

Propuesta para el desarrollo e implementación de una herramienta tipo inventario,  
fundamentada en el concepto de Pasaporte de Materiales, para edificaciones en su  
fase de deconstrucción, como estrategia de transición hacia la economía circular en  
Colombia

Sara Alejandra Aguilar Carrillo

Ingeniera Civil

Director

MCs Nelson Andrés Martínez Marín

Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Maestría en Construcción Sostenible

Mayo de 2023

## Resumen

En el marco político nacional enfocado hacia los avances que permitan un desarrollo sostenible en Colombia, se propone la presente investigación, en la cual se desarrolló un concepto guía para la conceptualización de pasaporte de materiales, que esté enfocado en caracterizar los valores de reúso y reciclabilidad de las edificaciones, con esto poder lograr un aporte hacia la estrategia del Gobierno Nacional en materia de la implementación de herramientas que incentiven una transición hacia la economía circular.

La investigación se enfocó en conocer conceptualmente lo expuesto en metodologías desarrolladas a nivel mundial y su aplicación en proyectos existentes, de tal modo que se logró identificar los elementos base para definir la replicabilidad en Colombia, de modo que permita la interacción y la aplicación de esta tipología de recursos, enfocados a contribuir con las metas del Gobierno Nacional, en materia de sostenibilidad.

Palabras Clave: Pasaporte de materiales, economía Circular, sostenibilidad, Residuos de Construcción y demolición RCD.

## Tabla de contenido

Introducción	7
Planteamiento del Problema	8
Pregunta de Investigación	15
Objetivos	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos	16
Justificación	17
Contexto del Proyecto	26
Político:	26
Económico	34
Social – Cultural	36
Tecnológico	40
Ecológico - Ambiental	45
Legal – Normativo	49
Marco Teórico	56
Herramienta Informática	57
Pasaporte de Materiales	64
Ciclo de vida de las edificaciones	70
Banco de Materiales	74
Economía Circular	80
Gestión de RCD	90

	4
Metodología	96
Enfoque de Investigación	96
Tipo de Investigación	96
Etapas de Investigación	97
Recolección de Datos, Análisis e Interpretación	99
Resultados	102
Beneficios ambientales, sociales y económicos derivados de la determinación del potencial reúso y reciclabilidad de elementos arquitectónicos y estructurales de las edificaciones al final de su vida útil	102
Concepto de Pasaporte de Materiales en el Mundo y su Replicabilidad en los Proyectos de Edificaciones en Colombia	114
BAMB	116
PAS-E	122
Cradle 2 Cradle	124
CB23	127
LEAN 2 CRADLE	129
GABC	130
Concepto de un Modelo Digital de un Banco de Materiales	140
Concepto propuesto:	145
Conclusiones	154
Referencias Bibliográficas	159
Anexos	185

### Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Normativa Vigente</i>	49
<b>Tabla 2</b> <i>Proyección comercial Madera recuperada y Reutilizada</i>	88
<b>Tabla 3</b> <i>Beneficios Ambientales, Sociales y Económicos</i>	185
<b>Tabla 4</b> Análisis de algunos pasaportes de materiales en torno a sus distintivos y adaptabilidad en Colombia	186

## Lista de Figuras

Figura 1. Impacto Ambiental y Económico de los RCD.....	10
Figura 2: Media de recuperación .....	11
Figura 3: Brecha en reciclaje .....	20
Figura 4: Jerarquía de Manejo de Residuos .....	22
Figura 5: Categorías y Vida Útil de los Edificios. ....	72
Figura 6: Economía Circular en el Mundo.....	83
Figura 7: Esquema del proceso de gestión de RCD en la Economía Circular.....	91
Figura 8: Esquema Simplificado del Proceso Futuro del Sector de la Construcción con base en la Economía Circular. ....	93
Figura 9: Esquema metodología.....	99
Figura 10: Grafica de coincidencias beneficios Ambientales, Sociales y Económicos .	108
Figura 11: Etapas y Módulos de un ACV y tipos de DAP ISO 21930:2007 .....	127
Figura 12. Principios Lean2Cradle.....	129
Figura 13: Ficha técnica con criterio de sostenibilidad.....	139
Figura 14: Aplicación de Datos Genéricos y Específicos. ....	143
Figura 15: Procedimientos Simplificados para el Análisis del Inventario.....	145
Figura 16: Modelo Piel de Cebolla.....	152

## Introducción

El sector de la construcción aporta una gran cantidad de residuos que potencialmente podrían ser reutilizados, con el fin de reducir la demanda de recursos naturales. ¿Así como actualmente para las personas naturales se gestiona un pasaporte donde se consigna información suficiente para su identificación, es posible aplicar una herramienta similar a los materiales y elementos que componen una edificación, con el fin de mejorar la gestión de recursos y estimular la economía circular?

El presente documento pretende brindar las bases conceptuales para el desarrollo de una herramienta que contribuya a la óptima identificación de los elementos que componen una edificación por medio de un “Pasaporte de Material”, que favorezca el proceso de cumplimiento de las metas suscritas por el país de acuerdo con la Agenda 2030.

Se lleva a cabo un análisis de las herramientas Pasaporte de Materiales actualmente en uso a nivel mundial, identificando los beneficios ambientales, sociales y económicos, además de su capacidad de implementación en el contexto colombiano

La investigación desarrollada tiene un enfoque cualitativo, mediante el estudio sistemático de los conceptos desde la aplicabilidad de la importancia de un modelo sostenible en el sector de la construcción, orientado a un modelo competitivo basado en la reutilización de materiales, el aprovechamiento la gestión oportuna de los recursos mediante el pasaporte de materiales.

## Planteamiento del Problema

El impacto ambiental del sector de la construcción, sin duda corresponde a uno de los aspectos a tratar bajo un marco de sostenibilidad, en torno al impacto que se causa desde el consumo de materiales y el desecho que genera; con esta perspectiva, en la dinámica de los proyectos de construcción, se logra evidenciar que en dos etapas del ciclo de vida se acentúa la generación de Residuos de Construcción y Demolición (en adelante RCD), los cuales, se definen en la Resolución 472 de 2017, modificada por la resolución 1257 de 2021, como los “Residuos sólidos provenientes de las actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles o de otras actividades conexas” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017); estas son, el proceso de instalación del producto y construcción y el fin de vida, específicamente las fases A5, C1 y C3 según ISO 14040.

Según lo mencionado por (Suárez, 2019) dentro del argumento de POGOTECH (2017), en el mundo, cada año se producen más de 6,5 mil millones de toneladas de RCD, de las cuales entre 2,6 y 3 mil millones de toneladas corresponden a residuos inertes de la construcción y de la demolición.

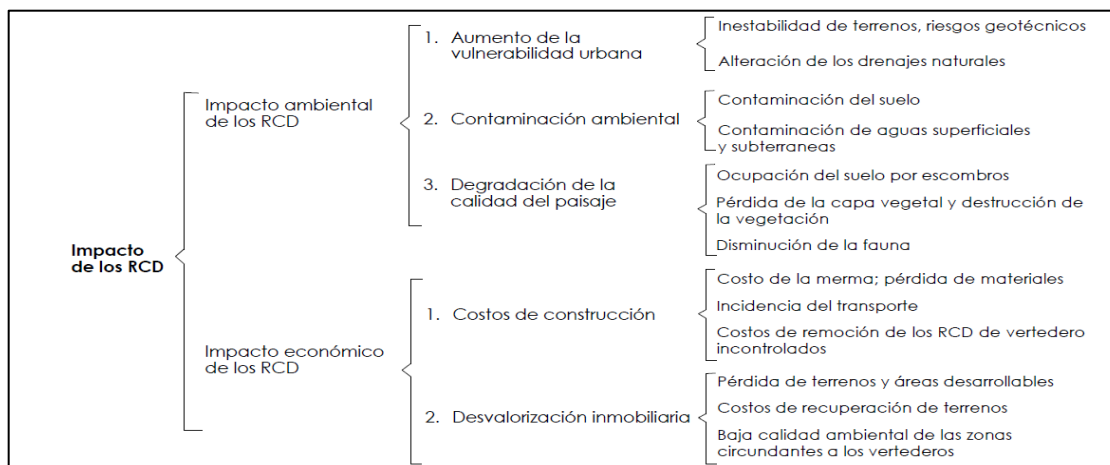
Frente al panorama en Colombia, se encuentra que el país genera cerca de 22 millones de toneladas anuales de residuos de construcción y demolición, de los cuales Bogotá produce alrededor del 68% de ese total. En este contexto, en la Resolución 541 de 1994 se presentan algunos de los primeros esbozos alrededor de la disposición y



manejo de los RCD, y particularmente en la ciudad de Bogotá desde el año 2006, donde “se expide el decreto distrital 312, el cual da vida al programa distrital de reciclaje y aprovechamiento de residuos, incluyendo materiales provenientes de las actividades de la construcción” (Quintero, 2021, p. 18)

A nivel nacional, de acuerdo con lo expuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la generación de RCD ha ido en aumento “en el año 2011 se produjeron en las ciudades de Bogotá, Medellín, Santiago de Cali, Manizales, Cartagena, Pereira, Ibagué, Pasto, Barranquilla, Neiva, Valledupar y San Andrés 22.270.338 toneladas de RCD” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) (MADS en adelante). Así mismo, es importante destacar que las cifras de aprovechamiento de estos residuos se encuentran en un rango deficiente. Por ejemplo, en Bogotá se estima que “poco más del 5 % a 10 % de este tipo de residuos son sometidos a procesos de reciclaje y reutilización” (Suárez et al, 2019, p. 124).

Teniendo en cuenta lo anterior, a pesar de que existen algunas implementaciones por parte del MADS tanto a nivel nacional: la Resolución 1257 de 2021, como a nivel de Bogotá: Resolución 586 de 2015, alrededor de la gestión integral de residuos que incluya el cierre de los ciclos de materiales; en general, se deja de aprovechar un gran porcentaje de residuos cuya posibilidad de incorporarse a los procesos del sector es altamente probable. En ese sentido, la ineficacia de la gestión de los RCD se transforma en una serie de impactos ambientales y económicos. Algunos de estos se precisan en los aportes de Acosta (2005). Figura 1.



**Figura 1. Impacto Ambiental y Económico de los RCD.**

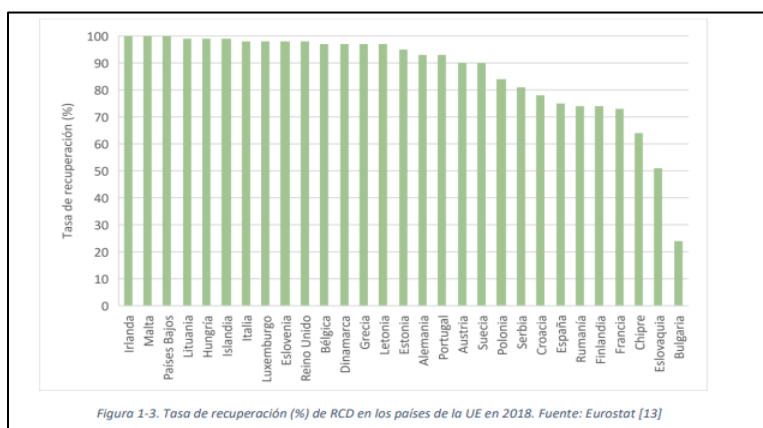
Fuente: Tomado de Acosta (2005).

Desde otra perspectiva, como lo indican en las conclusiones de diferentes casos de estudios ya citados como:

Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali, Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición: limitaciones, Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá y La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio, además de identificar las necesidades de enfrentar el manejo de los RCD, desde las etapas de diseño, se determina una estrategia común que ha tomado fuerza recientemente, el reciclaje de los RCD (Suárez et al, 2019 p 230).

En consecuencia, la estrategia aborda desde diferentes perspectivas, los intereses de las entidades desde el concepto de reincorporación de materiales en procesos para el aprovechamiento, dado que, de manera general “el 67% de las empresas son conscientes de las problemáticas de los RCD, sólo el 22% entiende el valor de clasificar y separar los RCD” (Suárez et al, 2019).

En relación con las diferentes estrategias que han sido desarrolladas para el tratamiento de los RCD en el mundo, en contraste con la experiencia en Colombia, en la Unión Europea en el año 2018, se generaron 378 millones de toneladas de RCD, situación que se ha mantenido constante desde el año 2010 (Pérez, p. 7, 2021); dentro de los datos hallados, se encuentra que la media de recuperación en la UE es del 90% en el 2018, donde “la base de datos europea define la tasa de recuperación como la cantidad de RCD preparados para la reutilización, reciclado o sujetos a recuperación de materiales, incluyendo relleno, dividida entre la cantidad de RCD tratados” (Pérez, p. 8, 2021). Lo anterior se observa en la Figura 2 que muestra la media de algunos países de la Unión Europea para el año 2018:



**Figura 2: Media de recuperación**

Fuente: Eurostat (2021)

A pesar de que la media del valor porcentual del reciclaje y aprovechamiento de los RCD's de la Unión Europea es alta y constante, superior a la experimentada en Colombia, es importante hacer hincapié en las dificultades que presenta el proceso de reciclaje de los RCD, pues se encuentra que, en el sector de la construcción, es difícil el uso de materiales secundarios y, aunque las tasas de reciclaje son altas, en muchas

ocasiones el material de reciclaje de los RCD termina siendo de peor calidad que el original. De esta manera, se identifican diferentes limitaciones para que se lleven a cabo procesos de reciclaje de acuerdo con Salazar et al., (2015) en la ciudad de Santiago de Cali y en gran parte de ciudades colombianas, “la inexistencia de normas técnicas que hayan sido avaladas por estudios e investigaciones científicas, que permitan el uso de materiales obtenidos a partir de escombros en obras de construcción civil y la falta de medios que faciliten y estimulen una gestión adecuada”. (p.9)

Una de las acciones más implementadas es el reciclaje, se debe entender que, de acuerdo a los desafíos ambientales que actualmente se vivencia, el reciclaje no es suficiente para superar la gran cantidad de desechos que se produce en el mundo y adicionalmente se deben contemplar los impactos negativos asociados a los procesos adicionales que se deben llevar a cabo para lograr la reutilización e incorporación del material reciclado al nuevo producto, con lo cual, se generan emisiones y consumos de agua y energéticos. (Romina, David, Mantero, Nemirovsky, Parisi, Peinado, Florencia, Soldevila, Torres y Turek, 2021).

