por ejemplo, las materias primas secundarias
Transformación de producto	No todos los productos pueden reacondicionarse en su totalidad, pero la mayor parte de productos tienen ciertos componentes que tienen un alto valor y utilidad para reutilizarse
Reciclaje 2.0.	La innovación en tecnología de reciclaje está evolucionando rápidamente y hace posible la producción de bienes de alta calidad con resultados muy favorables a partir de materiales reciclados que los hace sostenibles
Consumo colaborativo	El consumo colaborativo (o economía colaborativa) se define como una interacción entre dos o más personas, que satisface una necesidad real o potencial de alguna (o algunas) de ellas. Se distinguen tres sistemas de consumo colaborativo: 1) mercados de redistribución: cuando se toma un artículo usado que tenía dueño y se pasa de un lugar en el que no es necesario a otro lugar o a otra persona donde si lo es, pero sin que se tenga que poseer el producto, 2) estilo de vida colaborativo: intercambio de recursos como dinero, habilidades y tiempo, 3) servicio de producto: pagar por el beneficio del producto

Fuente, modificado de: CERDÁ Y KHALILOVA, s.f. p. 13.

Ecodiseño y diseño para la sostenibilidad (Cerdá & Khalilova, s.f. p.14)

- No utilizar sustancias tóxicas.
- Minimizar el consumo de energía y de recursos.
- Aprovechar las posibilidades estructurales del producto y de los materiales, con el fin de minimizar el peso del producto sin comprometer su funcionalidad, flexibilidad o solidez.

- Promover larga duración para los productos.
- Invertir en materiales de calidad.
- Facilitar y promover la actualización, reparación y reciclaje.
- Utilizar el mínimo de elementos de unión. tener en cuenta diferentes impactos ambientales del uso de tornillos, soldaduras, encajes y bloqueos.

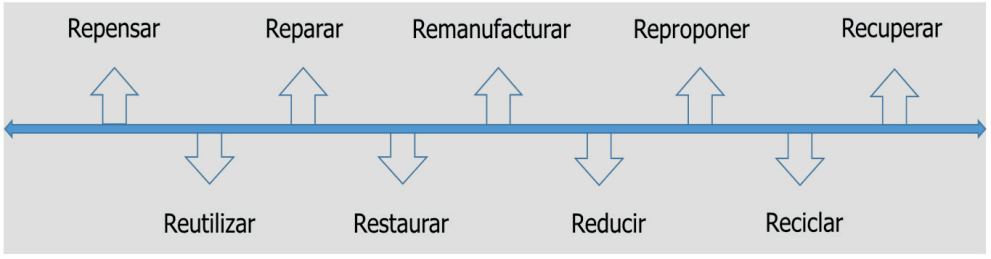
Programas de prevención de residuos y medidas para prolongar el tiempo de vida útil de productos

Tabla 22. Programas de prevención

Fabricar para durar
Acondicionamiento, renovación
Transacciones dando un artículo usado como parte de pago de otro artículo
Actualización del producto
Repuesto. Se trata de reemplazar una función que se agota más rápidamente que el producto. Por ejemplo: el caso de volver a llenar un recipiente
Reparación

Fuente: elaborada a partir de información tomada de: (Cerdá, s.f., pág. 14)

Programas de prevención de residuos (9R)



Estos factores son esenciales para lograr la correcta transición a una economía circular, ya que se requiere de cambios fundamentales para acelerar el proceso de transición y hacerlo efectivo.

7.2. BUENAS PRÁCTICAS IDENTIFICADAS EN EL MARCO DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

La incorporación de la economía circular debe abordarse desde todos los sectores de la sociedad; no es tarea exclusiva de los organismos del Estado o de las instituciones públicas, ni tampoco de las organizaciones no gubernamentales en materia medioambiental. En tal sentido, hay empresas o entidades que se encuentran ya aplicando prácticas respetuosas para con el medioambiente, contribuyendo significativamente a la economía circular. En estas experiencias se puede ver que el sistema productivo está en una transición.

7.2.1. Casos exitosos a nivel internacional

A continuación, se exponen algunos ejemplos de empresas y proyectos españoles que ya han cambiado o están adaptando sus modelos de negocio a la lógica de la economía circular:

Pavimentos que utilizan tecnología fotocatalítica, acción que contribuye a la descontaminación del aire, a partir del uso de prefabricados de concreto.

“Baldosas que funcionan como árboles y absorben las partículas contaminantes del aire. Esto es lo que desarrolló recientemente una empresa española para purificar el aire que respiramos cada día en nuestras ciudades” (Asocreto, s.f.).

“A través del departamento de I+D y la colaboración de la Universidad de Twente (Holanda), se desarrolló una tecnología implementada en un prefabricado de concreto de alta resistencia que, además de cumplir su función arquitectónica y estética, contribuye activamente a la eliminación de contaminantes de la atmósfera” (Asocreto, s.f.).

El material prefabricado es capaz de “transformar en productos inocuos para la salud humana y el medio ambiente, las emisiones contaminantes suspendidas en la atmósfera. Los resultados de la transformación son transportados por la lluvia y el viento beneficiando a la vegetación, evitando a su vez, que el pavimento se degrade a lo largo de su vida útil” (Asocreto, s.f.).

El material se considera un pavimento sostenible, teniendo en cuenta que utiliza en su fabricación un 30% de material reciclado. Es el único pavimento con patente propia y el único producto certificado que garantiza su capacidad de degradar óxidos de nitrógeno en clase 3 (máxima descontaminación), cumpliendo con la norma UNE 127197-1:2013 con el N° de certificado PR-1253-057” (Asocreto, s.f.). “El sistema utiliza la energía solar como fuente de activación del proceso descontaminante, realizando una función similar a la fotosíntesis de las plantas y su efecto permanece inalterable a lo largo de su vida” (Asocreto, s.f.).

El pavimento ha instalado en más de 200 obras en los países de España y Francia. “Las pruebas de eficacia realizadas hasta el momento demuestran que elimina, por término medio, un 60% de contaminantes urbanos, especialmente óxidos de nitrógeno, contaminantes orgánicos volátiles y partículas (al reducir la formación de aerosoles secundarios)” (Asocreto, s.f.).

Ilustración 50. Prefabricados de concreto que absorben partículas contaminantes del aire

Fuente: Tomado de Asociación Colombiana de Productores de concreto, [Asocreto], (s.f) https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/pavimento-con-tecnologia-fotocatalitica?id=166

Asfaltos modificados con polvo de neumáticos o llantas

Los asfaltos modificados con gránulos de llantas son una estrategia que en España viene desarrollándose desde el 2007, cuando el gobierno español decidió que, a partir de ese momento, las carreteras públicas que fueran adjudicadas deberían construirse utilizando polvo de caucho de neumáticos viejos en el asfalto.

Entre otros claros ejemplos de casos éxitos en el mundo, se destacan:

- ANFEVI: empresa española donde el vidrio puede volver a reciclarse sin perder sus propiedades originales.
- CETAQUA: impulsa el uso de agua regenerada.
- ECOEMBES: promueve la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente a través del reciclaje.
- TECNALIA: aprovechamiento de recursos materiales en construcción, productos ecológicos, generación de residuos orgánicos.
- Proyecto LIFE ECORKWASTE: pretende revalorizar el corcho para la creación de energía eléctrica, también minimizar el impacto del uso de productos químicos. Experimenta con prácticas de tratamiento de agua y generación de energía.
- REDISA: una empresa que recicla llantas tiradas en Sudáfrica.
- SUSTAINER HOMES: crea casas con materiales reciclados, especialmente madera certificada, y materiales de alta calidad que requieren poco o ningún mantenimiento.
- MINIWIZ: empresa taiwanesa que convierte la basura (electrónica y arquitectónica) en materiales de construcción.
- TARKETT: compañía francesa que construye superficies deportivas alternativas

La guadua es otra opción incluida dentro de los materiales que se consideran sostenibles, sus cualidades han sido exploradas y hoy sirve también para la construcción de láminas o paneles capases de resistir grandes pesos. Países como Japón, México y Brasil lideran proyectos residenciales a base de guadua (Castro, 2013).

7.2.2. Casos exitosos a nivel nacional

Sin duda, en el país hay trabajo adelantado, pero el impulso de la economía sostenible debe continuarse. Para cumplir con este objetivo es necesario que exista articulación entre los diferentes actores que conforman el sistema productivo, para aprovechar el potencial existente alrededor de la economía circular. Los siguientes son algunos casos de éxito.

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

En los ámbitos regional y nacional hay necesidad de impulsar la cultura del uso de los residuos sólidos industriales y residuos de construcción y demolición como materias primas, con el objetivo de transformarlos y producir a partir de ellos materiales de construcción de alta calidad y a menor costo (Secretaría Distrital de Ambiente, 2016). Actualmente en Colombia existen empresas que se dedican a la producción de materiales para la industria de la construcción, que resultan ser amigables para con el ambiente.

Entre esas empresas se encuentran las que cuentan con centros de aprovechamiento, transformación y generación de productos, aplicando procesos de investigación y desarrollo que permiten crear materiales de construcción con alto valor agregado a partir de la valorización y reciclaje de residuos de construcción y demolición aprovechables, produciendo materiales de construcción con el cumplimiento de las normas técnicas vigentes.

Entre los elementos y materiales alternativos de construcción que se producen actualmente en el país se encuentran los diferentes tipos de agregados (gravas y gravillas) usados para la elaboración de morteros y concretos; base y sub bases estabilizadas para uso en estructuras viales; arenas finas para la elaboración de morteros de mampostería; elementos prefabricados en concreto tales como bancas, sardineles, bordillos, entre otros elementos definidos para obras de espacio público y equipamiento urbano; ladrillos y bloques para uso en mampostería; adoquines y losetas como material de acabado en obras de espacio público; elementos de maderas plásticas o sintéticas para cerramientos; parques infantiles; puentes; casetas; pérgolas; tapas y rejillas para sumideros; pisos exteriores; materiales para acabados arquitectónicos; pinturas para demarcaciones y acabados de muros interiores y exteriores; material asfáltico; tejas para cubiertas, entre otros.

Experiencias investigativas y académicas han generado una serie de resultados, los cuales se han ido implementando por parte de algunas empresas públicas y privadas, donde encontramos por ejemplo la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - EAAB en el uso de residuos de construcción y demolición en obras institucionales y el uso de cenizas de biosólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del Salitre en la generación de materiales cementantes como reemplazo del cemento portland.

La reutilización de residuos de construcción y demolición se ha convertido en un tema de importancia para los proyectos que se ejecutan en Bogotá, por esta razón, mediante las Resoluciones 0932 de 2015, 1115 de 2012 de la Secretaría Distrital de Ambiente y Decreto 586 de 2015 de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., se adoptó el modelo eficiente y sostenible de gestión de los residuos de construcción y demolición en Bogotá D.C. Para dar cumplimiento a la norma, las obras de construcción deben incluir desde la etapa de estudios y diseños, los requerimientos

técnicos necesarios para lograr la utilización de elementos reciclados provenientes de los centros de tratamiento y aprovechamiento de residuos de construcción y demolición legalmente constituidos, o la reutilización de los generados en las etapas constructivas y de desmantelamiento, en un porcentaje no inferior al establecido en la norma.

La reutilización se puede implementar bajo dos posibilidades, una de ellas es utilizar materiales con contenido reciclado, y la segunda es reutilización en obra.

Utilizar materiales con contenido reciclado: esta forma requiere un certificado del proveedor (centros de tratamiento y aprovechamiento de residuos de construcción y demolición legalmente constituida) de dicho material en el que especifique el porcentaje de contenido reciclado que tiene el material.

Utilizar material con contenido reciclado ayuda a sumar para la obtención del porcentaje con el que se debe cumplir: entre los materiales más utilizados disponibles con contenido de reciclaje, están:

- Ladrillo: puede contener entre un 12 y un 15% de contenido reciclado.
- Concreto: puede tener entre 5% y un 10% de contenido reciclado.
- Áridos con contenido reciclado: el porcentaje varía según el tipo de árido.

Reutilización en obra: esta forma requiere que cada proyecto documente la reutilización de materiales, especificando:

- Tipo de material a emplear
- Descripción del proceso a realizar
- Volumen total reutilizado
- Duración del proceso
- Área final recuperada
- Valor del porcentaje de reutilización

Para documentar la reutilización en proyectos se debe utilizar los formatos que especifica la Resolución 0932 de 2015, expedida por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá D.C.

Algunos ejemplos de actividades de reutilización son:

- Reutilización de la excavación: los materiales producto de la excavación pueden reutilizarse en el mismo proyecto en diferentes actividades, tales como nivelación de terreno, relleno de los pilotes, mantenimiento o adecuación de carreteables o rampas, llenado de muro o proceso de tierra armada, entre otras.
- Demolición: el material pétreo producto de la demolición puede utilizarse en adecuación del terreno y carreteables, relleno de jardines, material para cimentación, relleno de muros, nivelación, entre otras, actividades.
- Residuos de construcción: se pueden utilizar los residuos pétreos, la madera o las tierras, para actividades durante el proceso constructivo (MAAT Soluciones Ambientales, s.f.).

Llantas usadas para pavimentos

A nivel nacional encontramos obras de infraestructura vial en las que se ha producido la carpeta asfáltica con contenido de gránulos de llantas usadas. Actualmente su uso se encuentra definido

en las Especificaciones Técnicas Generales ET-IC-01 del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2019).

La experiencia del reciclaje de llantas para hacer vías es una mezcla entre gránulos de caucho unidos al betún, lo que hace que las carreteras sean menos ruidosas, más resistentes a las rodaduras y filtren mejor el agua.

La adición de granulo de caucho para la modificación de las mezclas asfálticas genera gran cantidad de beneficios. Según investigaciones realizadas en los últimos años, se ha demostrado que el asfalto con caucho permite que las vías sean más durables, lo que brinda beneficios económicos adicionales a largo plazo, debido a la disminución de mantenimientos. Las mezclas asfálticas producidas con asfalto caucho, además de contribuir con la sostenibilidad del planeta utilizando un producto reciclado, son altamente resistentes a la fatiga y a las deformaciones permanentes, permitiendo construir pavimentos duraderos y verdaderamente ecológicos (Gómez & Martínez, s.f.).

Tabla 23. Ventajas del uso de mezclas asfálticas modificadas con goma de neumático

- Aumenta la adherencia y la resistencia al daño por humedad
- Ligante asfáltico más resistente al calor y al sobrecalentamiento debido al proceso de vulcanización de la llanta
- Aumento de la elasticidad del ligante
- Mayor resistencia al desgaste por abrasión
- Disminuye el ruido de rodadura
- Mejoras las propiedades geológicas del asfalto
- Menor espesor de capa asfáltica
- Ayuda a disminuir el impacto ambiental negativo que producen las llantas usadas
- Mezclas más durables y por lo tanto con menor necesidad de mantenimiento

Fuente: elaborado a partir de información tomada de (Pineda Y. & Rey F., 2012)

Obras que han implementado la tecnología de asfalto con grano de caucho en Colombia

Una de las mega obras donde se implementaron cuatro estrategias relacionadas con construcción sostenible es el viaducto el Gran Manglar: un sistema de drenaje que retiene los sedimentos y grasas (125 tanques sedimentadores), lo que evita la caída directa a la ciénaga de la Virgen en Cartagena; el uso de energía solar para la iluminación (323 paneles led), la instalación de geobloques con material reciclado para la conformación de los terraplenes y el uso de asfalto con caucho reciclado para minimizar la incidencia del ruido en las zonas de anidación de aves (El Nuevo Siglo, 2019).

La estructura tiene una longitud de 5,4 kilómetros en total, de los cuales de 4,73 kilómetros se encuentran sobre el espejo de agua de la Ciénaga de La Virgen y 360 metros pertenecen a un retorno. Cuenta con dos carriles de 3,65 metros y bermas internas y externas de 1,80 metros y una altura promedio sobre la ciénaga de 7 metros (El Nuevo Siglo, 2019).

Otra de las obras civiles donde se ha implementado la modificación del asfalto caucho fue en el proyecto de transformación del aeropuerto de Barranquilla Ernesto Cortissoz, obras de pavimentación de la zona norte de la pista y la intervención de las calles de rodaje que suman 60.000 m^2 de capa de asfalto caucho (Jaimes Luján, 2016).

Otra de las obras en las cuales se ha implementado asfalto con grano de caucho, es fue en los tramos de prueba realizados mediante contrato IDU-306-003 del Instituto de Desarrollo Urbano

– IDU en Bogotá D.C., contrato que tuvo por objeto realizar la *"Segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba"* (Diaz, 2017).

Ecobloques y ecoconcretos

Para el caso de las edificaciones existen varios referentes de proyectos en los cuales se han usado materiales alternativos dentro de su proceso constructivo, obras en las cuales se han utilizado ecobloques como material envolvente, ecomorteros, ecoconcretos para estructura, losas de cimentación y elementos prefabricados y algunos pavimentos viales.

Para el caso de proyectos específicos, existen en Colombia varias empresas que apoyan el desarrollo de materiales alternativos, una de ellas viene participando desde hace varios años en el diseño de materiales compuestos para uso en la construcción, utilizando residuos sólidos industriales o residuos de construcción y demolición como: escoria siderúrgica de alto horno; escoria de acería blanca y negra; residuos de la industria cerámica roja; cenizas de fondo y volantes de carbón o bagazo; cenizas volcánicas, cenizas de la borra del café y lodos provenientes de PTAR y de sucroquímicas (industria química) (Universidad del Valle, 2005), como matriz cementante o de relleno, optimizando la producción del cemento portland, se pueden referenciar algunos ejemplos de proyectos en los cuales se han utilizado este tipo de alternativas:

Proyectos que han utilizado adiciones para optimización de mezclas cementantes	
Proyecto Suerte 90 Desepaz Cali, FENAVIP, se construyeron 227 viviendas utilizando adiciones para optimización de mezclas para concretos, morteros y elementos prefabricados. 2001 – 2002	
Obra Balcones de Cataluña y Plaza España, etapas I y II, muros y techos utilización de adiciones en mortero, groutin y ecoconcreto para optimización en 90 apartamentos 2005 – 2006	
Proyecto Vijes, 1678 m^2 de pavimento en 12 barrios de Vijes (2003)	
Proyecto Nashira de Constructora Páez (2007 - 2010), 42 casas para madres cabeza de familia, en el municipio de Palmira - Valle del Cauca - corregimiento del Bolo	

Ladrillos de plástico reciclado

Para la elaboración de este tipo de ladrillos se usa como materia prima el plástico, el cual es derretido y vaciado en un molde para posteriormente añadirle aditivos para su resistencia al fuego, obteniendo los bloques, gracias a un proceso de extrusión. Igualmente, por ser una estructura de plástico, las edificaciones construidas con ese tipo de material cumplen especificaciones de sismoresistencia. Esa iniciativa tiene por objetivo el transformar residuos de plásticos y caucho en un sistema de construcción alternativo para edificaciones, que pueden ser temporales o definitivas. Este sistema de construcción resulta un 30% más económico que los sistemas tradicionales, en especial, en zonas rurales.

Ilustración 51. Casa con ladrillos de plástico reciclado.

Fuente: tomada de: Remón, (2016) artículo de arquitecturayempresa https://arquitecturayempresa.es/noticia/casas-con-ladrillos-de-plastico-reciclado-en-colombia

Centro de Materiales Avanzados

La Universidad Jorge Tadeo Lozano, con el apoyo de la Cámara de Comercio de Bogotá, la Secretaría Distrital de Desarrollo Económico, Connect Bogotá y Colciencias, creó el Centro de Materiales Avanzados, que busca articular las capacidades de investigación de la academia con las necesidades de empresarios y gremios. El objetivo de la estrategia es el desarrollo de materiales y productos con insumos no convencionales, para crear nuevos modelos de negocios, atraer talento especializado, realizar buen uso e implementación de la economía digital, y fortalecer la competitividad ante el escenario internacional (Trout Lastra, 2019).