Respecto al impacto negativo que se deriva de los procesos de reciclaje, específicamente en el campo de las sustancias tóxicas en el reciclaje de plásticos, en la construcción se encuentra presente éste material en pisos, revestimientos, fuentes de aislamientos térmicos, retardantes contrafuego, puertas, ventanas, ductos, y

diferentes derivados del PVC, entre otros, la investigación de (Hahkadakis, Velis, Weber, Iacovidou & Puernell) realiza la siguiente aseveración:

Varias sustancias tóxicas como por ejemplo metales tóxicos, BFRs, Contaminantes orgánicos persistentes (COPs), e Hidrocarburos aromáticos Policíclicos (PAHs), podrían potencialmente liberarse mediante la aplicación de diversas técnicas de reciclaje, especialmente en países subdesarrollados donde las condiciones de clasificación, reprocesamiento y reciclaje la mayor parte del tiempo no están controladas; algunos aditivos podrían tener un impacto directo en la reciclabilidad de los plásticos o incluso en su degradación. (p. 17)

En atención a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) tras la conversión de residuos en energía, por sus siglas en inglés de Waste to Energy, WTE mediante procesos de incineración, Ying Chu Chen, en su artículo publicado en el Journal of Cleaner Production de la editorial Board, muestra el alcance de los GEI con las siguientes cifras “La incineración de residuos plásticos produjo la mayor cantidad de GEI (874.66 Gg CO<sub>2</sub>-eq), seguidos de residuos de papel (53.92 Gg CO<sub>2</sub>-eq), residuos textiles (12.61 Gg CO<sub>2</sub>-eq), y los residuos de caucho (11.41 Gg Co<sub>2</sub>-eq).” (Chen, 2018, p. 6)

Adicionalmente se debe tener presente la importancia que resulta de entender que “Los edificios consumen entre el 20 y el 50% de los recursos físicos según su entorno. El sector de la construcción es un gran consumidor de recursos naturales

como la madera, los minerales, el agua y la energía”. (Cámara Colombiana de la Construcción, s.f.)

Dentro de las reflexiones de un análisis de los últimos 70 años del actuar de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, en su libro, Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad, se destaca el desafío de “incorporar en su sistema de pensamiento elementos como los límites biofísicos y su escala temporal, el contorno del patrimonio natural crítico y las escalas de producción y consumo ecológicamente sostenibles” (Domínguez, Sánchez, Sunkel, Samaniego, & León, 2019)

Dado lo anteriormente mencionado, se hace necesario que existan iniciativas para que se desarrollen herramientas que faciliten la identificación y caracterización de los materiales aprovechables en las edificaciones en la etapa de fin de vida, de manera que se estimule su reincorporación en nuevos proyectos, como un modelo de circularidad de elementos constructivos en Colombia.

### **Pregunta de Investigación**

¿Cuáles serían los elementos conceptuales necesarios para el desarrollo de una herramienta informática que bajo el concepto de “Pasaporte de Materiales”, permitan identificar el potencial de reuso y reciclabilidad de los elementos estructurales o arquitectónicos que componen las edificaciones en su fase de fin de vida, y en consecuencia, funcione en la gestión de un banco de materiales y de esa manera estimular la transición hacia una economía circular como estrategia para alcanzar las metas con un impacto en la Agenda 2030 en Colombia?

## Objetivos

### Objetivo General

Proponer los elementos conceptuales para el desarrollo de una herramienta informática que permita identificar el potencial de reúso de elementos arquitectónicos y estructurales al final de la vida útil de las edificaciones en Colombia, bajo el concepto de “Pasaporte de Materiales”, posibilitando la incorporación de estos recursos en nuevos proyectos, estimulando así, la implementación de una economía circular como estrategia para alcanzar las metas del país, de acuerdo con la Agenda 2030.

### Objetivos Específicos

- Identificar los beneficios ambientales, sociales y económicos derivados de la determinación del potencial reúso y reciclabilidad de elementos arquitectónicos y estructurales de las edificaciones al final de su vida útil, a través de un análisis sistemático de literatura.
- Identificar las diferentes herramientas que, bajo el concepto de pasaporte de materiales, han sido desarrolladas en el mundo, y evaluar su replicabilidad en los proyectos de edificaciones en Colombia.
- Generar un concepto de cómo se puede estructurar un modelo de un banco de materiales a partir de las fichas de información obtenida del inventario.



## Justificación

El desarrollo de herramientas y políticas articuladas a la protección del medio ambiente en una relación simbiótica entre demanda y producción corresponde un reto para la humanidad, cuyo compromiso representa una necesidad perentoria para la construcción de un entorno tanto competitivo como capaz de reducir su impacto en la huella ecológica.

Dado lo anterior, acciones estratégicas como el desarrollo de pasaportes de materiales, brindan una oportunidad para hacer una mejor gestión en el manejo de los residuos, la disposición final, la reutilización y reciclaje de los materiales empleados en los procesos de construcción y edificación. Prácticas como las mencionadas (reutilización, reciclaje, adecuada disposición final, etc) consolidan una aproximación a la noción de una economía circular, que conforme avanza el tiempo, se está incorporando cada vez más en los procesos industriales, entre ellos la construcción.

Adicionalmente, estas prácticas persiguen la obtención de un mayor beneficio y un menor impacto ambiental, de tal forma que se mejoren parámetros de productividad a partir de criterios de eficiencia y sostenibilidad.

La Asamblea General de la ONU, presenta un plan de acción a partir de la adopción de la Agenda 2030, mediante el cual, se busca un equilibrio entre las tres principales dimensiones del desarrollo sostenible (social, económico y ambiental) mediante 17 objetivos y 169 metas que deberán ser lideradas y priorizadas por los

diferentes departamentos administrativos de los gobiernos, y el fortalecimiento de acciones tendientes al obedecimiento de las políticas y normativa vigente y de obligatorio cumplimiento en relación a la implementación de criterios de sostenibilidad en las construcciones; se crea la Comisión Interinstitucional para el Alistamiento y Efectiva Implementación de la Agenda Post 2015 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), bajo éste marco, el gobierno nacional de Colombia define la estrategia y se crean distintos mecanismos como lo son el documento del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), la Política nacional de edificaciones sostenibles CONPES 3919, el decreto 1285 del 2015 y la Estrategia Nacional de Economía Circular (ENEC).

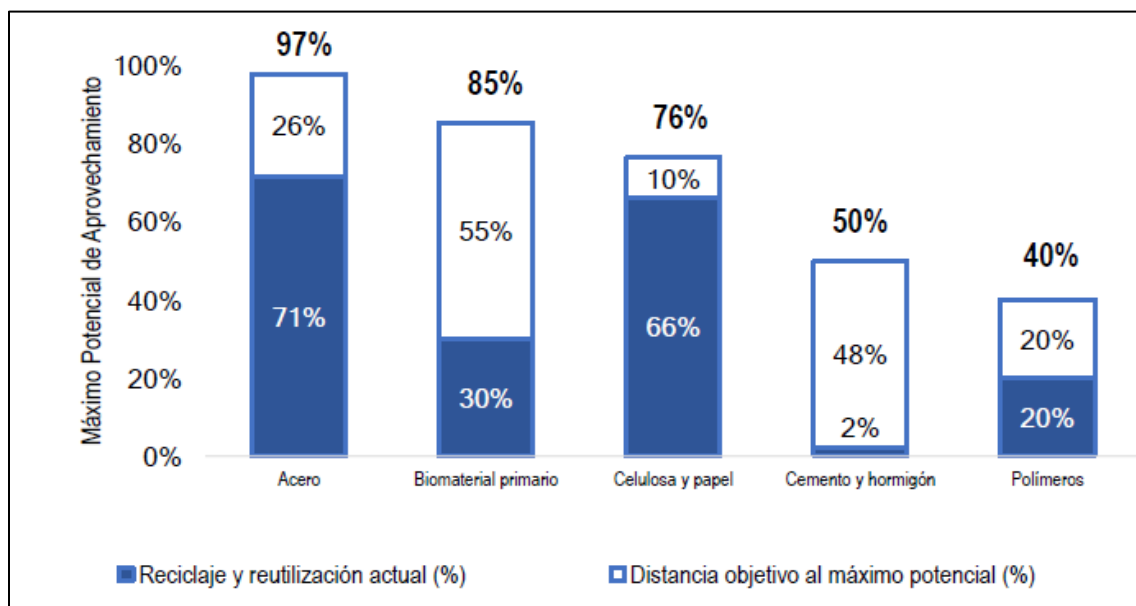
Conviene entonces resaltar aquí, que la promoción de esta agenda de desarrollo urbanístico, arquitectónico y de construcción sostenible, ha sido promovida en primera instancia por la ONU, en el marco de la responsabilidad con el cambio climático, la reducción de emisiones y los principios de Economía Circular (EC). (Rodríguez, Villadiego, Padilla y Osorio, 2018).

Articulando estos instrumentos e intenciones, conviene enfatizar en la estrategia para la implementación de los ODS en Colombia a través del documento CONPES 3918, y en específico el plan de acción para el ODS 9, Industria, innovación e infraestructura, ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles, y el ODS 12 Producción y consumo responsables, que se componen de diferentes metas como lo son, la meta 9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad; el 11.6 que

se enfoca en reducir el impacto ambiental negativo prestando especial atención a la gestión de desechos municipales; el ODS 12 se enmarca en la meta de alcanzar a 2030 una tasa de reciclaje de residuos sólidos de 17.9%.

Para conseguir generar un impacto en las prácticas y dinámicas de conciencia ambiental que permitan el cumplimiento de lo anterior, se deberán concentrar esfuerzos en programas que maximicen la importancia de acción teniendo en cuenta la priorización que la Unión Europea establece en el Artículo 4, de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento y del Consejo europeos, para la gestión de residuos que donde define la jerarquía así: “a) prevención; b) preparación para la reutilización; c) reciclado; d) otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética; y e) eliminación”. (EUR-Lex, 2008, p. 1)

En relación con lo anterior, desde el año 2018, el Gobierno Nacional de Colombia, al desarrollar la Estrategia Nacional de Economía Circular “propende por un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valoración continua de los recursos”(MADS, 2019,p.10), y entendiendo las condiciones de la brecha en el potencial de reciclaje y reutilización, como se observa en la Figura 3, se evidencia necesario promover proyectos que incentiven y guíen la transformación del modelo económico predominante hacia una economía circular, la cual pretende aumentar significativamente la tasa de reciclaje y reutilización de residuos, que hoy se encuentra en el 8,7%, para que ascienda en el año 2030 al 17,9%. (Gobierno de la República de Colombia 2019).



**Figura 3: Brecha en reciclaje**  
Fuente: República de Colombia (2019)

A nivel nacional también se cuenta con la Resolución 472 de 2017, actualizada por la Resolución 1257 de 2021, expedida por el MADS en la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición, aumentando la meta anterior en la cual pretendía alcanzar un aprovechamiento del 30% de los RCD y de manera vigente, de acuerdo con la categoría municipal, se alcanzará a 2030 hasta un 75% de aprovechamiento de los RCD generados en obra, de ahí la importancia de crear mecanismos que generen conciencia ambiental considerando las buenas prácticas de la gestión de los residuos.

De igual modo, es importante recalcar que, aunque las administraciones locales como la Alcaldía Mayor de Bogotá, han generado normativa al respecto, como el Decreto 586 de 2015 el cual propende por la mayor recuperación y reincorporación de

escombros al proceso constructivo de la ciudad, así como la utilización de plantas de reciclaje, mediante la adopción de mecanismos de seguimiento, control y vigilancia que garanticen que todos los generadores de escombros, públicos y privados adopten medidas para darles un adecuado manejo, siguen existiendo grandes brechas en torno al potencial de reciclaje y reutilización que podría tener lugar y seguir contribuyendo en esta transición de modelo. (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2015).

Agregando a lo anterior, entre las estrategias de mitigación de la misma ciudad, se ha generado un seguimiento y control de las obras desde el año 2011, consecuencia de la consolidación de una normativa distrital para la regulación de los RCD, logrando un aprovechamiento de más de cuatro millones de toneladas, equivalentes al 21% de los residuos. Luego, es preciso señalar que, si bien esto es un avance en términos de implementación de prácticas para el fomento de la circularidad económica, de acuerdo con las necesidades actuales, no representa un avance sustancial, por lo que se puede estimar la existencia de una brecha entre el potencial de reciclaje y la utilización de los recursos de acuerdo con lo expuesto en la Figura 3 del presente documento.

En lo que respecta a otra de las ciudades más importantes del país, Medellín, se realizó la proyección de generación de residuos de construcción y demolición desde el año 2015 hasta el año 2027, dando como resultado una generación para el año 2027 de 1.899.855 m<sup>3</sup> equivalentes a 2.526.807 toneladas (Alcaldía de Medellín, 2015).

“En Cali, por su parte, se producen aproximadamente 2500 m<sup>3</sup>/día de residuos de construcción y demolición (RCD), situando a esta ciudad entre los primeros puestos de las capitales colombianas con mayor generación de este tipo de residuos”. (Suárez, Betancourt, Molina y Mahecha, 2019, p. 229). La investigación propuesta, busca principalmente enfocar el instrumento de inventario hacia el segundo escalón en la escalera; es decir, la reutilización, y en caso tal de encontrar que de manera efectiva no es viable se valorará el tercero, para lograr identificar el potencial de reutilización y reciclabilidad que tiene el edificio evaluado, de manera gráfica se ilustra esta jerarquía en la Figura 4.



**Figura 4: Jerarquía de Manejo de Residuos**

Nota. Tomado de Jiménez (2018).