Sacos verdes de Argos

Cementos Argos S.A. puso en marcha una estrategia aplicable en el sector de materiales para construcción, la cual consiste en recolectar los empaques vacíos de cemento para su posterior trituración y finalmente, convertirlos en insumo usado en el fibrocemento, que es requerido por las empresas que se encargan de la fabricación de tejas (Trout Lastra, 2019).

Ilustración 52. Sacos verdes para fabricación de tejas. Cementos Argos S.A.

Fuente: Tomado de articulo El Colombiano escrito por Rojas, (2015)

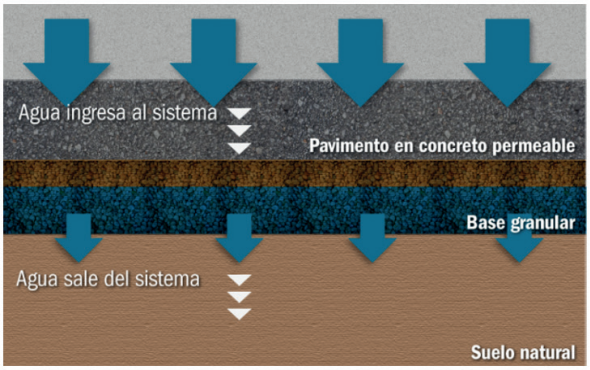
https://www.elcolombiano.com/negocios/innovacion/economia-circular-en-colombia-es-negocio-HH3081090

Concreto permeable o hidroconcreto

Son concretos porosos diseñados para permitir la absorción o el paso del agua superficial, recreando su ciclo natural y facilitando su almacenamiento y posterior reutilización. En su definición más

simple, es una mezcla de cemento, agua, agregado grueso y aditivos, que da como resultado un material con una estructura de vacíos interconectados que permiten el paso del agua y del aire, entre otros (Arango, 2020).

Ilustración 53. Esquema de estructura típica y funcionamiento de un pavimento permeable.



Fuente: imagen tomada de Arango, (2020) blog de https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto

Su uso más común se da principalmente, en:

- Rodaduras (tráfico liviano) y bermas.
- Parqueaderos, vías vehiculares, comerciales y residenciales.
- Senderos para peatonales y bicicletas, canchas deportivas y parques.
- Control de la erosión del suelo.
- Invernaderos, alcorques (alrededor de los árboles)

Ilustración 54. Prueba de infiltración en un tramo de pavimento en concreto permeable construido en dos celdas del parqueadero de la Universidad EAFIT en Medellín, Colombia.

Fuente: imágenes tomadas de video publicado por Argos (2015) disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=iTdW4zmQj9k

Tabla 24. Ventajas de uso del concreto hidráulico

Contribuye a la gestión eficiente del agua de escorrentía
Minimiza el uso del sistema de alcantarillado
Contribuye al ciclo natural del agua sin saturar el sistema de alcantarillado
Facilita el almacenamiento y posterior reutilización de aguas superficiales
Reduce o elimina la necesidad de uso de estructuras especiales (bordillos, cunetas, sumideros, tuberías, cajas de inspección y estructuras de retención) para el manejo de aguas de escorrentía
Genera un impacto visual diferente, debido a su textura y disponibilidad de colores
Contribuye con la implementación de infraestructura verde y el desarrollo de bajo impacto
Su implementación permite que el agua lluvia sea tratada como un recurso y no como un producto de desecho
Contribuye directamente con la reducción del efecto isla de calor
Limita la cantidad de cubierta impermeable y permite el filtrado, almacenamiento, evaporación o retención de la escorrentía de agua lluvia
Contribuye a optimizar los productos de construcción y fuentes de materias primas en el marco de la Estrategia Nacional de Economía Circular, (2019).

Fuente: elaboración a partir de información tomada de Concreto permeable: Desarrollo urbano de bajo impacto (Arango, 2020)

Como materiales cementantes se pueden emplear: cemento hidráulico de uso, cementos adicionados, materiales suplementarios como la ceniza volante, humo de sílice y escorias de alto horno. La mezcla de concreto permeable es más rígida y su tiempo de fraguado es menor, comparado con la del concreto convencional; por esta razón, en caso de ser necesario, se pueden emplear aditivos retardantes de fraguado, muy recomendable en climas calurosos para facilitar la entrega y su colocación. Para prolongar la condición fresca de la mezcla y facilitar la descarga se pueden emplear estabilizadores de hidratación o aditivos retardantes de larga duración (Aire, 2011).

Finalmente, se puede decir que estas nuevas prácticas iniciadas en diferentes sectores empresariales, motivadas por la economía circular, no sólo generan consecuencias medioambientales importantes, reduciendo los impactos sobre nuestro entorno y mejorando su conservación, sino también económicas.

Analizado lo expuesto, podemos apuntar que un uso intensivo de los recursos cada vez más escasos *"lleva asociado un incremento de los precios, al tiempo que genera incertidumbre sobre la futura disponibilidad de estos"*. (European Environment Agency, 2013), de tal manera, que la implantación de buenas prácticas basadas en los principios de la economía circular favorecería también la reducción del impacto económico, transferido este, al usuario final.

Elementos de mobiliario urbano

A partir del reciclado de plásticos, tales como las botellas de embace, se puede obtener el denominado PET (polietilenotereftalato), el cual es un plástico molido utilizado como materia prima en el proceso de fabricación de elementos de mobiliario urbano, tal como son los parques infantiles, canecas, bancas, separadores o sardineles, reductores de velocidad, indicadores reflectivos, barandas, materas, entre otros elementos.

Ilustración 55. Juegos infantiles.

Fuente: Ecomodulares. Imagen tomada de: http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001674.pdf

Polialuminios reciclados

El insumo se produce a partir de retal de empaques de medicinas (conocido como blíster) y cajas de tretra pak, que se usa para la producción de tableros similares al mármol. Su uso va desde muros interiores para zonas húmedas, fachadas pisos, y para la producción de muebles para cocinas, baños, tejas, puertas y ventanas, casetones o aligeramiento de placas, tejas y bases para cubiertas y fachadas verdes.

Ilustración 56. Placas tipo mármol. Envases de Tetra Pa y foill de aluminio reciclados

Fuente: Ecovivir. Imagen tomada de: http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001674.pdf

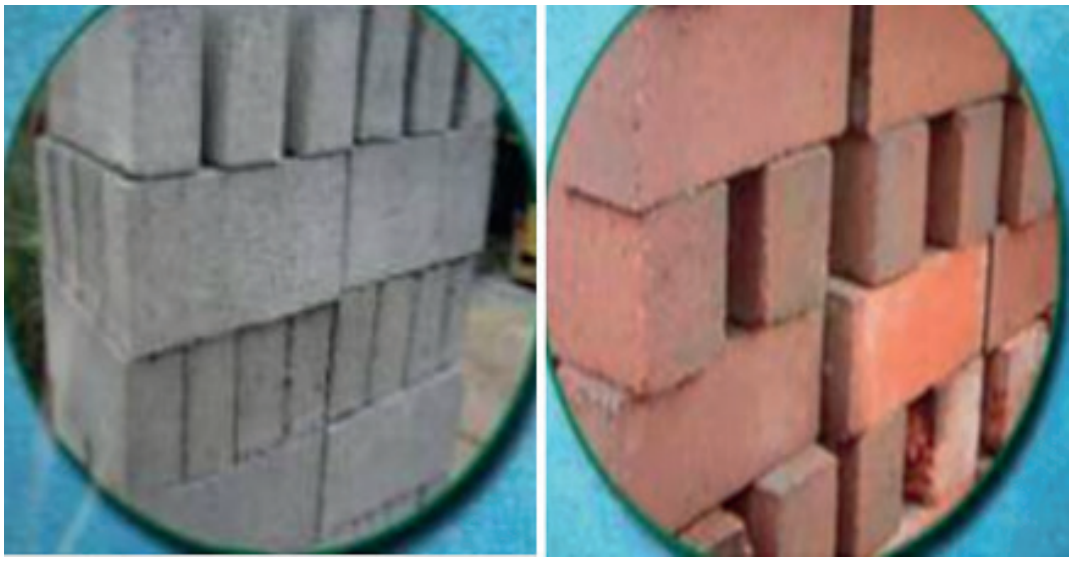
Ilustración 57. Muebles en polialuminios

Fuente: SDHT. Alcaldía mayor de Bogotá D.C. Laboratorio de Eco materiales Smart City. Expo2013 Bogotá.
Fuente: imagen tomada de: http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001674.pdf

Geo polímeros

Los geopolímeros son productos hechos con base en el uso de hidróxidos y silicatos de sodio, normalmente también encontrados en residuos de construcción y demolición (escombros), cenizas industriales y lodos. Sirven como aditivos o agregados de los concretos porosos o permeables, ladrillos y bloques tipo macizo o aligerado para muros y entreplacas. Al ser aditivos, hacen rendir los volúmenes de concreto hasta en un 30% según la calidad y el cuidado de selección de escombros, lo que significa un uso menor de cemento, logrando duplicar resistencias y reducción en costos entre un 30% y 40% dependiendo de la calidad de los lodos (Torres, Isabella, 2014).

Ilustración 58. Ladrillos y bloques tipo macizo o aligerado



Fuente: imagen tomada de: Torres, (2014) http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001674.pdf

8. Marco normativo y estrategias

A continuación, se listan algunas de las políticas, estrategias, regulaciones y normas técnicas relacionadas con la producción y uso de materiales sostenibles en la actividad de la construcción.

8.1. POLÍTICA NACIONAL DE PRODUCCIÓN Y CONSUMO SOSTENIBLE. HACIA UNA CULTURA DE CONSUMO SOSTENIBLE Y TRANSFORMACIÓN PRODUCTIVA

La Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT. Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2010) se orienta a cambiar los patrones insostenibles de producción y consumo por parte de los diferentes actores de la sociedad nacional, lo que contribuirá a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios y estimular el uso sostenible de la biodiversidad, como fuentes de la competitividad empresarial y de la calidad de vida.

En ella se actualizan e integran la Política Nacional de Producción más Limpia y el Plan Nacional de Mercados Verdes como estrategias del Estado colombiano que promueven y enlazan el mejoramiento ambiental y la transformación productiva a la competitividad empresarial.