Teniendo en cuenta las grandes cifras de generación de RCD en las algunas de las principales ciudades del país y la brecha en el aprovechamiento que muestra incluso la misma capital, es necesario tener en cuenta lo establecido en el CONPES 3919; documento rector de la política de sostenibilidad en la industria de la

construcción en Colombia, máxime teniendo en cuenta que se cuenta con una expectativa que dentro de los próximos 34 años se incrementa en 19 millones de personas la población urbana, lo que conlleva una mirada crítica frente los procesos de sostenibilidad. (Durán, 2017)

Este aspecto resulta de particular interés, consecuencia del impacto ambiental que la construcción genera, por esto controlar el consumo de materiales con un alto rendimiento y adaptación dentro del modelo de economía circular toma gran relevancia; así pues, destacan variadas normativas que regulan la materia, como lo es la Norma Técnica Colombiana (NTC) 6112 del 2016, en donde se especifican criterios ambientales para el diseño y construcción de edificaciones sostenibles en diferentes ejes como el uso eficiente del agua, eficiencia energética, reducción de emisiones y calidad del aire, y en particular, con el objeto de ésta investigación, la selección de los materiales, en donde se determina el uso de materiales con contenido reciclado y elementos reutilizables “No menos del 20% del total de los materiales de construcción usados en el proyecto, basado en masa o costo directo final, debe ser de material reciclado; los elementos utilizados en el proceso constructivo tales como andamios, formaletas temporales deben ser reutilizables” (Rico, 2016), así mismo algunas como la NTC 2500 orientada a materiales específicos de gran consumo en la industria de la construcción como la madera, ésta tiene como objeto optimizar el empleo de la madera y sus productos derivados en la construcción y el mantenimiento de las edificaciones, generando unos parámetros del correcto uso de los materiales y de esta manera lograr controlar el consumo adecuado por cada proyecto.

De este modo, este estudio pretende recoger una serie de elementos conceptuales, que permitan ser base de una herramienta en la que se logren identificar el potencial de reúso de elementos arquitectónicos y estructurales al final de la vida útil de las edificaciones en Colombia, así como demás aspectos recogidos en el marco de la Agenda 2030 y que versan especialmente con los ODS 9 específicamente la meta 9.1, ODS 11 y su meta 11.6 y ODS 12, con las sobre la implementación de estrategias que fortalezcan la adopción de prácticas sostenibles, esto con el propósito de acelerar las prácticas de circularidad que se efectúan dentro de las industria de la construcción en Colombia.

Finalmente, teniendo en cuenta la problemática alrededor de los incrementos que se están presentando en las cantidades de RCD, las notables brechas en torno a la reutilización de estos últimos y en general las limitadas prácticas para para el fomento de la circularidad, como el reciclaje incorporado a la industria de la construcción y edificaciones, entre otros.

Bajo este espectro, lo anterior se encuentra soportado fundamentalmente en la necesidad de transitar hacia un modelo económico y productivo sostenible, construido a partir de estrategias de circularidad como, en este caso, la reutilización de materiales. Así mismo, es importante destacar que el incremento de los RCD guarda una relación estrecha con el crecimiento urbano, y que esto, al ser progresivo; genera también un espacio que justifica la implementación de propuestas como la que aquí se presenta.



El presente estudio tiene como objeto proponer los elementos conceptuales para el desarrollo de una herramienta informática que permita identificar el potencial de reúso de elementos arquitectónicos y estructurales al final de la vida útil de las edificaciones en Colombia, bajo el concepto de “Pasaporte de Materiales”. Para ello se realiza la identificación de los beneficios Ambientales, Sociales y Económicos de la implementación de éste tipo de herramientas y la identificación de las principales características de pasaportes de materiales disponibles a nivel mundial y los elementos que dichas herramientas tienen en cuenta con el fin de presentar una propuesta con afinidad a las necesidades del sector de la construcción en Colombia.

Se justifica la importancia de la realización de ésta investigación, considerando esta como un instrumento potencial para incorporarse debidamente a un avance significativo que aporte a la implementación de estrategias en la dinámica de Economía Circular y aportar positivamente al desarrollo ambiental de la nación.

## Contexto del Proyecto

Con el objeto de realizar el análisis del contexto en el que se va a desarrollar el proyecto, se empleó el modelo PESTEL, en el cual se identifican los diferentes factores externos en el marco político, económico, sociocultural, tecnológico, ecológico y legal.

### Político:

En el contexto internacional, las políticas de cuidado ambiental de reuso de materiales se encuentran vinculadas al protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la Unión Europea UE. Para lo cual, se parte de la jerarquización de los residuos y la estrategia temática de prevención y reciclado de residuos (European Commission, 2015). Puesto que, con la intervención efectiva para la reutilización se ofrecen ventajas ambientales relacionadas con la reelaboración de materiales desde el manejo de las materias primas. La recuperación de los materiales permite garantizar índices de reutilización en soporte de un modelo sostenible.

La UE basados en la Política del medio ambiente, adoptó el Pacto Verde Europeo dentro del cual se propone un paquete de medidas para activar y agilizar la transición hacia la economía circular, esto se expone en el Plan de Acción de Economía Circular (CE, 2020) en dónde se presentan un conjunto de iniciativas interrelacionadas cuyo fin es

Establecer un marco sólido y coherente para la política de productos que convierta en norma la sostenibilidad de los mismos, así como de los servicios y

modelos de negocio, además de transformar las pautas de consumo para evitar que se produzcan residuos en primer lugar.(p. 4)

Así mismo, se establecen los objetivos para el desarrollo sostenible, los cuales se proyectan en la Agenda 2030, la cual de acuerdo con el documento CEPAL (2018) menciona que:

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 Objetivos y 169 metas, presenta una visión ambiciosa del desarrollo sostenible e integra sus dimensiones económica, social y ambiental. Esta nueva Agenda es la expresión de los deseos, aspiraciones y prioridades de la comunidad internacional para los próximos 15 años. La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente.

Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático. (p. 7)

En el mismo documento se definen prioridades para la región latinoamericana: “La diversificación de la matriz productiva, con inversiones públicas y privadas que hagan viables los patrones de producción, consumo y energéticos con menores emisiones de carbono, la economía circular y las ciudades inteligentes” (p.11)

Lo anterior, enmarca los procesos independientes y colectivos desarrolladas bajo el concepto de recuperación de recursos, de ahí, la economía circular un frente de acción en el cual la adopción de pasaportes de materiales constituye una estrategia con un gran potencial de impacto positivo en materia ambiental para el sector productivo.

La Agenda 2030, la cual “pretende retomar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y conseguir lo que estos no lograron” (DNP, 2019), será la hoja de ruta para la implementación de los 17 ODS y las 169 metas que se acordaron en la XXI conferencia sobre el cambio climático celebrada en París donde se suscribe el Acuerdo de París sobre el cambio Climático – COP21, los 195 países participantes se comprometen a establecer acciones que mitiguen las emisiones de gases de efecto invernadero.

En ese sentido, Colombia como país activo y partícipe de acuerdos internacionales, y como precursor de políticas enfocadas en la sostenibilidad en la región, tiene establecidas diferentes estrategias orientadas a dar un impulso político para la transformación del país a largo plazo, bajo una visión de sostenibilidad que se traza de manera general en el marco del CONPES 3918, donde se consignan como una necesidad de la humanidad, el establecimiento de parámetros mínimos que garanticen la prosperidad y el bienestar de las personas, en convergencia con la conservación del medio ambiente mediante objetivos y metas específicas de las cuales se recalcan las siguientes:

- Industria, innovación e infraestructura, mediante el indicador de acceso a internet en los hogares parte de la línea base en el año 2015 de: 41,8% en miras de un incremento en el año 2018 de:49,9% y para el 2030:100%
- Ciudades y comunidades sostenibles: a partir del indicador de hogares urbanos con déficit cuantitativo de vivienda, se pretendió establecer una línea base para el año 2015 de 8,6%, con una perspectiva de crecimiento progresivo para el año 2018 de 10.0% y para 2030 de 17,9%, mejorando sustancialmente este indicador.
- Acción por el clima, desde el indicador de reducción de emisiones totales de gases efecto invernadero espera una meta en el 2030 de 51%. (DNP, 2022, p.1)

Para efectos de este proyecto, estas necesidades de transición, se agrupan en el contenido del CONPES 3919, que tiene que ver con la agenda propuesta para la implementación de la construcción sostenible en Colombia.

Por otra parte, es importante relacionar el CONPES 3919 - Política Nacional de Edificaciones Sostenibles, con la cual se pretende promover la inclusión de “criterios de sostenibilidad dentro del ciclo de vida de las edificaciones, a través de instrumentos para la transición, seguimiento y control, e incentivos financieros que permitan implementar iniciativas de construcción sostenible con un horizonte de acción hasta el 2025” (DNP, 2018)

Respecto de lo anterior, es importante señalar que el CONPES 3919 constituye buena parte de la ruta que el país decidió tomar desde vísperas de 2018, en lo que

tiene que ver con la apuesta por la construcción sostenible también en el marco de la Agenda 2030. Así, algunos de los avances que se han consolidado en desarrollo normativo de la divulgación del CONPES son la expedición de resoluciones como la 0549 de 2015, por medio de la cual se adopta y emite una guía para el ahorro de agua y energía en las edificaciones.

De manera adicional el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, ha emitido normativa referente como la Norma Técnica Colombiana NTC 6112 de 2016, la cual sienta un precedente para el cambio de paradigma en el sector colombiano de la construcción, ya que mediante ésta se disponen algunos criterios para el diseño y construcción de edificaciones sostenibles con uso diferente a vivienda. (Consejo Nacional de Política Económica y Social CONPES y Departamento Nacional de Planeación, 2018).

De manera similar, vale la pena también mencionar aquí lo consignado en la NTC 21930 del 2021, donde se actualizan los parámetros de sostenibilidad para edificaciones y obras de ingeniería civil, así como se clasifican las reglas básicas para las declaraciones ambientales tanto de los productos como los servicios de construcción. En esta versa sobre el análisis de los ciclos de vida de las edificaciones, la regla de categoría del producto (edificación), los análisis de inventarios, los indicadores de Economía Circular y la declaración ambiental de las edificaciones u obras.

Otro de los avances que se han logrado en este escenario de transición de modelo en Colombia, tienen que ver con el hecho de que la 'construcción verde' está

empezando a captar la atención de las entidades financieras, lo que ha promovido en los últimos años mejores condiciones de crédito para la realización de proyectos de edificación sostenible. (Ospina, 2022).

Adicionalmente, se establece la Estrategia Nacional de Economía Circular “Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio”, con la cual se aspira a cumplir con las metas del CONPES 3934 – Política de 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 gases efecto invernadero en un 20% en el año 2030” (MADS, 2019, p.8), éste último actualizado en el documento de Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC) el 10 de diciembre de 2020, estableciendo un compromiso de “emitir como máximo 169.44 millones de t CO<sub>2</sub> eq en 2030 (equivalente a una reducción del 51% de las emisiones respecto a la proyección de emisiones en 2030 en el escenario de referencia)” (GNC, 2020) En ese sentido, es importante también destacar lo que previamente ya se mencionó sobre el desaprovechamiento de la capacidad para reincorporar estos residuos a distintos procesos productivos dentro de la industria, que es del 21%, valor que supera la meta trazada en la ciudad capital de Colombia, lo cual proyecta un panorama positivo en el país y servirá de referencia para avanzar hacia la consecución de un resultado global nacional.

Finalmente, y en consecuencia al objeto de la presente investigación, es importante mencionar y tener en consideración el CONPES 3874 – Política Nacional

para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, con el cual se desea “Implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático.” (DNP, 2016, p.4)

El Plan Nacional de Desarrollo 2022 – 2026 de Colombia, Impulsado por el Gobierno en (Urrego et al., 2023) contempla en el capítulo 4 “Transformación productiva, internacionalización y acción climática” como catalizador, la reindustrialización a través de la promoción del uso sostenible de la biodiversidad, incorporando criterios de economía circular con la intensificación del conocimiento e innovación (p.147) ; la introducción del uso de certificaciones, mejores prácticas y metodologías de diseño para desarrollar infraestructura pública sostenible que fomente el uso de energías renovables y la economía circular (p.152)

El PND además contempla la construcción de ciudades y hábitats resilientes mediante la adopción de un enfoque de economía circular que permita el aprovechamiento de los recursos naturales con el fin de mantenerlos el mayor tiempo posible en la economía. Se promueve la transformación de las ciudades integradas eficazmente con la planificación urbana y con edificaciones sostenibles e infraestructura verde aprovechando los recursos físicos y humanos locales (p.161)

El PND incluye modelos de bioeconomía basados en el conocimiento y la innovación donde se intensificará la investigación y el desarrollo tecnológico, creando modelos de negocios incluyentes, con enfoque de circularidad, generando



encadenamientos productivos de alto valor agregado en los sectores agropecuario, forestal, pesquero, farmacéutico, textil, turismo y diferentes ramas de la bioeconomía. (p. 169). El turismo se promoverá con justicia ambiental e incorporará criterios de economía circular configurándolo como una alternativa para la transición de territorios dependientes de economías extractivas (p. 170).

Adicionalmente, El País usará eficientemente los recursos, e incorporará los materiales recuperados en nuevas cadenas de valor y reducirá su disposición final con especial énfasis en los plásticos de un solo uso. Con este fin, se presentará la Ley de Gestión Integral de Residuos con enfoque de economía circular. Además, se formulará la Política Nacional de Producción y Consumo Responsable para desarrollar el modelo de economía circular y se estructurarán proyectos estratégicos regionales para el desarrollo de la infraestructura de gestión de residuos, con enfoque de cierre de ciclos. (p. 171)

Así las cosas, en este plan se resuelve como necesario que el país necesita transitar hacia un modelo diferente al extractivista, a partir de la democratización de energías limpias que posibiliten generar capacidades nacionales que permitan mitigar los efectos del cambio climático, contribuyendo también a la superación de la crisis global, sobre la base fundamental de que el modelo actual pone en peligro la existencia humana.

Finalmente se precisa mencionar que la administración actual debe enfrentar verdaderamente el compromiso de la Agenda 2030, por lo tanto, construir políticas y

mecanismos funcionales para el logro de tales fines. Esto implica también el aumento de la rigurosidad normativa que tiene lugar en pro de estos mismos objetivos.

### Económico

La implementación de un modelo de economía circular conlleva a generar impactos positivos desde el pilar económico de la sostenibilidad.

El uso de menos materiales, agua y energía por producto y servicio producido implica ahorros importantes en la adquisición, además de ahorros en el manejo de las materias primas, agua y energía; a su vez, reduce los costos para acceder a materiales escasos (MADS, 2019, p.25).

La Estrategia nacional de economía circular ha sido desarrollada a partir de un proceso de concertación entre diversos actores del sector público y privado con intereses en la transformación de las cadenas productivas y las ciudades sostenibles. Los Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Comercio, Industria y Turismo, Vivienda, Ciudad y Territorio, Agricultura y Desarrollo Rural, Transporte, Minas y Energía y Educación Nacional, el Departamento Nacional de Planeación y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE,

Han desarrollado talleres regionales de concertación en diferentes ciudades del territorio nacional, así como mesas interinstitucionales y jornadas de economía circular con sectores productivos para validar la estrategia, identificar iniciativas existentes y conocer las barreras y oportunidades para escalar la transformación hacia la economía circular. (MADS, 2019, p. 12).

En la industria de la construcción, Colombia se encuentra en tercer lugar países de América Latina, luego de Brasil y México, el desarrollo de este sector sin duda está directamente ligado al desarrollo socioeconómico del país, pues este aumento se traduce en infraestructura de viviendas, transportes, vías, comercio, genera entre 5% y 10 % de empleo y de igual forma aporta al crecimiento de Producto Interno Bruto (PIB) que en el caso de Colombia para el 2009 según el DANE fue de 5,8% , en 2017 fue del 7%. Así mismo “el Departamento Nacional de Planeación estima que en los próximos 10 años la generación de residuos sólidos crezca en el país en un 20%. En la actualidad tiene datos que en el país sólo se recicla el 17%” (Arias, 2018, p.9)

La construcción es uno de los sectores con mayor influencia en la demanda total de productos de otros sectores económicos, debido a la gran cantidad de insumos requeridos en la ejecución de sus actividades (construcción de edificaciones, construcción de obras civiles y servicios generales de la construcción). Los porcentajes más significativos están representados en los agregados para la elaboración del concreto como piedra, arena y arcilla, con un 81%; mismo porcentaje que se observa en los productos de vidrio y algunos productos no metálicos.

Es posible evidenciar, además, la existencia de otros productos demandados por la construcción con una menor proporción, tales como productos metálicos elaborados, excepto maquinaria y equipo (71%), servicios de construcción (68%), maquinaria y aparatos eléctricos (54%), productos de madera, corcho, cestería y espartería (53%),

seguidos de metales básicos (45%) y productos de la 49 silvicultura y de la explotación forestal con un 43%. (CAMACOL, 2019, pág. 49).

Finalmente, pese a no existir información precisa sobre el monto estimado de los ingresos que se pueden percibir a partir de la gestión de los RCD, el análisis de Mejía, Giraldo & Ramírez (2013), refiere que la gestión de residuos, y especialmente de residuos y materiales empleados en la industria de la construcción, se convertirá en uno de los negocios más rentables para el país en el mediano plazo. Este análisis se soporta bajo la premisa que, a nivel nacional, se estima que la proporción de edificaciones destruidas es de 0,6% con respecto a lo previamente construido. Así mismo, el volumen edificado aumenta anualmente alrededor del 5%. (Ibidem).

#### Social – Cultural

La necesidad de las empresas de innovar constantemente debido en parte al cambio acelerado que experimenta la globalización ha obligado a los empresarios a buscar y adoptar nuevas medidas, las cuales requieren actualizar frente a las políticas de consumo que ayuden a frenar y minimizar el cambio climático, abogando por un consumo sostenible y responsable que piense en el futuro del planeta a partir del entendimiento en su incidencia sobre el sector social y cultural. En esa medida, se hace urgente estudiar otras formas de economía que puedan contribuir en la solución de estos problemas y los que vayan surgiendo en futuro, por lo anterior, se considera pertinente analizar el modelo de economía circular dentro del presente proyecto.

Dicho modelo de economía consiste en “mantener los materiales, productos y componentes en procesos circulares, donde estos pueden ser reintegrados a la cadena de valor una vez terminada su vida útil, procurando que los materiales pierdan el menor valor posible” (Quinde, 2021, p. 225), con lo cual, se pretende hacer el mayor uso de todos los elementos que integren la cadena de producción dentro de una empresa, buscando minimizar no solo los costos, sino también los impactos medioambientales.

El desarrollo de estrategias que innovan y transforman procesos, en el caso de la presente investigación, la implementación de un modelo de circularidad para la gestión de recursos requerirá la acción de nuevos perfiles profesionales y operativos, con lo cual se estimulará la generación de empleo.

Lo anterior, se evidencia dentro del Marco Nacional de Cualificaciones que dispone dentro de su modelo de acción un PHVA basado en la caracterización del sector, identificación de brechas de capital humano, delimitación de áreas ocupacionales y funcionales y estructuración de la cualificación, con lo cual, se fortalece la cadena de valor, desde sus cimientos de gestión y negociación de los proyectos. Basados en tendencias como: Universal desing, construcción industrializada (BIM), Data science, Sostenibilidad gestión y adaptación al cambio climático y Digitalización. (Durán,2017)

Igualmente, es importante tener en cuenta que el reciclaje en general se ha convertido en el sustento de muchas familias colombianas, pues a corte del 2020, en

número de organizaciones dedicadas a las labores de reciclaje, eran alrededor de 320, y los trabajadores a los que empleaba ascendían de 30.000, por lo que, se podría afirmar que existe una alta cantidad de familias que dependen de ello. (Valenzuela, 2020).

En la ciudad de Bogotá, los generadores y poseedores de RCD, deberán contar con la aprobación de un Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (PGRCD) , por parte de la Secretaría de Ambiente, cuyas características dependerán de acuerdo con las áreas de intervención o bien, la cantidad de residuos de construcción generados, según las Resolución 932 de 2015, en la cual se determinan porcentajes mínimos de aprovechamiento y procesos de aprovechamiento, como los expuestos en el parágrafo 1:

- Demolición selectiva: Este proceso va enfocado a la separación en la fuente, consistente en la separación cuidadosa, que busca obtener los materiales con potencial reciclable o de reutilización al momento de una demolición, permitiendo aprovechar residuos y disminuir el volumen de residuos generados.
- Reutilización: Consiste en volver a utilizar un material o residuo en un mismo estado, sin reprocesamiento de la materia, el cual ofrece nuevas alternativas de aplicación. Se puede hacer directamente en la obra donde son generados o se puede ejecutar en otro tipo de obras. Si se reutilizan RCD en una obra diferente a donde se generan, esto debe ser reportado a través del Plan de Gestión de RCD e informado previamente a la Secretaría Distrital de Ambiente.

- Reciclaje: Proceso donde los residuos de construcción y demolición son recolectados y transformados en nuevos materiales, que puedan ser reincorporados a los ciclos productivos y utilizados como nuevos productos o materias primas. En el proceso de reciclaje se puede recurrir al uso de plantas móviles, que permiten procesar los RCD en el lugar donde se está llevando a cabo la obra. (Cancillería, 2015)

En esa medida y teniendo en cuenta la búsqueda de diseños y estrategias sostenibles, también es preciso mencionar algunos criterios que pueden ser tenidos en cuenta en relación con la elección de materiales que cumplan dichos criterios, dentro de los cuales se encuentran:

- Materiales que contribuyan en la conservación del ciclo hidrológico del lugar, donde se pueda maximizar, por ejemplo, la infiltración de aguas pluviales mejorando también su calidad.
- Productos que busquen la retención de carbono.
- Reducción del efecto isla de calor.
- Reducción del consumo de energía.
- Reducción del consumo de agua.

Teniendo en cuenta la perspectiva planteada anteriormente, resulta importante indagar si algunos de los elementos expuestos se llevan a cabo en Colombia o si en un futuro podría plantearse la implementación de ello en el país, pues a pesar del avance principalmente en las ciudades capitales impulsado por las metas e indicadores para el

flujo de materiales de construcción consignados en la Estrategia Nacional de Economía Circular, donde se establece como línea base para la tasa de aprovechamiento de los RCD el 10%, así como una línea base para el incremento de proyectos que promuevan este tipo de prácticas de circularidad en un 5% (Gobierno de la República de Colombia, 2019).

De esta manera, y de acuerdo con el talante de las problemáticas medioambientales actuales que se enfrentan no solo en Colombia sino a nivel mundial, vale la pena entonces mencionar que estos propósitos o metas no convergen con el contexto, no suministran las bases suficientes para que se trate con la celeridad meritoria, contribuyendo a una transición justa que permita facilitar el acceso a dichas oportunidades, mitigando los impactos negativos socioculturales en el contexto de la industria de la construcción, que se deriven de la dilación de la implementación de las oportunidades proyectadas.

### Tecnológico

A partir del progreso legislativo, se ha evidenciado el interés en generar propuestas tecnológicas enfocadas hacia la recuperación y reincorporación de RCD como productos que generen valor bajo conceptos como el Upcycling propuesto por William McDonough y Michael Braungart en el libro: De la cuna a la cuna. Rediseñando la forma en que hacemos las cosas, en el cual conceptualizan la manera de reutilizar materiales aprovechándolos en creación de nuevos.



De manera similar se han implementado planes de gestión de manejo de escombros a través de metodologías de análisis de flujo de materiales de escombros generados por eventos sísmicos o desastres naturales, lo que, si bien no es la misma causa raíz, sí representa un panorama dentro de la problemática de la administración de residuos estructurales.

En Corea, se ha desarrollado un modelo de optimización bajo técnicas multicriterio como ANP y Fuzzy TOPSIS de asignación de un sitio de gestión temporal de escombros de desastres (TDDMS) en el cual se realizan clasificaciones por tipología de material, los recursos que se requieren para los procesos de recolección y permite incorporar datos cualitativos de modo que contribuya en la toma de decisiones en una red de suministros y asignaciones de residuos bien sea para actividades de reconstrucción o reciclaje. “se pueden seleccionar ubicaciones adecuadas y optimizar la asignación de desechos. Por tanto, se pueden reciclar de una manera eficiente que aumentaría la sostenibilidad de una región afectada por un desastre” (Habib & Sarkar, 2017, p.23)

Asi mismo en la región de latinoamérica, se ha estudiado una metodología con un enfoque que permita determinar planes de manejos de escombros luego de un evento sísmico, que mediante análisis de flujos de materiales (MFA) caracterizan y cuantifican los materiales para la etapa de reconstrucción. Como se encuentra en el artículo Metodología para caracterizar y cuantificar la generación de escombros en edificaciones residenciales luego de eventos sísmicos de la revista Recursos,

conservación y reciclaje “metodología útil para estimar la cantidad de materiales el MFA proporciona una estimación de flujos con base en opciones de fin de vida seleccionadas e importación regional de materiales (cemento, acero, ladrillo y madera) para la fase de reconstrucción” (García Torres, Kahhat, & Santa Cruz, 2016,p.8)

De acuerdo con la necesidad global de establecer estrategias de manejo de residuos en diferentes escenarios, actualmente, son distintas las empresas que ejecutan actividades en torno a la mejora de sus procesos, conjunto del desarrollo de competencias para la reducción de la huella de carbono, por lo que, iniciativas en Colombia, como lo que se conoce como el Primer Laboratorio de Economía Circular, donde se incluyen tres espacios: “la sala de creación e innovación, dedicada a la construcción de modelos de negocio, productos y soluciones a los retos de economía circular; la sala de cómputo, con tecnología 4.0, que permitirá ensayos de mezcla de materiales y el diseño de prototipos, y la sala de alistamiento y transformación de materiales reciclados, que cuenta con equipos especializados para la recepción de residuos y su acondicionamiento para ser transformados e integrados a nuevos productos” (MADS, 2022, p.1); son una parte esencial en la creación de dinámicas comerciales y productivas beneficiosas para el medio ambiente y la sociedad.

Contribuir en la implementación de este tipo de estrategias de sostenibilidad para el sector de la construcción, también puede llegar a favorecer el campo de la economía nacional, pues se pueden generar alternativas en diferentes ámbitos donde se piense la utilización de diversos recursos con los cuales se cuenta y, donde también

se pueda poner en acción las propuestas que ofrece la economía circular. (Monroy, 2014, p. 23).

Dentro del componente tecnológico, vale la pena mencionar algunas iniciativas de negocio cuyo objetivo misional converge estrechamente con los principios esenciales de EC. Así, uno de estos proyectos tiene por objeto transformar basura plástica y residuos (caucho) en un sistema alternativo para la construcción de 'ladrillos', en el proceso se derrite el plástico sobre la base de un molde, donde posteriormente se añaden más elementos, y que cuyo resultado final es una estructura sólida que, en conjunto, permite ensamblar toda la estructura y la coraza de una vivienda. Este tipo de propuestas alternativas han sido empleadas especialmente en la construcción de viviendas temporales, viviendas y otro tipo de edificaciones. (Remón, 2016),

Otra de las iniciativas que han surgido en el marco de la Construcción Verde es la transformación de las Cenizas Volantes en una especie de cemento que puede incluso brindar mejores prestaciones que el cemento tradicional en cuanto a la densidad del concreto, el aumento de la resistencia de este, mejores acabados; entre otros. Estas *cenizas* surgen como resultado de algunos procesos industriales que involucran combustión, y hasta hace alrededor de 5 años se pensaba que únicamente era un desperdicio. Se empiezan a implementar en el marco de las Viviendas de Interés Social (VIS) y uno de sus principales beneficios, además de aquellos que apelan propiamente a la conservación del medioambiente, es el ahorro de costes, pues su elaboración y posterior implementación en la industria, supone cerca de un 20%

menos respecto al cemento tradicional. (Bedoya, 2011). En este mismo marco en el 2019 se realizó una investigación que evalúa la Mejora del desempeño ambiental y energético de la vivienda de interés prioritario en Medellín con el uso de ladrillos cerámicos modificados en dónde Restrepo-Zapata & Cadavid-Restrepo, (2019) demuestran que

El uso de ladrillos modificados constituye una oportunidad para minimizar el consumo de recursos naturales no renovables –como la arcilla y el carbón– empleados tradicionalmente en la fabricación de vivienda, así como para recuperar, reciclar y reintegrar recursos alternativos provenientes de fuentes secundarias, como los residuos sólidos urbanos. Se demostró que es posible, contribuir no solo a la disminución de la huella de carbono de la vivienda de interés prioritario, sino también a la generación de un conjunto de externalidades, entre las que destacan la innovación y desarrollo tecnológico, nuevos procesos industriales y modelos de negocio, mayor rentabilidad y competitividad empresarial, responsabilidad social, disminución en la generación de impactos ambientales (p.1)

Finalmente, es importante mencionar que en 2018 el total de toneladas dispuestas fue de 252.819. Sin embargo, la tendencia para el periodo 2012-2018 fue negativa y reflejó una disminución del 52% en los flujos que salen de la economía hacia el ambiente. Lo anterior evidenció las mejoras tecnológicas en la gestión de residuos sólidos por parte de las unidades especializadas de esta actividad y reveló que, pese a que la generación de residuos sólidos es creciente, la gestión de estos tiende a ser

más eficiente al disminuir la cantidad de flujos de materiales hacia el ambiente. (DANE, 2020, pág. 42).