8.2. CONPES 3874 -POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

Esta política busca adoptar medidas encaminadas hacia la prevención en la generación de residuos; la minimización de aquellos que van a sitios de disposición final; la promoción de la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos y; evitar la generación de gases de efecto invernadero. Este esfuerzo se inserta en la agenda internacional relacionada con el cumplimiento de las metas establecidas por el país en el acuerdo COP 21; en particular, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 20% para el año 2030, así como, en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con el logro de cuatro metas en el marco de los objetivos relacionados con ciudades y comunidades sostenibles y con producción y consumos responsables. Adicionalmente, con esta política se completan los requerimientos para el ingreso de Colombia al Comité de Política Ambiental de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP, 2016).

8.3. CONPES 3918 - ESTRATEGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) EN COLOMBIA

Establece las metas y las estrategias para el cumplimiento de la Agenda 2030 y sus ODS en Colombia. Genera una hoja de ruta para cada una de las metas establecidas, incluyendo indicadores, entidades responsables y los recursos requeridos para llevarlas a buen término (Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP., 2018).

8.4. CONPES 3919 - POLÍTICA NACIONAL DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES

Busca impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones, mediante el desarrollo e implementación de instrumentos (para la transición, seguimiento, control e incentivos financieros) que permitan implementar iniciativas de

construcción sostenible con un horizonte de acción a 2025. Igualmente, la política "se alinea con el cumplimiento de los compromisos asumidos en la agenda internacional de desarrollo sostenible, en especial en lo referente al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con énfasis en el objetivo 11 sobre ciudades y comunidades sostenibles y el objetivo 12 de garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles; la meta de reducción del 20 % de los gases de efecto invernadero (GEI) producto del Acuerdo de París (COP21); y el seguimiento a la Nueva Agenda Urbana (NAU) en consonancia con lo establecido en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible - Hábitat III" (Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP, 2018).

8.5. CONPES 3934 - POLÍTICA DE CRECIMIENTO VERDE

El objetivo es "Impulsar a 2030 el aumento de la productividad y la competitividad económica del país, al tiempo que se asegura el uso sostenible del capital natural y la inclusión social, de manera compatible con el clima." Este modelo de crecimiento verde destaca la promoción de nuevas oportunidades económicas basadas en la riqueza del capital natural, la optimización del uso de recursos naturales y energía en la producción y consumo, el fortalecimiento del capital humano, la ciencia, tecnología e investigación, y la gestión de la información para el crecimiento verde (Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP, 2018).

8.6. ESTRATEGIA NACIONAL DE ECONOMÍA CIRCULAR, CIERRE DE CICLOS DE MATERIALES, INNOVACIÓN TECNOLÓGICA, COLABORACIÓN Y NUEVOS MODELOS DE NEGOCIO

La Estrategia Nacional de Economía Circular promueve la optimización de sistemas productivos con énfasis en el valor agregado de materiales, e introduce nuevos modelos de negocio a partir de acciones colaborativas y compartidas, como los encadenamientos y el fortalecimiento de cadenas de valor (Gobierno de la República de Colombia, 2019), factores fundamentales para el incremento de la productividad.

Con esta la estrategia, Colombia se integra a la tendencia global de buscar una transición hacia un aumento en la calidad de vida utilizando menos materiales, agua y energía, a través del cierre de ciclos, para focalizar acciones concretas de avance hacia el desarrollo sostenible.

8.7. DECRETO 1076 DE 2015 ÚNICO REGLAMENTARIO DEL SECTOR AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

El objetivo del Decreto 1076 de 2015 es compilar la normativa expedida por el Gobierno Nacional y reglamentar las actividades que se relacionan con los recursos naturales y sus productos. En el mismo, se explica la estructura y el objeto del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible como cabeza del sector Ambiente. Rige en todo el territorio nacional y aplica a las personas naturales y jurídicas y a las entidades del sector Ambiente, a las CAR, a los grandes centros urbanos y a las autoridades ambientales.

8.8. DECRETO 1077 DE 2015 ÚNICO REGLAMENTARIO DEL SECTOR VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

El Decreto 1077 de 2015 compila todas las normas en materia de vivienda, ciudad y territorio. En él se encuentran contenidas las normas establecidas en el Decreto 1469 de 2010 "*Por el cual se reglamentan*

las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos y se expiden otras disposiciones". También regula temas relacionados con normas técnicas sobre construcciones, incluyendo construcciones sismo resistentes y construcciones sostenibles, y en general, lo concerniente a la reglamentación sobre licencias urbanísticas, y la implementación y control del desarrollo territorial.

8.9. RESOLUCIÓN 1555 de 2005 - SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en el marco del Plan Nacional Estratégico de Mercados Verdes, (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014), cuyo objetivo es consolidar la producción de bienes ambientalmente sostenibles e incrementar la oferta de servicios ecológicos competitivos en los mercados nacionales e internacionales, creó el Sello Ambiental Colombiano (SAC) y reglamentó su uso mediante la Resolución 1555 de 2005 expedida en conjunto con el Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. Esta etiqueta ecológica "consiste en un distintivo o sello que se obtiene de forma voluntaria, otorgado por una institución independiente denominada "organismo de certificación" (debidamente acreditada por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia- ONAC y autorizado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales- ANLA) el cual puede portar un bien o un servicio que cumpla con unos requisitos preestablecidos para su categoría" (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

El uso del Sello Ambiental Colombiano es de carácter voluntario. Por tal razón, debe ser considerado como una estrategia comercial y una ventaja competitiva por parte de los productores o prestadores de servicios y, por los consumidores, como un valor agregado frente a otros bienes o servicios que no cuentan con este instrumento. Para asegurar la credibilidad, independencia, y sostenibilidad económica del sello, el programa funciona apoyado en una estructura que responde a las disposiciones del Subsistema Nacional de la Calidad y a las Normas ISO 1402, relativas a las etiquetas y declaraciones ecológicas (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

El Sello Ambiental Colombiano opera a través de tres etapas fundamentales: la primera corresponde a la definición de las categorías de producto que serán objeto de establecimiento de criterios ambientales, de acuerdo con la solicitud recibida de cualquier parte interesada; la segunda es la normalización de criterios ambientales para el otorgamiento del sello en la categoría seleccionada, y la tercera es la aplicación voluntaria de dichos criterios y su posterior certificación. Dentro de estas categorías se encuentra el SAC para el diseño y construcción de edificaciones sostenibles para uso diferente a vivienda, adoptado mediante la NTC 6112 del 2016.

Por lo tanto, un producto o servicio identificado con el logo SAC indica que:

- Hace uso sostenible de los recursos naturales que emplea (materiales e insumos).
- Utiliza materias primas que no son nocivas para el ambiente.
- En el proceso de producción o prestación del servicio se involucra menos cantidad de energía, se hace
- uso de fuentes de energía renovable, o ambas.
- Considera aspectos de reciclabilidad, reutilización o biodegradabilidad.
- Usa materiales de empaque preferiblemente reciclable, reutilizable o biodegradable y en cantidades mínimas.
- Emplean tecnologías limpias o que generan un menor impacto relativo sobre el ambiente.

- Indica a los consumidores cuál es la mejor forma para su disposición final (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).)

8.9.1. NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 6112 DEL 2016 ETIQUETAS AMBIENTALES TIPO I. SELLO AMBIENTAL COLOMBIANO (SAC). CRITERIOS AMBIENTALES PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES SOSTENIBLES PARA USO DIFERENTE A VIVIENDA

El Sello Ambiental Colombiano para la categoría de edificaciones sostenibles con uso diferente a vivienda, es una herramienta que permite al sector edificador mejorar su desempeño ambiental, reducir significativamente los impactos que genera y mejorar la calidad de vida de los usuarios; y esto a su vez, le permitirá aumentar su competitividad en los diferentes mercados. La norma establece los requisitos mínimos de sostenibilidad que incluyen aspectos ambientales, sociales y económicos para el diseño y construcción de edificaciones con uso diferente a vivienda (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s.f.).

Es una herramienta que permite al sector edificador mejorar su desempeño ambiental, reducir significativamente los impactos que genera y mejorar la calidad de vida de los usuarios; lo que permite aumentar la competitividad en los diferentes mercados. Esta norma técnica se basa en los principios fundamentales de la NTC-ISO 14024 “Etiquetas y declaraciones ambientales. Etiqueta ambiental Tipo I. Principios y procedimientos”, que tiene un enfoque integral de producto. “Esto significa que cubre, según sea aplicable, desde la extracción del recurso natural o materia prima, el diseño, la manufactura, el ensamblaje, el mercadeo, la prestación de servicios, la distribución, la venta, el uso y, finalmente, la disposición final. Es decir, el análisis de ciclo de vida.” (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - Icontec, 2016).

8.9.2. CATEGORÍAS DE PRODUCTOS NORMALIZADAS POR EL MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE Y RELACIONADAS CON EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

A continuación, en la tabla 24 se relacionan algunas de las normas técnicas colombianas relacionadas con categorías de materiales y aparatos normalizados aplicables a bienes y servicios en sector de la construcción.