### Ecológico - Ambiental

Con la implementación de estrategias enfocadas hacia la economía circular, como se especifica en el modelo de la Estrategia de Economía circular, se puede llegar a alcanzar un balance por el uso versus la extracción de materias primas, lo que se traduce en la protección de la atmósfera por la reducción de las emisiones de dióxido de carbono en los procesos de extracción, de igual manera:

El modelo circular disminuye la presión sobre los recursos naturales no renovables, reduce la generación de emisiones y residuos descargados en el ambiente, reemplaza materiales no renovables por biodegradables, aumenta el uso de energía a partir de fuentes renovables y contribuye a la conservación de fuentes hídricas mediante el uso eficiente del agua. (MADS, 2019, p.26)

Con lo descrito anteriormente, el pasaporte de materiales a nivel mundial ha encontrado un nicho en un sector competitivo, que adopta la dinámica ambiental en promoción de prácticas con un mayor impacto y beneficio ambiental, así mismo, optimización del recurso desde la figura de la economía circular, lo que facilita el desarrollo de nuevos procesos enfocados en el reciclaje de materiales, el pasaporte de materiales en perspectiva a nivel local, es una base para el cumplimiento de los compromisos adquiridos por Colombia en torno la agenda 2030 de acuerdo a lo expuesto en apartados anteriores.

El enfoque sostenible en Colombia y en el mundo se ha orientado satisfactoriamente hacia la incorporación de análisis bioclimáticos también el interés hacia la gestión de diferentes certificaciones o sellos de calidad para las edificaciones, con lo cual se implementan estrategias de eficiencia energética, hidráulica, etc, como lo exponen el equipo de especialistas autores del Manual Ambiental para Procesos Constructivos (Área Metropolitana del Valle de Aburrá; Secretaría del Medio Ambiente de Medellín; Empresas Públicas de Medellín, 2010),

En la mayoría de los proyectos, éstos aspectos se concentran en las etapas de diseño, y del funcionamiento del edificio, dejando la etapa de la ejecución desvalida del manejo sostenible de los recursos. Precisamente sobre este importante aspecto trata el manual; conocer procesos simples pero efectivos de preservación de afluentes, evitar la emisión de material particulado a la atmósfera, separar adecuadamente los residuos de construcción y demolición, etc., son ejercicios que deberán convertirse en hábito para los constructores (p.6)

En el mismo documento en su versión actualizada a 2014, (Fajardo et al., 2014) se plantea un programa para el manejo de residuos sólidos que se generan en el proceso de construcción de obras de infraestructura con el cual se plantea el objetivo de:

Permitir un adecuado manejo, ya que al separar adecuadamente los residuos se puede aprovechar un mayor porcentaje de material reciclable,

disminuyendo así el volumen total a disponer en el relleno sanitario o la escombrera según el tipo de residuo, esto también se reflejará en los costos de transporte asociados. Los impactos a controlar con la implementación de medidas de manejo son los siguientes:

- Generación de emisiones atmosféricas.
- Generación de ruido.
- Generación y aporte de sólidos tanto en redes de alcantarillado como en corrientes superficiales.
- Molestias a los peatones y usuarios de los sitios donde se desarrollan las obras por la obstrucción total y/o parcial del espacio público (vías, andenes, alamedas etc).
- Pérdida de la capa vegetal.
- Alteración del paisaje. (p.56)

En el ámbito nacional, existe la preocupación del aumento de la generación de residuos de la actividad constructiva, ya que en 2010 se generaron 11.599,74 toneladas al día de RCD, y en 2018 esto aumentó a 14.667,46 toneladas al día (Superservicios, 2019), un crecimiento superior al 30% sin completar una década en la evaluación, pero esta preocupación se eleva desde el entendido, de como las ciudades están preparadas para manejar este tipo de residuos.

Y es que únicamente el Distrito Capital, dispone diariamente 6.366,24 toneladas de RCD, casi el 50% del total generado en el país (Superservicios,

2019), y por esta razón, las autoridades distritales han dispuesto de un marco normativo en la gestión de la disposición final de RCD, donde a partir de los lineamientos de la política de gestión de estos residuos, que permite a la ciudad evaluar, controlar y hacer seguimiento a la generación, transporte y disposición final de los RCD.

Este dato es muy importante teniendo en cuenta la participación de la ciudad en el impacto total nacional, pero algo preocupante es que este tipo de gestión es muy pobre en los municipios, como el caso del Departamento de Antioquia, donde el 61% de los gestores de RCD de todo el departamento, se encuentran en la zona del Valle de Aburra, donde está ubicada la ciudad de Medellín, y 97 de los 125 municipios de Antioquia, no tienen gestores RCD autorizados, quedando sin una debida disposición final de este residuo más del 70% del área departamental (Medellín, 2020).

En relación con la gestión de los residuos, es importante lograr una gestión sustentable de los recursos naturales, a través del enfoque de la economía circular y el manejo ambientalmente racional de los residuos, implementando la jerarquía en el manejo de residuos, a través de la coordinación de los organismos públicos, privados y la participación de la sociedad civil. (ONU, 2016)



## Legal – Normativo

A continuación, se clasifica el contexto normativo bajo el que se concibe y dispone el RCD, junto a los parámetros que especifican los criterios ambientales en Colombia que perfilan la adopción de metas referentes a la agenda 2030, lo anterior, con el objeto de distinguir elementos relacionados en el que hacer ambiental y los compromisos adquiridos por el sector de la construcción. Ver Tabla 1: Normativa Vigente.

Normativa	Subsector	Concepto	Relevancia en el estudio
Decreto Ley 2811 de 1974	Edificación	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	El primer decreto a nivel nacional que busca preservar y restaurar el medio ambiente, prevenir y controlar los impactos reglamentando el uso de los recursos naturales.
Ley 0061 de 1978	Edificación e Infraestructura	Intervención del estado para mejorar condiciones económicas, sociales y ecológicas de las ciudades	Velará por el desarrollo de las áreas urbanas regulado dentro de una política nacional de equilibrio entre las diversas regiones del territorio y entre las zonas rurales, urbanas y de conservación ecológica.
Ley 0009 de 1989	Edificación e infraestructura	Disposiciones sobre planes de desarrollo municipal,	Entendimiento de características a nivel socio cultural exigibles a escala

Normativa	Subsector	Concepto	Relevancia en el estudio
		compraventa y expropiación de bienes	Municipal, a través del manejo del espacio público y la ejecución de proyectos de urbanización.
Ley 002 de 1991	Edificación	Inclusión de las viviendas de interés social (VIS adelante) en planes de desarrollo	La estructuración de los proyectos municipales de vivienda, deberán garantizar la validación técnica de entes reguladores, con lo que se
Ley 003 de 1991	Edificación	Se reglamenta el Sistema General de las VIS	lograrían controles eficientes ante las disposiciones legales sostenibles que den a lugar.
Ley 93 de 1993	Infraestructura	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables	Recalca la política ambiental nacional orientándola a los principios establecidos en la declaración de Rio de Janeiro, dentro de los que se destacan el fortalecimiento de capacidad científica, tecnológica para buscar mecanismos innovadores de protección ambiental
Ley 400 de 1997	Edificación e Infraestructura	Establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas, así como de aquellas	De ésta manera se hace obligatorio una supervisión técnica profesional desde los diseños, lo que brinda seguridad y calidad a las

<b>Normativa</b>	<b>Subsector</b>	<b>Concepto</b>	<b>Relevancia en el estudio</b>
		indispensables para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo	la propuestas de innovación con criterios de sostenibilidad como el desamblaje o en la evaluación de capacidades técnicas en los casos de reciclaje de edificaciones o elementos a utilizar en nuevos diseños
Ley 435 de 1998	Edificación e Infraestructura	Reglamenta el ejercicio de la profesión de Arquitectura y sus profesiones auxiliares	
Resolución 01115 de 2012	Edificación e Infraestructura	Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital	Determina en la ciudad capital las reglas para el manejo de los residuos sólidos, velando por un ambiente sano, y alineado con los artículos 79 y 80 de la constitución política, lo cual brinda las herramientas para que de una manera sostenible se implementen
Resolución 00932 de 2015	Edificación e Infraestructura	Actualización de la resolución 01115 de 2012	métodos efectivos de recolección y tratamiento de estos residuos, garantizando
Resolución 1138 de 2013	Edificación e Infraestructura	Por la cual se adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de La Construcción	Permite realizar un adecuado control y seguimiento al aprovechamiento, manejo y disposición final de los RCD

Normativa	Subsector	Concepto	Relevancia en el estudio
Decreto 586 de 2015	Edificación e Infraestructura	Por medio del cual se adopta el modelo eficiente y sostenible de gestión de los Residuos de Construcción y Demolición - RCD en Bogotá D.C.	
Decreto 1285 de 2015	Edificación	Lineamientos de construcción sostenible para edificaciones	Determina los lineamientos de construcción sostenible para edificaciones, que tengan un propósito social de mejoramiento que brinden calidad de vida a los habitantes.
Resolución 549 de 2015	Edificación	Parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones	Establece los porcentajes mínimos y medidas de ahorro de agua y energía en las edificaciones nuevas, aquí es un punto a evaluar las condiciones que se le deberían plantear al uso de los materiales
Resolución 472 de 2017 actualizada por Resolución 1257 de 2021	Edificación e Infraestructura	Gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición – RCD	Dicha resolución ha servido como un parámetro relevante y con gran importancia en cuanto a los temas decuantificación de las cantidades, almacenamiento,

Normativa	Subsector	Concepto	Relevancia en el estudio
			transporte, aprovechamiento y disposición de residuos de RCD a nivel nacional
Estrategia Nacional de Economía Circular ENEC	Edificación e Infraestructura	La Estrategia nacional de economía circular del Gobierno Nacional propende por un nuevo modelo de desarrollo económico que incluye la valorización continua de los recursos, el cierre de ciclos de materiales, agua y energía, la creación de nuevos modelos de negocio	Base fundamental de la estrategia de alineación de compromisos hacia una economía circular en el país.

**Tabla 1: Normativa Vigente**  
Fuente: Adaptado CAMACOL (2019).

Llegado este punto, vale la pena mencionar que en las últimas décadas Colombia ha emitido una amplia normativa en materia de cuidado ambiental y en el fomento de las prácticas circulares incorporadas a la industria de la construcción, cuyo reflejo se evidencia fundamentalmente en reglamentos y políticas pública como los documentos CONPES 3919 Y 3918, entre algunas estrategias como la implementación del Plan Nacional de Economía Circular del Gobierno anterior. No obstante, se resalta también que las más importantes regulaciones en esta materia son relativamente recientes, sin embargo, han sido pensadas para acotar progresivamente todas estas

prácticas económicas e industriales a los requerimientos consignados en el marco de la Agenda 2030.

Así mismo, es importante destacar que estas normatividades recientes, específicamente la Hoja de Ruta Nacional de Edificaciones Neto Cero Carbono, donde se establecen objetivos puntuales, además de realizar un proceso de identificación de actores entre los sectores público y privado, y las acciones concretas que estos deben realizar para articularse con la necesidad de comenzar el proceso de descarbonización, como las trazadas en la Estrategia climática de largo plazo de Colombia E2050 para cumplir con el Acuerdo de París E2050, en dónde como por ejemplo desde su opción de transformación 28, propone que “para el 2050 el 100% de las edificaciones nuevas, infraestructura y renovaciones deben generar cero emisiones de carbono embebido y que el 100% de las edificaciones nuevas y existentes deberán ser neto cero a nivel operacional” (E2050, 2021, p. 88), donde la herramienta de Pasaporte de Materiales sería una buena opción para dar respuesta a esta necesidad, al vincular estrategias de circularidad de materiales en las nuevas edificaciones de vivienda permitiendo un proceso de recopilación de información de los materiales existentes en cada proyecto y su posterior cadena de reutilización.

De igual forma, dentro de la política nacional propuesta en el documento CONPES 3919, se reconoce la necesidad de promover estrategias y criterios de sostenibilidad en edificaciones en todo su ciclo de vida, con ello se genera la posibilidad real de implementar a gran escala herramientas como los pasaportes de

materiales en Colombia como un instrumento viable para emprender la ruta de la transición de modelo productivo, teniendo en cuenta principalmente que la industria de la construcción es una de las principales generadoras de residuos en el país, como ya se había precisado.

## Marco Teórico

A continuación, se presenta la relación de algunos autores y teorías enfocadas a la investigación realizada, presentado desde un discurso concatenado con el objetivo general del proyecto.

Dentro de las ideas que pretenden la búsqueda de implementación de la construcción de proyectos sostenibles en Colombia, así como la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), se hace necesaria la indagación de fuentes que contribuyan en la consolidación del estudio sobre el Pasaporte de Materiales, figura que promueve en aspectos como la reciclabilidad, la prevención y el reúso de los materiales obtenidos en las edificaciones en el país y que en esa medida contribuya en la disminución de los residuos producidos y desaprovechados en el marco de las construcciones.

En ese sentido, indagar en la literatura académica, científica y técnica hecha por otros autores, tanto a nivel nacional como internacional, se hace necesario en la medida en la que contribuyen a ampliar la visión sobre las formas en las cuales se han orientado los procesos de construcción basados en la optimización de los recursos y la responsabilidad ambiental, aspecto a destacar que el debate sobre la necesidad de comenzar a proponer una adecuada valorización de los materiales que tienen los edificios al final de su vida útil, los cuales se pueden llegar a reutilizar.