Tabla 25. Normas Técnicas Colombianas (NTC) aplicables a bienes y servicios en el sector de la construcción

Bien o Servicio	Norma Técnica Colombiana (NTC) Asociada al SAC	Título de la norma
Aparatos sanitarios de alta eficiencia	NTC 5757 de 2020	Etiquetas ambientales Tipo I. Sello Ambiental Colombiano. Criterios ambientales para aparatos sanitarios de alta eficiencia
Accesorios de fontanería	NTC 5871 de 2011	Etiquetas ambientales Tipo 1. Criterios ambientales para accesorios de suministro en fontanería

Bien o Servicio	Norma Técnica Colombiana (NTC) Asociada al SAC	Título de la norma
Pinturas	NTC 6018 de 2013	Etiquetas ambientales tipo i. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para pinturas y materiales de recubrimiento
Baldosas cerámicas	NTC 6024 de 2021	Etiquetas ambientales Tipo I. Sello ambiental colombiano (SAC). Criterios ambientales para baldosas cerámicas
Ladrillos y bloques de arcilla	NTC 6033 de 2013	Etiquetas ambientales tipo I. Sello Ambiental Colombiano (SAC). Criterios ambientales para ladrillos y bloques de arcilla
Aceros planos conformados en frío	NTC 6034 de 2013	Etiquetas ambientales tipo I. Sello Ambiental Colombiano (SAC). Criterios ambientales para elementos de aceros planos conformados en frío para uso en construcción
Prefabricados en concreto	NTC 6093 de 2014	Etiquetas ambientales tipo I. Sello Ambiental Colombiano (SAC). Criterios ambientales para prefabricados en concreto
Guadua	NTC 6100 de 2014	Etiquetas ambientales tipo I. Sello ambiental colombiano. Criterios ambientales para productos de primero y segundo grado de transformación de guadua angustifolia kunth
Fuente: elaborado a partir de información tomada de la página web del ICONTEC. en: https://www.icontec.org/		

8.10. RESOLUCIÓN 0367 DE 2018

Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Por la cual se adiciona la Incentivos tributarios en materia de sostenibilidad en las edificaciones". Tiene como objeto adoptar metas ambientales en materia de eficiencia energética, así como las acciones y medidas que se deben incluir en el plan de acción indicativo (PAI) para desarrollar el programa de uso racional y eficiente de energía (PROURE) para optar a la exclusión del impuesto sobre las ventas (IVA).

Para optar por la exclusión del impuesto sobre las ventas (IVA) aplicable al sector de las edificaciones y al sector terciario, el proyecto deberá estar enmarcado en "la mejora en el diseño, la construcción y la adecuación arquitectónica (incluyendo mejoramiento en la trasferencia por los techos, ventanas y muros) de edificaciones" o, en el "mejoramiento de la eficiencia energética (pinturas atérmicas, extractores eólicos y otros medios de acondicionamiento ambiental por medios naturales) en edificaciones" del sector terciario; solo podrá aplicar para aquellas edificaciones que se encuentren certificadas en su fase de diseño por un ente certificador acreditado nacional o internacional en construcción sostenible (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

8.11. RESOLUCIÓN 0472 DEL 2017 (Modificada por Resolución 1257 de 2021)

Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible "Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones", modificada mediante Resolución 1257 de 2021 "Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de residuos de construcción y demolición

(RCD) y se adoptan otras disposiciones", expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan residuos de construcción y demolición de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional.

Adicionalmente, esta norma brinda lineamientos para el aprovechamiento y disposición final de los residuos de construcción y demolición, mediante la implementación de instrumentos y reglas para las instalaciones de gestión de tales residuos como son los puntos limpios y las plantas de aprovechamiento. De igual forma, en dichas resoluciones se establecen los criterios ambientales para la localización y operación de los sitios de disposición final de residuos de construcción y demolición (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017).

8.12. RESOLUCIÓN 549 DEL 2015

Resolución expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio *"Por la cual se reglamenta el capítulo 1 del título 7 de la parte 2, del libro 2 del Decreto número 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones"*. Su principal objetivo es el de establecer los porcentajes mínimos y medidas de ahorro de agua y energía en las edificaciones nuevas.

8.13. GUÍA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA DE COMPRAS PÚBLICAS SOSTENIBLES

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible desarrolló a través de convenio con el Centro Nacional de Producción más Limpia, la Guía conceptual y metodológica de compras públicas sostenibles, 2012. Esta guía busca ser una herramienta de apoyo a los sectores público y privado en relación con la incorporación de criterios de sostenibilidad en la contratación del Estado colombiano, sin llegar a contrariar los principios generales de la contratación pública y mejorando la competitividad de los sectores productivos relacionados.

8.14. CRITERIOS AMBIENTALES PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA URBANA

Documento elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2012. Define criterios aplicables para los ejes temáticos de agua, suelo, energía y materiales (Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

8.15. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES DE MATERIALES Y DE CONSTRUCCIÓN

En el caso de la construcción de obras, las especificaciones técnicas forman parte integral del proyecto y complementan lo indicado en los planos respectivos y en el contrato. Son muy importantes para definir la calidad de los trabajos en general y de los acabados en particular.

Las especificaciones técnicas de construcción de edificaciones están compuestas por descripciones detalladas de los procesos constructivos y de los materiales necesarios para la elaboración de la obra, deben ir sustentadas por las normas técnicas que rigen la construcción en Colombia.

En Colombia, las especificaciones técnicas se encuentran disponibles por ciudades, como es el caso de Bogotá, que define las especificaciones para obras de espacio público a través de las Especificaciones Técnicas Generales ET-IC-01 del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., 2019); la Cartilla de Andenes de Bogotá (Bogotá, D.C.. Secretaría Distrital de Planeación -SDP, 2018) adaptada mediante Decreto 308 de 2018 “Por medio del cual se adopta la Cartilla de Andenes de Bogotá D.C. y se dictan otras disposiciones” expedido por la Alcaldía Mayor de Bogotá; la Cartilla de Mobiliario Urbano de Bogotá, adoptada mediante Decreto distrital 603 de 2007 (Bogotá, D.C. Secretaria Distrital de Planeación -SDP, 2007); Manual de especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. Instituto distrital de recreación y deporte - IDRD, 2015); igualmente, a nivel nacional se cuenta con las Especificaciones técnicas desarrolladas por el Instituto Nacional de Vías - INVÍAS aplicables para todas las obras de infraestructura vial que se desarrollen en el país (Ministerio de Transporte. Instituto nacional de vías -INVIAS, 2021).

9. Directrices y recomendaciones

– Se recomienda la implementación, siempre que sea posible, de indicadores relacionados con el uso insumos alternativos como sustitutos de insumos convencionales dentro del proceso de fabricación o producción de materiales de construcción. A continuación, se proponen algunos de ellos.

Tabla 26. Indicadores propuestos para seguimiento del uso y producción de materiales alternativos de construcción.

OBJETIVO	NOMBRE DEL INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	FÓRMULA	FUENTE DE INFORMACIÓN	PERIODICIDAD
Usar insumos provenientes del reciclaje y del aprovechamiento de residuos para la producción de agregados	Agregados reciclados usados como sustitutos de agregados naturales (indicador corporativo)	% de agregados reciclados producidos	% de agregados reciclados producidos = tn de agregados sustitutos producidos / tn total de agregados producidos	Productores de agregados	ANUAL
Producir concreto con agregados provenientes del aprovechamiento de concretos reciclados	Prefabricados de concreto producido con agregados reciclados	% de elementos prefabricados producidos con concreto reciclado	% de prefabricados de concreto con agregados reciclados = Total de prefabricados de concreto producidos con agregados reciclados / Total de prefabricados de concreto producidos con agregados extraídos de cantera	Compañías de premezclado (Producción en planta)	ANUAL
	Concreto producido en planta con agregados reciclados	% de concreto producido utilizando agregados reciclados	% de Producción de concreto en planta con agregados reciclados = Total de M3 de concreto producido en planta con agregados reciclados / Total de M3 de concreto producido en planta con agregados extraídos de cantera		
Reducir la disposición final de residuos de construcción y demolición -RCD	Aprovechamiento de RCD	% de aprovechamiento de RCD	% de RDC aprovechados = Tn de RDC generados/ total Tn de RCD dispuestos en vertederos (Fin de vida)	Entes territoriales Autoridades ambientales Asociaciones comerciales con información de diferentes sectores	ANUAL
Fomentar el desarrollo de proyectos verdes con planes de recuperación y aprovechamiento de RCD	Proyectos verdes que recuperan y aprovechan RCD	% de proyectos con planes de recuperación y aprovechamiento de RCD	% de proyectos con planes de recuperación de RCD = Número de proyectos con planes de recuperación de residuos de construcción y demolición /total de proyectos en ejecución	Desarrolladores	ANUAL

Fuente: elaborado a partir de información tomada de la Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento: Reciclando Concreto. (Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible, 2009). *Disponible en: https://docs.wbcsd.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf*

Referencias

- Aire, C. (2011). Concreto permeable: Alternativas Sustentables. Construcción y tecnología en concreto. Hacia una construcción sustentable (3). Recuperado el 18 de 12 de 2021, de http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2019). Especificación Técnica IDU-ET-IC-01. En D. I. Alcadia Mayor de Bogotá, Especificaciones Técnicas Generales ET-IC-01. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de https://www.idu.gov.co/Archivos_Portal/Transparencia/Informacion%20de%20interes/SIIPVIALES/Innovaci%C3%B3n/Portafolio/2021/08-agosto/Version-practica-23-08-2021.pdf
- Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C. Instituto distrital de recreación y deporte - IDRD. (2015). Manual de especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá, D.C. (IDRD, Ed.) Bogotá D.C.: IDRD.
- Arango, S. G. (2020). Comunidad 360 en concreto. Concreto permeable: Desarrollo urbano de bajo impacto. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de 360enconcreto.com: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/concreto-permeable-desarrollo-urbano-de-bajo-impacto
- Arencibia Junco, &. P. (2013). Análisis de la contaminación atmosférica de la planta de asfalto caliente “Abel Santamaría”, de Coliseo. Revista avanzada científica, 16(3). Recuperado el 18 de 12 de 2021, de file:///C:/Users/User/Downloads/Dialnet-AnalisisDeLaContaminacionAtmosfericaDeLaPlantaDeAs-4687338%20(1).pdf
- Argos, (5 de agosto de 2015) tramo de prueba concreto permeable [video] https://www.youtube.com/watch?v=iTdW4zmQj9k
- Argos. (s.f.). Inicio/Blog/Sostenibilidad/Caracterización de impactos ambientales en la industria de la construcción. (Argos, Editor) Recuperado el 10 de 03 de 2022, de Sostenibilidad: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/sostenibilidad/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion
- Aristizábal, J., & Luengas, C. (2007). Reducción de emisiones en la industria cementera usando madera procedente de plantaciones dendroenergéticas. Bogotá, D.C. Obtenido de https://issuu.com/jadaristi/docs/articulo_gestion_en_ingenieria
- Arquitecturaenacero.org. (s.f.). Asociación latinoamericana del acero - Alacero. (A. L. Acero, Productor) Obtenido de Arqutectura+acero. Libertad y diseño: http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/materiales-reducir-reutilizar-reciclar
- Asocreto. (s.f.). Pavimento con tecnología fotocatalítica: Descontaminando el aire con prefabricados de concreto. Obtenido de Asociación colombiana de productores de concreto: https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/pavimento-con-tecnologia-fotocatalitica
- Benítez Bustamante, J. (2013). Diagnóstico del estado actual del reciclaje de pavimentos en Colombia y recomendaciones para su implementación efectiva. Bogotá. D.C., Colombia: Universidad de los Andes. Obtenido de https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/19394/u670475.pdf?sequence=1
- Blog Didáctico. (6 de Enero de 2019). Beneficios del desarrollo sustentable. Obtenido de blogdidactico.com: https://blogdidactico.com/beneficios-del-desarrollo-sustentable
- Bogotá, D.C. Secretaría Distrital de Ambiente -SDA. (Marzo de 2016). Bogotá D.C., Hacia una nueva cultura en la gestión integral de los residuos de construcción y demolición. 1.

Bogotá, D.C., Colombia: SDA. Recuperado el 20 de 12 de 2021, de https://ent.cat/wp-content/uploads/2016/03/Publicacion-Bogota-SDA.pdf

- Bogotá, D.C. Secretaria Distrital de Planeación -SDP. (2007). Por la cual se actualiza la "Cartilla de mobiliario urbano de Bogotá D.C". Bogotá D.C., Colombia: SDP.
- Bogotá, D.C.. Secretaría Distrital de Planeación -SDP. (2018). Cartilla de Andenes Bogotá D.C. Bogotá D.C.: SDP. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de http://www.sdp.gov.co/sites/default/files/cartilla_andenes_modificacion_07-06-2018.pdf
- Borsani, M. (2011). Materiales Ecológicos: estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles. Recuperado el 10 de 03 de 2022, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13759/Borsani%2c%20Mar%c3%ada%20Silvia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Braungart, M., & McDonough, &. (2005). De la cuna a la cuna. Rediseñando la forma en que hacemos las cosas. Madrid: McGraw-Hill.
- Briceño, E. (s.f.). Materiales de construcción. Programa de ingeniería civil. Lara, Venezuela: Univerdidad Centroccidental "Lisandro Alvarado" -UCLA. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de https://docplayer.es/79592229-Materiales-de-construccion.html
- Bsecomaterials. (30 de 08 de 2019). Soluciones amigables para la construcción. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de Ecomaterials. Soluciones amigables para la construcción: http://www.bsecomaterials.com/productos.html
- Canela, F. C., & Gutierrez, A. V. (2015). La ciudad modelada como ecosistema: principios y estrategias para la sustentabilidad de los sistemas del metabolismo urbano de la ciudad. Recuperado el 25 de 4 de 2021, de http://revistas.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/465
- Cardim de Carvalho, A. F. (julio de 2001). Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento. (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña)., 16. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 25 de 03 de 2022, de https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5903/tesis.pdf?sequence=1
- Castro, J. M. (31 de 10 de 2013). El Espectador. Obtenido de elespectador.com: https://www.elespectador.com/ambiente/construcciones-recicladas-otra-alternativa-article-455686/
- Cerdá, E. &. (s.f.). Economía circular, estrategia y competitividad empresarial. Economía circular. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401: https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/401/CERD%C3%81%20y%20KHALILOVA.pdf
- Colombia. Congreso de la República. (25 de Mayo de 2019). Por el cual se expide el Plan de Desarrollo 2018-2022 "PACTO POR COLOMBIA, PACTO POR LA EQUIDAD". Valledupar, Valledupar, Colombia: D.O. AÑO CLV N. 50964.
- Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2018). Censo nacional de población y vivienda -CNPV - 2018. Bogotá, D.C.: DANE. Obtenido de https://microdatos.dane.gov.co/index.php/catalog/643/datafile/F9
- Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. (2020). Economía circular primer reporte 2020. Bogotá, Colombia: DANE. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/economia-circular/economia-circular-1-reporte.pdf

- Colombia. Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas -DANE. (2021). DANE. Información para todos. (DANE, Editor) Obtenido de Índice de Costos de la Construcción Pesada (ICCP): https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/precios-y-costos/indice-de-costos-de-la-construccion-pesada-iccp
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP. (10 de 07 de 2018). Concejo nacional de política económica y social. Política de crecimiento verde. Documento CONPES 3934. Bogotá, D.C., Colombia: DNP.
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP. (15 de 03 de 2018). Concejo nacional de política económica y social. Estrategia para la implementación de los objetivos de desarrollos sostenible -ODS en Colombia. Documento CONPES 3918. Bogotá D.C., Colombia: DNP. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3918.pdf
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP. (21 de 10 de 2014). Consejo nacional de política económica y social. Política nacional para consolidar el sistema de ciudades en Colombia. Documento CONPES 3819. Bogotá D.C., Colombia: DNP. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3819.pdf
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP. (21 de 11 de 2016). Concejo nacional de política económica y social. Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Documento CONPES 3874. Bogotá. D.C., Colombia: DNP.
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP. (21 de 11 de 2016). Consejo nacional de política económica y social. Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos. Documento CONPES 3874. Bogotá, D.C., Colombia: DNP.
- Colombia. Departamento Nacional de Planeación -DNP. (23 de 03 de 2018). Concejo nacional de política económica y social. Política nacional de edificaciones - Documento CONPES 3919. Bogotá, D.C., Colombia: DNP.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana. Bogotá D.C.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana. Recuperado el 10 de 03 de 2022, de archivo.minambiente.gov.co: https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Gestion_urbana/edificaciones_sostenibles/Cartilla_Criterios_Ambientales_Dise%C3%B1o_y_Construcci%C3%B3n_de_Vivienda_Urbana.pdf
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Plan nacional de negocios verdes. Bogotá D.C., Colombia: Minambiente. Obtenido de https://isfcolombia.uniandes.edu.co/images/20152/Plan_Nacional_ngocios_verdes.pdf
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015 (sin editar)). Instrumentos y acciones para promover el uso de materiales provenientes del reciclaje y/o aprovechamiento de residuos en la construcción de edificaciones y el espacio público en Colombia. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (23 de 11 de 2021). Resolución 1257. “Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de residuos de construcción y demolición - RCD y se adoptan otras disposiciones”. Bogotá D.C., Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (28 de 09 de 2017). Resolución 1988. (Minambiente, Ed.) Obtenido de “Por la cual se adoptan las metas ambientales y se establecen otras disposiciones” : https://medioambiente.uexternado.edu.co/wp-content/uploads/sites/19/2017/12/Resoluci%C3%B3n-1988-de-2017.pdf

- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (5 de marzo de 2017). Resolución 0472. “Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición - RCD y se dictan otras disposiciones”. Bogotá D.C., Colombia: Diario Oficial 50.166. Obtenido de https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/normativas/resolucion_472_de_2017-mads_-_residuos_de_demolicion_y_construccion.pdf
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Construcción Sostenible. (D. Minambiente, Editor) Recuperado el 28 de 3 de 2022, de Portal Minambiente.gov.co. Gestión Ambiental Urbana. Construcción Sostenible: https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). Sello ambiental colombiano - SAC. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de www.minambiente.gov.co: https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/sello-ambiental-colombiano-sac/
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial -MAVDT. Hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible. Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de https://www.icesi.edu.co/blogs/pycs/files/2011/09/Pol%C3%ADtica-de-PyCS-FINAL.pdf
- Colombia. Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio -MVCT. (10 de 07 de 2015). Resolución 0549. “Por la cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones”. Bogotá D.C., Colombia: Minvivienda.
- Colombia. Superintendencia de servicios públicos domiciliarios. (2019). Disposición final de residuos sólidos. Informe Nacional – 2018. Edición 11. Bogotá, D.C.: Superservicios. Obtenido de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2020/Ene/informe_nacional_disposicion_final_2019_1.pdf
- Concejo Colombiano de Construcción Sostenible - CCCS. (06 de 09 de 2015). Guía sobre compras públicas sostenibles. Bogotá D.C.
- Concejo Colombiano de Construcción Sostenible - CCCS. (1 de marzo de 2019). Negocios Sostenibles. Desarrollo Urbano. Políticas Públicas. Cradle to Cradle, Modelaciones Energéticas. Empresas B. Informe de Gestión 2018. (CCCS, Ed.) inTEGRA. Revista de Negocios + Sostenibles en la Industria de la Construcción, 9. Recuperado el 15 de 12 de 2021, de https://issuu.com/integra-cccs/docs/issuu_integra_iii
- Concejo colombiano de construcción Sostenible - CCCS. (18 de 05 de 2017). Edificaciones sostenibles y los ODS. Obtenido de https://www.cccs.org.co/wp/2017/05/18/los-edificios-verdes-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible/
- Congreso Nacional del Madio Ambiente. (2018). Economía Circular en el Sector de la Construcción. Madrid: CONAMA. Obtenido de http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/GTs%202018/6_final.pdf
- Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible – WBCSD. (07 de 2009). Iniciativa para la sostenibilidad del cemento. Recuperado el 17 de 12 de 2021, de e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf: https://docs.wbcsd.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf
- Consejo mundial empresarial para el desarrollo sostenible. (Julio de 2009). Reciclando concreto - FICEM. Recuperado el 17 de 12 de 2021, de Iniciativa por la sostenibilidad del cemento: https://ficem.org/publicaciones-CSI/DOCUMENTO-CSI-RECICLAJE-DEL-CONCRETO/RECICLAJE-D-CONCRETO_1.pdf