## Herramienta Informática

De acuerdo con la definición procedente del voculario especificado por la ISO/IEC/IEEE 24765:2010, en su concepto 3.3135 Herramienta, se identifican 3 definiciones:

- Un producto de software que brinda soporte para los procesos del ciclo de vida del sistema y del software. ISO/IEC 15474-1:2002, Tecnología de la información — Marco CDIF — Parte 1: Descripción general.4.2.
- Algo tangible, como una plantilla o un programa de software, utilizado para realizar una actividad para producir un producto o resultado. Una guía de los fundamentos de la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®) — Cuarta edición.
- Un dispositivo que realiza o asiste en el desempeño de tareas de proceso de usuario u organización que respaldan, directa o indirectamente, el logro de los objetivos de producción. IEEE Std 1175.2-2006 Práctica recomendada de IEEE para la interconexión de la herramienta CASE — Caracterización de las interconexiones

En el concepto 3.522 se define Programa de computador como:

- Una combinación de instrucciones de computadora y definiciones de datos que permiten que el hardware de la computadora realice funciones computacionales o de control
- Una unidad sintáctica que se ajusta a las reglas de un lenguaje de programación en particular y que se compone de declaraciones y declaraciones o instrucciones necesarias para una determinada función , tarea o solución de problema. ISO/IEC

2382-1:1993, Tecnología de la información. Vocabulario. Parte 1: Términos fundamentales. 01.05.01 cf. Software

Y de manera complementaria, la definición de Software en el concepto 3.2741 como:

- Todo o parte de los programas, procedimientos, reglas y documentación asociada de un sistema de procesamiento de información. ISO/IEC 2382-1:1993, Tecnología de la información. Vocabulario. Parte 1: Términos fundamentales. 01.01.08.
- Programas informáticos, procedimientos y posiblemente documentación y datos asociados relacionados con el funcionamiento de un sistema informático. IEEE Std 829-2008 Estándar IEEE para documentación de pruebas de sistemas y software.3.1.32.
- Programa o conjunto de programas utilizados para hacer funcionar una computadora. ISO/IEC 26514, Ingeniería de sistemas y software: requisitos para diseñadores y desarrolladores de documentación de usuario.4.46

De acuerdo con la definición de (Pérez Porto & Merino, 2021) en el artículo Qué es, herramientas, orígenes, en el trabajo y en la informática “El concepto de herramienta también se utiliza para nombrar a cualquier procedimiento que mejora la capacidad de realizar ciertas tareas. De esta forma, es posible hablar de herramientas informáticas: Microsoft Office es una herramienta para desarrollar tareas de oficina”.(p.4)

El portal especializado en temas de arquitectura, construcción, paisajismo y arte, Arkiplus, define en su artículo Las herramientas informáticas

“Cuando hablamos de herramientas informáticas, nos referimos a diversas utilidades que nos sirven para nuestro trabajo o bien simplificar tareas diarias, ya sea desde programas hasta redes sociales. Las herramientas informáticas son aquellas que nos permiten avanzar, implementar y trabajar con las tecnologías de la información y la computación. La variedad de herramientas informáticas es muy amplia; Los tipos de herramientas informáticas más frecuentes son los programas (o software) los equipos de computación y servidores (hardware) aplicaciones (como Skype, Whatsapp y otras) y redes de información como redes de datos y otros.”

De acuerdo con (Wellener et al., 2021)

“La mayoría de las empresas de ingeniería y construcción han tardado en adoptar las tecnologías digitales, Si bien varias empresas utilizan lo digital como una herramienta para crear nuevas oportunidades comerciales y mejorar los márgenes, muchas de ellas están perdiendo la oportunidad de implementación de enfoques innovadores que permitirían reducir costos y mejorar la ejecución de proyectos.” (p.3)

En el 2018, la Cámara Colombiana de la Construcción CAMACOL, asociado con una firma consultora privada, McKinsey & Co, desarrollaron un estudio de productividad

los investigadores (Bonilla Botía & Buitrago Vargas, 2018), en uno de sus módulos de análisis, el rezago tecnológico frente al nivel internacional, del cual se obtuvo:

“Las tecnologías en las que hay más interés por adoptar en los próximos años son BIM (85%), la construcción modular (64%) y la impresión 3D en sitio (62%). De esta manera, se observa que, si bien existe un rezago en la adopción de tecnología en el sector, también hay un interés por comenzar a implementarla en el mediano plazo”.(p.30)

Las herramientas informáticas surgen en pleno auge de la gestión de la información. Se estructuran a partir de la necesidad de trasladar, compartir, difundir, o poner de manifiesto tal o cual información donde puede estar contenido uno o una serie de conocimientos. Las herramientas informáticas recogen una serie de datos, de conocimiento, que puede ser codificado, gestionado y organizado de la manera más pertinente posible, de acuerdo con un fin previamente determinado, esto es, de lo que se trate la implementación de tal o cual herramienta informática. (Polanco, Ferrer y Fernandez 2018).

Las herramientas informáticas, almacenan, configuran y organizan datos a partir del contenido con el que se alimenta, donde, su principal objetivo es sistematizar la información para su posterior filtro, definición y categorización. (Polanco, Ferrer y Fernandez 2018). Resulta oportuno además destacar dichas herramientas surgen precisamente dentro del auge de la gestión de la información, pues de lo que se tratan precisamente se relaciona con el aumento de la capacidad de almacenamiento y

gestión eficiente de datos, así como de su respectivo tránsito, difusión, transformación, edición, actualización o cualesquiera que sean los procesos intermedios que estos datos sufran de manera previa a su llegada al ente receptor.

Bajo esta perspectiva, recursos como la metodología BIM o Building Information Modeling “es un sistema de gestión de las obras de construcción que está basado en el uso de un modelo tridimensional virtual relacionado con bases de datos” (ITeC, 2020, p. 1). La metodología BIM permite la creación de proyectos u objetivos basados en sus propios atributos, lo que representan elementos constructivos físicos a controlar y gestionar, con el sistema de maquetado virtual conectado a las bases de datos de almacenaje de materiales e información, permite el cálculo preciso de las cantidades, dentro de un proceso de gestión de calidad, esto facilita la planeación de los proyectos desde un entorno operativo, generando un conocimiento competitivo innovador en el sector de la construcción.

Así puesta, la implementación del BIM refiere una oportunidad para la sostenibilidad y depuración de los procesos a través del concepto de ciclo de vida. Por lo cual, intervienen desde la sinergia la construcción, operación, mantenimiento, diseño y finalmente la deconstrucción. Algunos de los programas más importantes en la industria BIM en el mundo son All Plan, ArchiCAD y Revit, en Colombia Revit es el Software más utilizado porque se involucra con la parte técnica de los proyectos.

(Ramos, 2017, p. 8)

En ese sentido, en el sector de la construcción se busca la aplicación de herramientas informáticas como el Internet of Things (IoT), el cual "supone la evolución de Internet desde una red de ordenadores interconectados hasta una red de objetos interconexionados" (Barrio, 2018), tal como se evidencia en la "incorporación de sensores en sistemas de climatización centralizados para el reparto de gastos y recogida de datos de consumos energéticos en edificios residenciales plurifamiliares" (Fernández, 2022, p. 23).

Otras herramientas informáticas aplicadas a la construcción son el "Big data", el cual se caracteriza por ser una herramienta que implica una alta cantidad de volumen en su desarrollo, proporcionando mayor optimización en las cadenas de producción, innovación, eficiencia operativa y capacidad de autoaprendizaje; el "cloud computing" o computación en la nube, "es un modelo de computación que permite al proveedor tecnológico ofrecer servicios informáticos a través de internet. De esta forma los recursos, es decir, el hardware, el software y los datos se pueden ofrecer bajo demanda" (Instituto Nacional de Ciberseguridad, 2017); y "ciberseguridad", la cual proporciona confianza y seguridad en las transacciones que se realicen en la industria.

Desde el contexto internacional, la Fundación Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC), brinda servicios enfocados en al manejo de los recursos materiales para la construcción basado en el almacenaje de información desde el Software de Gestión (TCQ/TCQi), donde se valora, planifica, controla y gestionan las obras y su mantenimiento, desde el apoyo de (ITec, 2020) una base de

datos BEDEC en la que se clasifica cada proyecto y evalúa la información necesario para el trabajo desde una perspectiva de medición del ciclo de vida, garantía para un mayor rendimiento en los distintos proyectos y el manejo de los materiales.

Con el enfoque productivo del sector de la construcción, el Portal Verde de Chile o Chile Green Building Council, permite el estudio de información de tipo técnica y comercial referente a los materiales, servicios y productos que identifican características sustentables validadas en corroboración a los procesos de certificación LEED v3, LEED v4 y Certificación Edificio Sustentable-CES. El portal busca generar un acceso a información actualizada que respalden la toma de decisiones en la construcción de proyectos bajo el pilar de la sostenibilidad y los requisitos necesarios para el cumplimiento de los objetivos ambientales dentro del concepto de una economía circular. (GBC Chile, 2021)

En el contexto local colombiano, el proyecto BIMBAU articula los beneficios de la metodología BIM desde una perspectiva comercial que explora los materiales e insumos de construcción necesarios para la ejecución de proyectos. Desde la plataforma, se puede organizar las necesidades del proyecto y la designación de roles, lo que facilita la distinción de actividades y cumplimiento de objetivos. Por ello, ofrece en su librería objetos BIM, en beneficio de un proceso de planeación y ejecución de proyectos en vanguardia y manejo eficaz de los materiales, por lo que, conecta la cadena de abastecimiento desde la integración de los responsables del proceso de construcción. (BIMBAU, 2019)

Así mismo, el caso Superuse Studios, otra entidad relacionada con la construcción pero que propiamente se encarga de diseñar sistemas para la adaptación paulatina de los pasaportes de materiales. (Cornet, 2019). Esta visión concentra parte del entramado que representa BAMB, metodología en la cual, desde la implementación de un proyecto, se da por sentado que en un futuro próximo estos materiales serán utilizados nuevamente.

### Pasaporte de Materiales

Acerca del manejo de los recursos materiales en términos de reciclaje y reuso, se están desarrollando herramientas como los Pasaporte de materiales (MP) a nivel global, por ejemplo, el proyecto financiado por la UE, Building as Materials Banks (BAMB) que define a los MP como “Conjuntos (digitales) de datos que describen características definidas de materiales y componentes en productos y sistemas que les dan valor para el presente uso, recuperación y reutilización”(Mulhall et al., 2017,p.3), en el mismo documento definen la Plataforma de pasaporte de materiales (MPP), como “Es una plataforma de software para crear pasaporte de materiales”(Mulhall et al., 2017,p.3).

El proyecto (Mulhall et al., 2017) logró identificar tres diferentes tipologías de MP, uno para productos, uno para edificios, y otro para componentes definiéndose así:

Pasaporte de materiales para producto es un conjunto de datos que describe un producto. Este conjunto de datos es específicamente de un producto



particular de un determinado fabricante, pero no incluye los datos de los componentes, información se basa en gran medida en la información del fabricante del producto en particular (p.14)

Los Pasaporte de Materiales para edificios son conjuntos de datos que contienen información relacionada a cada proyecto de construcción estudiado, después de la creación, actúan como un centro en el que se pueden conectar los componentes de productos. (p.18)

El pasaporte de materiales de componentes es la agrupación de información que describe la aparición de un producto a menudo relacionado con un edificio, este pasaporte admite datos sobre el contexto y ubicación de los productos. (p.19)

Asimismo, de acuerdo con (Vera Cornejo, 2020b) define como

Pasaporte de materiales es un documento que reúne todos los materiales a distintos niveles que componen el edificio y muestra toda la información disponible para que puedan ser identificados, cuantificados y ubicados en el edificio, también las materias primas de las que está compuesto, caracterización y si son saludables o no (p.29)

Con lo anterior, se establece que la presente investigación hace referencia a la definición y criterios otorgados a los pasaporte de materiales de componentes, sin embargo, no se descarta una perspectiva complementaria desde la definición de

pasaporte de materiales para edificio, de manera que el análisis refiera en un futuro la adopción global del proyecto construido.

Respecto al Pasaporte de Materiales es importante resaltar que, por ejemplo, dentro de la Unión Europea se han incrementado las políticas y acciones cuyos objetivos buscan hacer renovaciones significativas y rentables en los edificios, para lo cual ha sido fundamental la introducción voluntaria de pasaportes de renovación de edificios, cuya aparición se dio en el año 2018 y se prevé que su utilización se extienda a todos los Estados miembros de la Unión. (Marmolejo y Espinosa 2022).

De acuerdo con los estudios encontrados sobre el pasaporte de materiales, se encuentra Pabón (2020), quien en su investigación titulada “Trazabilidad de la vida útil de la edificación”, tiene como objetivo proponer la creación de una herramienta digital con la cual se pueda llegar a calcular la vida útil de una edificación.

Además, añade como características vitales de los materiales de construcción, la cantidad, calidad y asignación para la reciclabilidad e impacto ambiental, remarca también la separabilidad de materiales unidos como altamente relevante, al requerir la descomposición de uno de ellos para obtener materia prima pura.

Generalmente, la construcción tradicional aboga por diagramas relacionales complejos entre los elementos de un edificio para garantizar su integración. Por ello, se da lugar al diseño reversible de edificios, el cual plantea construcciones fácilmente

desmontables posibilitando edificios flexibles, adaptables y reparables, como además compuestos de partes reutilizables o recuperables como si fuesen un banco de materiales: propiciando la economía circular y teniendo en cuenta todo el ciclo de vida en la fase de diseño.

Las tres características fundamentales del diseño reversible son el desmontaje, la adaptabilidad y la reutilización (Durmisevic, 2018). Cabe mencionar entonces que este tipo de construcciones se facilitan a través de la implementación de la figura de pasaporte de materiales, pero que la función esencial de dicha implementación tiene que ver, de manera general, con la promoción de una mejor estrategia para gestionar de la manera óptima posible la trazabilidad de los materiales que se requieren para la construcción.

En consecuencia, a nivel local representa un reto el desarrollo de un proceso efectivo del manejo de materiales basados en el aprovechamiento y reúso, consecuencia, de los sistemas de construcciones históricos y la influencia de la informalidad urbana, lo que dificulta la capacidad de circularidad de los materiales; de esta forma, surge una oportunidad para el sector que actualmente incrementa su participación ante la demanda inmobiliaria de la adopción de herramientas y recursos que faciliten un proceso de reutilización y desmontaje, la aplicación de conceptos como la economía circular en el sector y los proyectos de construcción en Colombia.

Es decir, el principio por el cual aboga el pasaporte es la gestión de los materiales, sus ciclos de vida, su uso antes, durante y terminado el ciclo de vida de la construcción por cada uno de sus componentes o en su conjunto. Se trata entonces de una herramienta que permite ejercer veeduría sobre los materiales, sobre la base también de que son los materiales mismos que terminan convirtiéndose en desperdicios luego de una inadecuada gestión. El pasaporte de materiales, por tanto, pretende reformar esta última y reemplazarla por una gestión que guarde convergencia con las necesidades de la sociedad en torno a los efectos climáticos y medioambientales (Ellen Macarthur Foundation, p. 10). Luego, es importante subrayar estos efectos especialmente en Colombia, teniendo en cuenta la cuantía de la generación de residuos de esta industria a nivel nacional, que es de alrededor de 22 millones de toneladas/año (Trujillo y Quintero, 2021).