- Cornejo, L. (02 de 10 de 2017). Cementos alternativos al cemento portland: Quimica verde. Recuperado el 30 de 09 de 2021, de Nuevas Tecnologías y Materiales: https://nuevastecnologiasymateriales.com/cementos-alternativos-al-cemento-portland-quimica-verde/
- Díaz Álvarez, C. (2014). Metabolismo urbano: herramienta para la sustentabilidad de las ciudades. En inter disciplina (Vol. 2). México: Universidad nacional autónoma de México (UNAM). Recuperado el 20 de 12 de 2021, de http://www.revistas.unam.mx/index.php/inter/article/view/46524
- Diaz, C. &. (2017). repository.usta.edu.co. Recuperado el 16 de 12 de 2021, de Monografía de grado presentada como requisito para optar al título de ingeniero civil: https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2633/Diazcesar2017.pdf
- Dodge Data & Analytics. (2018). World Green Building Trends. SmartMarket Report. Dodge Data & Analytics. Recuperado el 15 de 03 de 2022, de https://www.worldgbc.org/sites/default/files/World%20Green%20Building%20Trends%202018%20SMR%20FINAL%2010-11.pdf
- Ecología Verde. (30 de 05 de 2019). Ecología. Tecnología Ecológica. Ladrillos ecológicos: qué son, tipos y ventajas. Recuperado el 17 de 12 de 2021, de EcologíaVerde.: https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html
- El Nuevo Siglo. (2019). Premios de ingeniería y ambiental a viaducto “El Gran Manglar”. Ambiente y ciencia. El Nuevo Siglo. Recuperado el 28 de 09 de 2021, de https://elnuevosiglo.com.co/articulos/05-2019-premios-de-ingenieria-y-ambiental-viaducto-el-gran-manglar
- Ellen MacArthur, F. (2014). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Journal of Industrial Ecology. Economía Circular. Obtenido de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/economia-circular/concepto
- Environmental Protection Agency. (Junio de 2000). Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de Calidad del aire — Índice de calidad del aire (AQI), EPA-454 / R-99-010, en http://www.epa.gov/airnow/publications.html.: https://www.miamidade.gov/environment/library/brochures/air-quality-index.pdf
- European Environment Agency. (2013). Managing municipal solid waste - a review of achievements in 32 European countries. Recuperado el 12 de 07 de 2021, de https://www.eea.europa.eu/publications/managing-municipal-solid-waste
- Fernández, S. (2013). Reciclaje y cierre del ciclo de vida de las placas de yeso laminado. Obtenido de https://www.interempresas.net/Reciclaje/Articulos/109556-Reciclaje-y-cierre-del-ciclo-de-vida-de-las-placas-de-yeso-laminado.html
- Fiduciaria colombiana de comercio exterior S.A. -FIDUCOLDEX. (s.f.). Colombia productiva. Guía empresarial economía circular: Una forma diferente de hacer negocios sostenibles, 4. Bogotá D.C., Colombia: FIDUCOLDEX. Recuperado el 15 de 12 de 2021, de https://www.colombiaproductiva.com/ptp-capacita/publicaciones/transversales/guia-empresarial-de-economia-circular/200310-cartilla-economia-circular
- Gallego Sánchez-Torija, J., Larrumbide Gómez-Rubiera, E., & Bedoya Frutos, C. (2020). Metabolismo en los edificios. Estudio de medidas para el ahorro del consumo de agua en tres centros docentes en Madrid. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/5989/7242

- Geho-ceb. (1997). Estructuras y edificación: Demolición y reutilización de estructuras de hormigón. Madrid, España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.
- Gobierno de la República de Colombia. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular -ENEC: Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. (P. d. República, M. d. Sostenible, & I. y. Ministerio de Comercio, Edits.) Bogotá D.C., Colombia. Recuperado el 15 de 12 de 2021, de http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf
- Gómez, O., & Martínez, R. (s.f.). Asfaltos modificados con cauchos en vías primarias en lasciudades Santa Marta, Barranquilla y Bogotá como alternativade mejoramiento de la capa de rodadura de los pavimentosflexibles entre los años 2012-2019. (U. C. Colombia, Editor) Recuperado el 20 de 12 de 2021, de Facultad de ingeniería civil. Universidad Cooperativa de Colombia. Seccional Santa Marta. Trabajo de grado: https://1library.co/document/q0585mxy-asfaltos-modificados-primarias-barranquilla-alternativa-mejoramiento-pavimentos-flexibles.html
- HomeSolution, (15 de octubre de 2021) drywall ¿Qué es, ventajas y desventajas? [blog] https://homesolution.net/blog/drywall-que-es-ventajas-y-desventajas/
- Indural. (2019). Catalogo Indural. Calidad en concreto. Obtenido de Indural.com: https://vitrinaempresarial.com/Informes/Productos_INDURAL%20S.A1153.pdf; https://indural.com/productos/revestimiento-para-fachadas/granito/
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación - ICONTEC. (25 de 09 de 2013). NTC 6018 - Etiquetas Ambientales Tipo I. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de https://www.studocu.com/co/document/universidad-de-la-sabana/salud-publica/ntc-6018-etiquetas-ambientales-tipo-i/15175262
- Instituto de tecnología de la construcción de Cataluña - ITeC. (s.f.). Impactos ambientales en el sector de la construcción. en: Buenas prácticas ambientales en las obras de construcción. Construmatica. Recuperado el 2021 de 12 de 13, de Construmática: https://www.construmatica.com/construpedia/Impactos_Ambientales_en_el_Sector_de_la_Construcci%C3%B3n
- Jaimes Luján, C. (28 de 08 de 2016). Comienzan intervención de la zona norte de la pista del aeropuerto Ernesto Cortissoz. El Heraldo. Obtenido de https://www.elheraldo.co/local/comienzan-obra-de-reparacion-del-aeropuerto-ernesto-cortissoz-281196
- Kennedy, C. C.-Y. (2007). El metabolismo cambiante de las ciudades. Journal of industrial ecology, 11(2). doi:https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107
- Keobra. (03 de Abril de 2020). keobra.com. Obtenido de Clasificación de los materiales de construcción: https://keobra.com/clasificacion-de-los-materiales-de-construccion
- Maat Soluciones Ambientales. (01 de 07 de 2021). Drywall economía circular. Recuperado el 18 de 12 de 2021, de Maat Soluciones Ambientales: https://www.maat.com.co/drywall-circular/
- Mejía, M. d., & Aristizábal, J. P. (29 de 08 de 2019). Capital inteligente, grupo Bancolombia. Obtenido de grupobancolombia.com: https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/sector-construccion-colombia-2019/construccion-sostenible-colombia-2019-avances-retos
- Merino, M. d., Cortina, M. G., Gracia, P. I., Astorqui, J. S., & Azevedo, I. S.-W. (2006). Los nuevos materiales de construcción como alternativa al reciclaje de los residuos industriales: motero de cemento-caucho reciclado (CCR). Recuperado el 25 de 4 de 2021, de http://oa.upm.es/1915

- Ministerio de Transporte. Instituto nacional de vías -INVIAS. (10 de 12 de 2021). Especificaciones técnicas. Obtenido de Documentos técnicos: https://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos
- Montalvo Peña, H. (2001). Concreto: Generalidades, propiedades y procesos. Perú. Recuperado el 20 de 12 de 2021, de https://www.academia.edu/9706247/CONCRETO_Generalidades_propiedades_y_procesos
- Monterrosa, H. (10 de ENERO de 2019). Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente. La Replública. Obtenido de https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano-2813141
- MontóProfesional. (s.f.). Montopinturas. Obtenido de Tipos de disolventes y diferentes usos: escoge el más adecuado: https://montopinturas.com/ver/3063/tipos-de-disolventes-y-diferentes-usos-escoge-el-mas-adecuado.html/
- Organización de la Naciones Unidas -ONU. (21 de 10 de 2015). Asamblea general. (N. Unidas, Ed.) Recuperado el 02 de 12 de 2021, de Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible: https://undocs.org/es/A/RES/70/1
- Organización de las Naciones Unidas - ONU. (11 de Diciembre de 2018). Conferencia de las Naciones Unidas sobre cambio climático. COP24. (UNFCCC Secretariat, Editor) Recuperado el 17 de 12 de 2021, de Cambio climático y medioambiente. Naciones Unidas. Noticias ONU. Mirada global historias humanas: https://news.un.org/es/story/2018/12/1447821
- Ortega, A. Orozco, C. Gonzales, C. Forero, D. Casas, H. Albarracín, J. Pérez, L. Naranjo, S. y Montayo, S. (2016) Bogotá D.C, hacia una nueva cultura en la gestión integral de los residuos de construcción y demolición. Secretaria Distrital de Ambiente, [SDA]. https://ent.cat/wp-content/uploads/2016/03/Publicacion-Bogota-SDA.pdf
- Pineda Y. & Rey F. (04 de 2012). Mezclas asfálticas drenante modificada con grano de caucho reciclado. Universidad Piloto de Colombia. Facultad Ingeniería. (U. P. grado, Ed.) Recuperado el 17 de 12 de 2021, de polux.unipiloto.edu.co: http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00000377.pdf
- Pinedo, J., García, J., Barros, A., Vesga, J., & Cormane, J. (05 de 10 de 2015). Mezclas asfálticas tibias (MAT). Recuperado el 18 de 12 de 2021, de Prezi.com: https://prezi.com/w3qjtk03rfkj/mezclas-asfalticas-tibias/
- Portafolio. (02 de Diciembre de 2021). Portafolio.co. Recuperado el 01 de 03 de 2022, de Tendencias: https://www.portafolio.co/tendencias/subastas-virtuales-de-chatarra-le-apuestan-a-la-economia-circular-559219
- Practical Action. (febrero de 1994). Alternativas al cemento portland. Practical Action. Technology challenging poverly. (P. Action, Ed.) Obtenido de Practical Action. The Schumacher Centre for Technology and Development: https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-04-28_04-19-5598269.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA. (s.f.). Marco decenal de programas sobre consumo y producción sostenibles. Recuperado el 20 de 12 de 2021, de https://www.oneplanetnetwork.org/sites/default/files/10yfp-general-brochure-es.pdf
- Quintero, C., & Tabares, A. (2015). Metabolismo Urbano en el flujo de materiales de construcción de vivienda de la ciudad de Pereira. Recuperado el 20 de 12 de 2021, de Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de ciencias ambientales. Programa de administración ambiental. Trabajo de Grado: https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/2fb63cfb-e8b0-4351-99ff-40ff7129b107/content

- Remón, R. (8 de septiembre, 2016) casa con ladrillo de plástico reciclado en Colombia. https://arquitecturayempresa.es/noticia/casas-con-ladrillos-de-plastico-reciclado-en-colombia
- Residuosprofesional. (16 de Noviembre de 2017). Residuos profesional. Obtenido de El primer cemento del mundo fabricado con solo residuos: https://www.residuosprofesional.com/primer-cemento-fabricado-residuos/
- Rodgers, L. (17 de 12 de 2018). Cambio climático: el emisor masivo de CO2 que tal vez no conozcas. Obtenido de BBC. Servicios de noticias de la BBC: https://www.bbc.com/news/science-environment-46455844?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com
- Rojas, J. (8 de noviembre 2015) Así es la economía circular, un negocio redondo para Colombia. https://www.elcolombiano.com/negocios/innovacion/economia-circular-en-colombia-es-negocio-HH3081090
- Siderúrgica Sevillana S.A. ((s.f.)). Siderúrgica Sevillana - grupo Riva. (Siderúrgica Sevillana S.A. Sevilla) Recuperado el 28 de 09 de 2021, de Reciclaje de acero. Responsabilidad social: https://www.siderurgicasevillana.com/es/responsabilidad_social/reciclaje_de_acero
- Slawomir W., H., & Takashi, A. (01 de 08 de 1999). Revisión de "El metabolismo de las ciudades" de Abel Wolman: un caso para el reciclaje y la reutilización del agua. Water Science & Technology, 40(4-5). Obtenido de Ciencia y tecnología del agua: https://doi.org/10.2166/wst.1999.0571
- Suárez, S., Betancourt, C., Benavides, J., & Mahecha, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión*. (U. Libre, Ed.) Entramado, 15(1), 2. doi:https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408
- Torres, Isabella. (2014). Vivienda de vida. Propuesta integral de vivienda alternativa digna, adecuada y sostenible para el desarrollo de un nuevo modelo de gestión de VIP. (U. P. Colombia, Ed.) Recuperado el 20 de 12 de 2021, de Universidad Piloto de Colombia. Facultad de Ciencias Ambientales. Programa Gestión A,biental Urbana. Trabajo de grado: http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00001674.pdf
- Trout Lastra, C. (22 de 03 de 2019). Economía circular: más que una necesidad, una oportunidad. (A. -A. Colombia, Editor) Recuperado el 20 de 12 de 2021, de Andi. Más país: http://www.andi.com.co/Home/Noticia/7357-economia-circular-mas-que-una-necesidad
- Ulloa Calderón, A. (abril de 2011). Mezclas asfálticas tibias (MAT). (Pitra, Ed.) Boletín Técnico PITRA. Programa de infraestructura del transporte, 2(15). Obtenido de Boletín técnico PITRA. Programa de infraestructura del transporte: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/xmlui/bitstream/handle/50625112500/364/15.pdf?sequence=1
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí. (2013). Análisis de Ciclo de Vida y Ecodiseño para la Construcción en México (Primera Edición ed.). San Luis Potosí, S. L. P., México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado el 10 de 03 de 2022, de https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Robles-9/publication/337607956_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_y_Ecodiseno_para_la_Construccion_en_Mexico/links/5de01c2c4585159aa45188b0/Analisis-de-Ciclo-de-Vida-y-Ecodiseno-para-la-Construccion-en-Mexico.pdf
- Universidad del Valle. (2005). Producción de ecomateriales con base en residuos sólidos industriales y escombros de construicción. Ecoingeniería. Cali.
- Universidad Pontificia Bolivariana -UPB. (05 de 02 de 2019). UPB se fortalece en química verde. Recuperado el 25 de 03 de 2022, de UPB.upb.edu.co: https://www.upb.edu.co/es/nota/qu%C3%ADmica_verde_formaci%C3%B3n_continua-

- Universitat Politécnica de Valéncia. UPV Innovación. (15 de 11 de 2017). Obtienen un nuevo tipo de cemento a partir de ceniza de hueso de oliva y residuos de altos hornos. (U. Innova, Editor) Recuperado el 17 de 12 de 2021, de Boletín UPV Innova.: https://innovacion.upv.es/es/obtienen-un-nuevo-tipo-de-cemento-a-partir-de-ceniza-de-hueso-de-oliva-y-residuos-de-altos-hornos/
- Varón, L., Sierra, D., & Bedoya, L. (14 de Junio de 2011). Indural: Un aporte significativo a la producción más limpia y la construcción sostenible. (C. U. Lasallista, Ed.) Producción + Limpia, 6(1). Recuperado el 28 de 03 de 2022, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552011000100011
- Vélez, C. O. (2019). Diagnóstico del manejo de residuos sólidos: Un análisis comparativo de los diferentes procesos del sector textil-confección en la ciudad de Medellín. Revista Politécnica, 15(30), 9 - 16. doi:DOI: 10.33571/rpolitec.v15n30a1
- Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. (enero-marzo de 2010). La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. (I. d. Construcción, Ed.) Informes de la Construcción, 62(517), 37-51. doi:doi: 10.3989/ic.09.067
- Walsh, N. (17 de noviembre de 2019). ¿Cuál es el futuro del hormigón en la arquitectura? (ArchDaily, Editor) Recuperado el 17 de 12 de 2021, de archdaily: https://www.archdaily.co/co/928553/cual-es-el-futuro-del-hormigon-en-la-arquitectura

Bibliografía

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (23 de 07 de 2017). *Observatorio ambiental de Bogotá*. Las Mayores tasas de reciclado en Europa. Consultado en: http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/con-la-comunidad/las-mayores-tasas-de-reciclado-en-europa
- Asociación Nacional de Industriales - ANDI. (2018). *El acero colombiano: columna vertebral para el progreso del país*. Bogotá D.C.
- Burger, M., Stravropoulos, S., Dufourmont, J., & Rambumar, S. (2018). *The heterogeneous skill-base of circular economy employment, Research Policy, article in press. Consultado en:* http://dio.org/10.1016/j.respol.201808.015
- Cámara colombiana de la construcción - CAMACOL. Comunicados. Consultado en: https://camacol.co/comunicados/%E2%80%9Ccon-el-dinamismo-de-la-vivienda-social-se-puede-prever-un-2020-deecuperaci%C3%B3n%E2%80%9D-camacol
- Cámara colombiana de la construcción - CAMACOL. Seminario. Pasos firmes hacia la sostenibilidad en Colombia: https://camacol.co/noticias/seminario- pasos-firmes-hacia-la-sostenibilidad-en-Colombia Cámara Colombiana de la Construcción. (08 de 01 de 2019).
- Chemhat.org., s.f. ¿Qué es la química verde? Consultado en: https://www.chemhat.org/es/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-qu%C3%ADmica-verde
- Comisión Europea. (2015). Paquete de Economía Circular. Consultado en https://www.researchgate.net/publication/333511713_Estudio_sobre_la_economia_circular_como_una_alternativa_sustentable_frente_al_ocaso_de_la_economia_tradicional_segunda_parte.
- Corporación autónoma regional del canal del dique - CARDIQUE. (2018). Gestión integral de residuos de construcción y demolición – RCD. Consultado en:

- CYPE Ingenieros, S.A. (22 de 07 de 2018). *CYPE Ingenieros*. Obtenido de Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción: http://gestion.cype.es/impacto_ambiental_analisis_ciclo_de_vida.htm
- Eurostat. (2016). *Eurostat*. *Consultado en* Recovery rate of construction and demolition waste.
- Federación interamericana del cemento (FICEM). (2018). *Informe Estadístico.* Recuperado el 15 de 08 de 2019, de http://ficem.org/dev/wp- content/uploads/2018/09/CIFRAS-DE-LA-INDUSTRIA-CEMENTERA-MUNDIAL.pdf
- Federación nacional de cafeteros de Colombia. (09 de 2011). *Al grano- Noticias e información que lo acercan al mundo cafetero. Consultado en:* https://www.federaciondecafeteros.org/algrano-fnc- es/index.php/comments/colombia_es_cafe
- Fundación Bolívar Davivienda. (2018). Reciclados de Colombia. Obtenido de reciclados industriales Colombia. Consultado en: ttps://www.fundacionbolivardavivienda.org/casos_de_exito/reciclados-industriales/
- Galindo, M. (s.f.). *ECOESMAS*. Obtenido de Mobiliario urbano sostenible: Ejemplos Reales:
  - http://visionamazonia.minambiente.gov.co/news/la-deforestacion-en-colombia-se- redujo-10-en-comparacion-con-el-ano-2017-y-17-respecto-a-la-tendencia-de- crecimiento-estimada-para-2018/
  - https://cardique.gov.co/gestion-integral-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd/
  - https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/cei_wm040
  - https://ecoesmas.com/mobiliario-urbano-sostenible/
- Klepper, S. (1996). Entry, Exit, Growth, and Innovation over the Product Life Cycle. A. E. Association, *American Economic Review. Vol. 86, No. 3* (págs. 562-583).
- Leadership in Energy & Environmental Design - LEED. (2008). *Guía de Conceptos Básicos de Edificios verdes y LEED (segunda edición).* Estados Unidos. Recuperado el 28 de 07 de 2019, de http://www.spaingbc.org/files/Core%20Concepts%20Guide_ES.pdf
- León, Ó. P. (2017). Evaluación y comparación del análisis granulométrico obtenido de agregados naturales y reciclados. Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2013). Decreto 2981 de 2013 *"Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo"*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1077 - Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.*
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos - OCDE. (2017). *Estudios Económicos de la OCDE Colombia, visión general*. Consultado en: www.OCDE.org/eco/surveys/economic-survey-colombia.htm
- Pontificia Universidad Javeriana. (2013). *Gestión de residuos de construcción y demolición – RCD. Perspectivas y limitantes en Bogotá.*
- Red de ciudades cómo vamos. (2014). *Informe sobre la política pública de inclusión de recicladores de oficio en la cadena de reciclaje.* Barranquilla, Bogotá, Bucaramanga, Manizales, Medellín.
- Unidad de Planeación Minero-Energética - UPME, UIS. (2018). Documento de Análisis Internacional. *Realizar un análisis del potencial de reutilización de minerales en Colombia y definir estrategias orientadas a fomentar su aprovechamiento por parte de la industria en el país bajo el enfoque de economía circular.* Informe CI-049-2018. Bucaramanga.
- Visión Amazonía. (10 de 07 de 2019). *MinAmbiente*. Recuperado el 28 de 08 de 2019.

Guía de materiales para la **CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana • DAASU

Bogotá D.C., 2022