A partir de una revisión sobre las herramientas digitales existentes que promueven la circularidad de los materiales de construcción, se permite asegurar que para enfrentar adecuadamente los problemas ambientales y de residuos que enfrenta la industria, se debe emprender un cambio hacia un paradigma basado en la circularidad de la economía, donde la construcción sea analizada y efectuada a partir de indicadores ambientales, donde se tenga en cuenta la toxicidad de materiales y deconstrucción de productos, lo cual supone que es un reto la digitalización del sector y la necesidad de un futuro circular.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante resaltar que la utilización de la figura de pasaporte de materiales ha sido incentivada desde el sector público en

algunos países, a través de la implementación de metodologías para el desarrollo de proyectos de construcción que incluyen el uso de los pasaportes, así como demás aspectos orientados a la construcción sostenible. En esta materia se puede destacar el caso Triodos Bank, una entidad que desarrolla proyectos de edificación bajo una perspectiva de cuidado medioambiental y optimización de recursos. (Marmolejo, García y Spairani, 2020).

Es preciso resaltar la importancia que tiene esta herramienta al hacer un reconocimiento integral de los materiales permitiendo una programación sobre la disponibilidad futura de los mismos, así como también el análisis del costo-beneficio que permite determinar criterios de permisividad o parámetros en salud. (Manelius et al., 2019). Bajo esta noción, los aspectos planteados para la trazabilidad de la Agenda 2030 y que tienen que ver específicamente con la materia del proyecto, se relacionan con el establecimiento de garantías de sostenibilidad ambiental desde el aspecto general para fomentar una sociedad mundial para el desarrollo.

Frente a lo dicho, es posible asegurar que el valor de un pasaporte de materiales aumenta cuando se crea y actualiza durante todas las fases del ciclo de vida de los edificios, lo que conlleva a que esta sea una herramienta dinámica en lugar de estática. No obstante, estos beneficios no se aprovechan por completo en la cadena de valor de la construcción actual. Uno de los principales problemas frente a ello es la falta de un marco para recopilar, almacenar y distribuir un pasaporte de materiales; así pues, el modelo económico emergente de Economía Circular (CE) tiene como objetivo crear

productos circulares que mantengan su valor más alto durante el mayor tiempo posible. (Kedir, 2021, p. 3).

### Ciclo de vida de las edificaciones

El ciclo de vida es concebido como las “etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema de producto, desde la adquisición de la materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta su disposición final” (Xargay, Ripani, Caggiano, Folino y Martinelli, 2019).

Entendiendo que la presente investigación tiene un interés en la etapa de deconstrucción resulta interesante lograr identificar ésta fase en las edificaciones de acuerdo con el concepto de vida útil, se ha encontrado dentro de las investigaciones a nivel internacional la de Hernández Moreno (2016), titulada ‘¿Cómo se mide la vida útil de los edificios?’, la cual tiene por objetivo “estimar y medir la vida útil de los edificios desde el punto de vista del arquitecto y a través del método de la norma ISO 15686”. (p. 67).

El documento en mención plantea la necesidad de conocer la vida útil del diseño de los edificios y el tiempo durante el cual no se tendrá que intervenir la construcción, ya que este tipo de planeación permitirá calcular el tipo de materiales que se deberán usar en la obra, las personas especializadas que se deben contratar para realizar dichos proyectos, su diseño y los elementos arquitectónicos.

En ese sentido es importante destacar las dos formas que se plantean en el artículo, para medir la vida útil de los edificios y sus partes (Moreno, 2016, p. 69):

- La primer forma es el método ISO 15686, este procedimiento mide la vida útil de los edificios y sus partes a través de algunos factores de durabilidad y de vida útil de referencia, que hace referencia al diseño.
- La segunda forma es el cálculo de la vida útil y la medición de las partes con las que se va a construir el edificio por medio de pruebas de envejecimiento acelerado en un laboratorio.

A continuación, la Figura 5 expuesta por el autor del texto mencionado, expone las categorías de los edificios, su vida útil dependiendo del diseño y algunos ejemplos de ello:

<i>Categoría de edificios</i>	<i>Vida útil de diseño por categoría (años)</i>	<i>Ejemplos</i>
Temporales	Hasta 10	Construcciones no permanentes, oficinas de ventas, edificios de exhibición temporal, construcciones provisionales.
Vida media	25-49	La mayoría de los edificios industriales y la mayoría de las estructuras para estacionamientos.
Vida larga	50-99	La mayoría de los edificios residenciales, comerciales, de oficinas, de salud, de educación.
Permanentes	Más de 100	Edificios monumentales, de tipo patrimoniales (museos, galerías de arte, archivos generales, etcétera).

Fuente: Canadian Standards Association, 2001; Australian Building Codes Board, 2006; International Standards Organization, 2000.

**Figura 5: Categorías y Vida Útil de los Edificios.**

Nota. Tomado de Moreno (2016).

Para el contexto nacional, se tiene como referente los aportes de Acevedo (2018) quien aborda una exploración en estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), quien trabajó bajo el fin de identificar y proporcionar variables y criterios suficientes en la toma de decisiones para la evaluación desde aspectos de tipo ambiental y económico de un proyecto arquitectónico, destinado a edificaciones de uso residencial en el contexto de la ciudad de Bogotá.

Lo que el autor pretende es adentrar el Costo de Ciclo de Vida (CCV) a la fase evaluativa de los proyectos para además de evaluar la rentabilidad económica identificar su menor impacto ambiental negativo, explorando variables a trabajar desde



el ACV. Acevedo (2018) asegura que para el contexto Bogotano es preponderante la necesidad de proponer diferentes proyectos que se orienten a las condiciones de tipo ambiental y económico para la implementación de medidas de sostenibilidad.

A partir del desarrollo y la implementación de una encuesta dirigida a profesionales inmersos en el sector de la construcción en la ciudad de Bogotá para conocer sobre cómo se evalúan los proyectos en los que participan a lo que se pudo evidenciar que el 65% de los encuestados no conoce la metodología del ACV; sólo el 10% lo aplica en los proyectos que ha participado o participa, entre otras variables que consideran integrar el ACV con el CCV como punto de partida en la evaluación de determinado proyecto de construcción de acuerdo a componentes en específico de la edificación como la estructura, cerramiento y cubierta (Acevedo 2018, p 107). En relación con lo explorado se evidencia.

Una tendencia negativa de acuerdo con los resultados obtenidos en cuanto al conocimiento y aplicación de metodologías como el ACV y el CCV en el contexto bogotano. La encuesta diseñada sobre las metodologías como el ACV y CCV mantienen aún un perfil de conocimiento que no es el adecuado, pero de acuerdo con expectativas de estos encuestados existe a partir del proceso de diseño en los proyectos una estrategia la cual puede llegar a vincular aspectos ambientales y económicos relacionados con el ACV y CCV. (Acevedo 2018 p. 151).

Por tanto, es imperante la necesidad de conocer y estimar la vida útil de las edificaciones, como parte de un compromiso que deben tener quienes dedican su trabajo a la realización de construcciones. En esa vía, la herramienta generada por Pabón (2021) permite:

Identificar el estado de prestación a lo largo de los años de servicio de una edificación con el objetivo de crear conciencia a los usuarios de la importancia del mantenimiento preventivo de cada uno de los componentes para preservar la durabilidad, así mismo como de las futuras reposiciones de elementos que al cumplir con su ciclo de vida, deben ser sustituidos para que el edificio mantenga los niveles de servicio óptimos y cumplir con los criterios de diseño.

#### Banco de Materiales

En la investigación adelantada por (MUNARO & TAVARES, 2018) en la que se citó a (HANSEN; BRAUNGART; MULHALL, 2012) como fuente original permitiendo describir por primera vez el concepto de “certificado de nutrientes” al referirse a los materiales, productos y sistemas de construcción que podían clasificarse y otorgar información, a lo que se conoce actualmente como “pasaporte de materiales”.

Con esta herramienta, es posible rastrear, catalogar y conocer de forma pública las características de un material de construcción que ya se encuentra en uso, en una edificación determinada; cumpliendo los siguientes requisitos: calidad, seguridad, sostenibilidad, uso y operación, montaje, desmontaje, potencial de reutilización, actualización y trazabilidad de los materiales. Esto permitiría, que al evaluar una

edificación en conjunto, se pueda por proyecto/edificio contar con la información de un banco de materiales, que posibilitaría ser usado en otra edificación similar o distinta.

Esta afirmación evalúa el potencial de contar con un sistema a distintas escalas para poder tener acceso a muchos materiales, de distintas características para ser usados en proyectos futuros sin tener que recurrir a la extracción de materias vírgenes como se hace actualmente.

Los datos que permitan complementar la información en estos pasaportes, y por lo tanto en los bancos de materiales, serán obtenidos y constantemente actualizados por distintas partes involucradas en la compleja cadena de valor del material, es decir, desde la persona que se encarga en diseñar, hasta el constructor que tendrá como responsabilidad realizar la instalación inicial de dicho material, por lo que las herramientas BIM, juegan un papel muy importante en la recopilación de esta información y permitir el fácil acceso a los datos almacenados.

De acuerdo a la definición del artículo Construcciones que funcionan como banco de materiales, (Construcía, 2018), Se trata de un lugar natural, formado por roca, arcilla, grava o arena que puede utilizarse en construcción y que previamente ha sido estudiado para determinar si es posible extraer de allí materiales y por tanto utilizarse como banco. Los bancos de materiales se detectan gracias a la utilización de técnicas como:

- Observación del terreno.

- Utilización de pozos a cielo abierto.
- Estudios geofísicos.
- Sensores remotos.
- Fotografías interpretativas.(p.1)

De acuerdo con Mendieta (2021) un banco de materiales es el espacio creado para recibir y captar los sobrantes de las obras de construcción que normalmente son desechados, los cuales dan paso para que la economía circular se pueda plantear en medio de una estrategia para reducir la entrada de insumos nuevos y recurrir a opciones más ecológicas. Las investigaciones del autor giran en torno a establecer medidas de mejora en los procesos de la línea de acción "Banco de materiales" en una ONG que permita beneficiar a familias de escasos recursos económicos por medio de un mecanismo sostenible dado que afirma que, las alternativas ecológicas pueden tener un alto costo.

Para este abordaje se llevan a cabo varios procesos, como el de analizar el contexto para la puesta en práctica en el mejoramiento del proceso del banco de materiales, evaluar la factibilidad técnico, económico, operacional y financiero, la gestión del Banco de materiales y finalmente, el diseño del plan de mejora.

En este orden de ideas, Mendieta (2021) por medio de su recorrido se permite asegurar que de acuerdo con el análisis situacional se dirige la mirada hacia el uso adecuado de las donaciones materiales para la mayor optimización de los recursos y

consecuentemente un excelente servicio a los usuarios, a su vez, el autor planteó una estructura del proceso de atención en el banco de materiales que permite aportar con eficiencia y eficacia, la gestión de las donaciones realizadas por los contribuyentes para la clasificación de las donaciones y asegura que la gestión del banco de materiales y la utilización de sus recursos con la finalidad de obtener una utilidad provechosa puede beneficiar a más personas gracias al crecimiento económico.

Otra investigación que ahora se centra a nivel nacional, es la de Duran (2017) quien con su investigación titulada 'Definición de criterios sostenibles para la selección de materiales de viviendas en Bogotá', la cual tiene como objetivo definir unos criterios que articulen con pilares de sostenibilidad puedan ser una guía para seleccionar los materiales usados en la construcción de viviendas en Bogotá. Para esto se usó una metodología descriptiva de tipo exploratoria.

En los resultados y conclusiones se presenta que uno de los elementos más importantes para tener en cuenta para la construcción de viviendas en la ciudad, responde a criterios ambientales, cosa que omite de plano otras cuestiones fundamentales como los sociales y económicos de los pobladores de ciertas zonas de la ciudad (Duran, 2017, pág. 3). Es así como, por ejemplo, aunque lo ambiental sea el factor primordial, esto presenta algunas dificultades debido a que:

“Se requiere investigación específica para determinar con precisión la magnitud de los impactos y en este sentido Bogotá, y en general Colombia, no cuenta con bases de datos que den cuenta de cuáles son las implicaciones de la extracción, producción,

uso y disposición final de los materiales usados en la construcción de proyectos de vivienda.” (Duran, 2017, p. 4)

En consecuencia, la oferta existente de materiales de construcción en Colombia es amplia, prueba de ello es la presencia de grandes empresas internacionales de materiales de construcción y decoración que, sin duda, representan una fuente de competencia para las empresas españolas, pero también una muestra de que el mercado colombiano se está convirtiendo en una apuesta firme por empresas de envergadura y cobertura internacional (López, 2016, p. 33)

Desde los aportes de Balcazar (2019), un banco de materiales puede ser considerado aquel que se encuentre en un lugar de corteza terrestre y se constituya por roca o por material granular con una alta susceptibilidad para ser utilizado para la construcción. Destaca que, las fuentes donde este puede encontrarse son los depósitos aluviales, rocas masivas u otros productos de alteración de rocas.

El autor en su investigación acerca de los bancos de materiales y sus características en los procesos de construcción, destaca la calidad de las muestras que se extraen de ellos para determinar su utilidad en el proceso constructivo de vialidades, donde encuentra que, diferentes bancos que fueron fuente para su análisis no contaban con las bases requeridas dada su granulometría, lo que podía impedir entre los requisitos de calidad, la utilización del mismo para determinados fines. No obstante, Balcazar (2019), considera que algunos de estos no son rechazados por completo ya

que cuando algún material no cumple con las características esperadas, este puede ser estabilizado con cal u otros productos para mejorar su condición y ser utilizados.

La investigación demuestra que a partir de conocimientos con bases desde la construcción e incluso la geología es posible hacer reutilización de materiales durante la construcción de cualquier obra civil u otras edificaciones, dado que los materiales que se usan no siempre son los mismos, por lo que se requiere una observación continua para poder establecer tratamientos y diseños durante la construcción de cualquier proyecto asegurando la calidad de sus materiales.

Por otro lado, Hoyos, Treviño, Peña, Vasquez, y Estada (2021) en su análisis a cerca de gravas y arenas de bancos de materiales para la construcción de las ciudades establecen que la construcción en general depende de manera básica de un elemento y este es el concreto, en el desarrollo y en las pruebas de su estudio, consideraron la necesidad de realizar estudios periódicos de los bancos de materiales para determinar que se cumplen las normas aplicables a los materiales pétreos, con lo cual se contribuirá a mejorar la calidad de las construcciones en la región.

Su estudio estuvo encaminado a establecer una base para ayudar a los proveedores de bancos de materiales para que sea posible un mejor desempeño en su producción, no obstante, resaltan que, aunque lo esperado es que los materiales cumplan con lo necesario para un buen comportamiento en la elaboración del concreto; en caso de haber desviaciones se necesita del desarrollo de investigaciones nuevas

que permitan determinar las cantidades adecuadas de cada material para la fabricación de concretos que cumplan con las especificaciones estructurales de los proyectos que se pongan en marcha. (Hoyos el tal., 2021).

Los aportes de Jaramillo (2019) de una manera más amplia, permiten el establecimiento de un manual de materiales de construcción, en el cual se permite establecer los diferentes materiales en su estado natural para resaltar sus beneficios y su papel como material de construcción. Adicionalmente, considera vislumbrar los factores de conversión para el suelo, asegurando que debido a que el volumen del suelo aumenta de banco a suelto, se debe utilizar los factores de conversión para determinar el volumen de material que resulta luego de realizada la excavación.

El autor menciona el agua, la arena, las piedras, maderas, entre otros componentes para esclarecer sus variedades y participación como materiales de acuerdo a sus propiedad y variaciones, a lo que asegura que, estos, junto a los materiales prefabricados deben ser utilizados y medidos bajo lineamientos de calidad de acuerdo al proyecto en el que vayan a ser utilizados.

### Economía Circular

Para construir un abordaje o acercamiento al concepto de economía circular se han expuesto diferentes interpretaciones de autores que a lo largo de los últimos años, han incorporado nociones las cuales se mueven de acuerdo con el sector en el que la economía circular se integra.



En (Sauvé et al., 2016) se sugiere que

La economía circular tiene como objetivo desvincular la prosperidad del consumo de recursos, es decir, cómo podemos consumir bienes y servicios y, sin embargo, no depender de la extracción de recursos vírgenes y, por lo tanto, garantizar circuitos cerrados que evitarán la eliminación final de los bienes consumidos en los vertederos. La producción y el consumo también tienen "transferencias de contaminación" asociadas al medio ambiente en cada paso. En ese sentido, la economía circular es un movimiento hacia la sostenibilidad débil descrita anteriormente. Propone un sistema donde la reutilización y el reciclaje sustituyan el uso de materias primas vírgenes. Al reducir nuestra dependencia de dichos recursos, mejora nuestra capacidad y la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades. La economía circular hace que la sostenibilidad sea más probable (p.6)

El marco de la sostenibilidad y las políticas de eficiencia, la economía circular corresponde a un paradigma para el cambio sostenible desde la gestión de recursos a nivel global. (Ghisellini, 2016). Para Gold (2021) "la economía circular se basa en la estrecha cooperación de varios actores. Los elementos identificados de la sostenibilidad social se relacionan así con diferentes grupos de actores interconectados".

La economía circular en el mundo se ha venido imponiendo como un modelo que sirve para mitigar el impacto medio ambiental, y cada vez son más los países que

deciden transitar hacia este concepto que ahonda en la caracterización del impacto generado por el consumo desmedido y la importancia de la reutilización y aprovechamiento de los materiales en las distintas industrias (European Commission, 2018). Con esta perspectiva, el uso de materiales y productos con una larga duración de vida útil se encuentra desde las relaciones mejoradas entre usuarios y productos y disponibilidad de servicios para la reparación, actualización, mantenimiento y reutilización. (Farias, 2018)

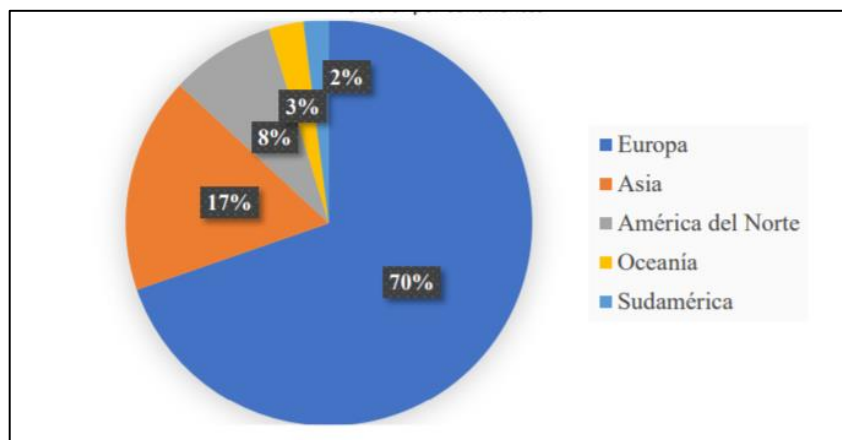
Con lo anterior, la economía circular es la contraparte del modelo vigente de economía lineal compuesto de la siguiente manera: tomar, hacer y tirar, cuyo impacto ambiental es notorio en el deterioro de la calidad de vida provista por el principio de consumo absoluto sin precedentes alcanzando sus límites físicos.

De esta manera, la economía circular es la forma de entender al contexto empresarial desde los fundamentos de rendimiento y generación de nuevos recursos desde el aprovechamiento. Con lo que, se compone por un ciclo de creación continúa provisto de la recuperación, minimización de desperdicios, riesgos, gestión y flujos renovables.

Bajo esta perspectiva, la economía circular parte de tres principios: aumento y preservación del capital natural desde su condición de stocks infinito, mejora del rendimiento de los recursos desde un ciclo siempre productivo y promoción de la efectividad del sistema desde la proyección.

Con lo anterior, surgen características como: disminución de consumo de insumos, optimización de materia primas, reducción de consumo de materias importadas de recursos naturales, uso eficiente de recursos finitos, reducción de consumo energético y agua, promoción de recursos renovables, reemplazo desde la innovación procesos tradicionales, limitación de extracción de materia primas, reducción de emisiones, minimización de desechos y su acumulación, extensión de la vida de los productos, reúso de los componentes.

Dentro de los países y regiones que más han venido implementando el modelo de economía circular está la Unión Europea, Asia, América del Norte, Oceanía y Sudamérica, tal y como se indica en la Figura 6.



**Figura 6: Economía Circular en el Mundo.**

Fuente: Quinde (2021).

En cuanto a las razones que existen para que el porcentaje de Sudamérica sea tan bajo, se encuentra que dicha región tiene un panorama medioambiental complicado respecto a otros territorios del mundo, pues como ya se ha visto, el continente es la

despensa de materias primas, energías y recursos renovables y no renovables con las cuales funcionan muchas cosas en el mundo.

Lo anterior ha hecho que tanto los países desarrollados como sus grandes conglomerados empresariales, no se preocupen por realizar procedimientos que no afecten el ecosistema y ha sumido a la región en un retroceso a nivel ambiental.

(Graziani, 2018, p. 12)

Para América Latina se tiene que, generan alrededor del 12% de los residuos totales en el mundo, debido entre otras cosas a los hábitos de la población, al aumento de la urbanización y a los malos manejos respecto a las basuras y desechos. El manejo que se le da a los residuos en la región no ha incluido el manejo y reutilización de las basuras como forma de aprovechar al máximo las materias, así como de evitar generar menos residuos (Graziani, 2018, p. 15).

Frente a este factor, es pertinente mencionar que transitar hacia este modelo implica no sólo la reducción de impactos negativos en el medio ambiente, sino también “un trillón de dólares solo en ahorros de materiales, generar más de 100.000 nuevos empleos y evitar hasta 100 millones de toneladas de residuos” (Graziani, 2018, p. 26). Teniendo en cuenta esto, dicha economía debería ser pensada desde los sectores gubernamentales en alianza con los empresarios de carácter privado, para que la implementación pueda ser más rápida y eficaz y cuente con los recursos necesarios.

Por su parte, Hernández (2021), en su obra sobre la evolución histórico-epistemológica de la economía circular, relata la necesidad imperante que enfrenta la sociedad de hoy en torno a la gestión y el uso de los recursos naturales, específicamente en torno a la reducción de este uso. Esto se justifica a partir de la noción de que el uso inadecuado que se ha venido dando a estos tras décadas, representa una amenaza grave para el bienestar económico y social del planeta. A partir de esto, el autor plantea que el sistema económico que gobierna tiene por principio infundir el consumo rápido y excesivo de los recursos naturales, elemento característico de la cultura de producción y consumo desmesurado.

Lo anterior, se plantea también sobre la base de que este sistema deriva ordinariamente en el aumento de distintos tipos de desigualdades, que a su vez desencadenan en diferentes expresiones de violencia. Ante esto, propone que es fundamental la intervención y la ayuda de la comunidad científica, desde donde se defienden ciertos objetivos claros que tratan acerca de los cambios que está teniendo el planeta, como forma no solo de ayudar a prevenirlos y mitigarlos, sino también a encontrar otras opciones y soluciones frente al uso de los recursos naturales. Este es, a todas luces, el llamado hacia el fomento de las prácticas de circularidad en el modelo. (Hernández, 2021).

Dentro de la revisión de fuentes, resultó relevante revisar las publicaciones de algunas entidades de orden nacional para comprender y analizar los lineamientos existentes en cuanto al tema a tratar, es por ello que una de las organizaciones

consultadas fue el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE 2022), el cual presenta el informe 'Economía circular tercer reporte 2021'; donde, se exponen varios avances de la economía circular y el impacto que esta ha tenido en la economía colombiana. En dicho informe se indaga alrededor de aspectos tales como:

Si el proyecto se encuentra actualmente en proceso de certificación con algún sello ambiental o de sostenibilidad, la cantidad de materiales utilizados y los residuos de construcción y demolición - RCD generados, procesos en los cuales se utiliza material proveniente del reciclaje y aprovechamiento RCD, así como, las medidas para el ahorro de energía, estrategias de energía alternativa y medidas para el ahorro de agua incorporadas en el proyecto. (DANE, 2022, p. 28)

Así mismo, el DANE propone una serie de indicadores, a partir de los cuales se evalúan estas construcciones, dentro de dichos parámetros se tiene en cuenta un sistema de ahorro de agua y energía, así como también de energía alternativa; el consumo total de esta y cómo algunos residuos son reutilizados.

De acuerdo con el sexto reporte de Economía circular del año 2022, en el indicador de Tasa de Aprovechamiento de residuos sólidos y productos residuales "fue del 49,76% con relación al total de los residuos generados, equivalente a 13,1 millones de toneladas aprovechadas" (DANE, 2022,p.44); en el indicador de Tasa de Reciclaje y Nueva Utilización, si bien tiene en cuenta todos los residuos sólidos generados, es un indicador que genera una visual clara de la tendencia en el sector de la construcción,

puesto que de acuerdo con el primer informe de economía circular, el DANE determinó mediante la Encuesta Ambiental Industrial (EAI), que la participación del sector es del 37.6% con lo cual, siendo el segundo residuo dispuesto por la industria luego de los residuos orgánicos, dicho lo anterior, y teniendo en cuenta los valores del proceso de reciclaje y nueva reutilización indicadas en el reporte (DANE, 2022):

En Colombia, la oferta total de residuos sólidos generada por los hogares, las actividades económicas y las importaciones, correspondió a 26,3 millones de toneladas para 2020. El proceso de reciclaje y nueva utilización de residuos sólidos que reportan las actividades económicas alcanzó 3,8 millones de toneladas, equivalente al 14,5% de la oferta total de residuos sólidos y productos residuales en el país. (p.45)

El pasado 19 de agosto de 2022, se realizó una visita y encuesta a Jefferson Andrés Gamboa, Vicepresidente comercial de la compañía Demoliciones y Restauradores Súper Star, el cual refirió información económica bajo su experiencia comercial con lo cual se generó la Tabla 2 que se presenta a continuación, de la cual se puede concluir que a nivel nacional, en el sector de la construcción, específicamente con el material madera de construcción, se alcanzan cifras de comercialización con madera recuperada y reutilizada de más de 84 mil millones de pesos mensuales; del anterior análisis se puede generar una proyección de acuerdo con una relación porcentual y se determina de manera aproximada que 1.43 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición son aprovechadas.

Descripción / Variable	Cantidad	Unidades	Observaciones
Total de residuos sólidos Colombia para el 2020		26,3 Millones de Toneladas - Anual	Tomado del sexto reporte de Economía Circular, (DANE, 2022, p,44)
Cantidad de residuos en proceso de reciclaje y reutilización		3,8 Millones de Toneladas - Anual	Tomado del sexto reporte de Economía Circular, (DANE, 2022, p,44)
Participación del reciclaje y nueva utilización		14,45% Participación Porcentual	Tomado del sexto reporte de Economía Circular, (DANE, 2022, p,44)
Participación del sector Construcción y Demolición en el total de residuos dispuestos por la Industria		37,60% Participación Porcentual	Tomado del primer informe de Economía Circular DANE - Encuesta Ambiental Industrial EAI (Dane,2020)
Total residuos reciclado y reusado del sector Construcción y Demolición en el total de residuos dispuestos por la Industria		1,4288 Millones de Toneladas - Anual	Elaboración propia
Participación de la Madera en el manejo de RCD (Ciudad Bogotá)		20%-30% Participación Porcentual	Tomado de (Florez at. Al, 2016,p,8)
Participación de la Madera en el manejo de RCD		0,28576 Millones de Toneladas - Anual	Tomando el límite inferior
Participación de la Madera en el manejo de RCD		0,023813333 Millones de Toneladas - Mensual	
<b>Datos Encuesta</b>			
Ventas promedio mensuales	\$	29.000.000,00 COP	
Relación ventas mensuales producto con madera nueva vs recuperada		60% Nuevo 40% Recuperado	
Ventas promedio mensuales con material recuperado	\$	11.600.000,00 COP	
Relación costo producto con madera nueva vs recuperada		1,5 - 2	
Costo promedio Unidad de pieza cúbica (Vigueta de 0,1x 0,1x3 m) - Nueva	\$	50.000,00 COP	
Costo promedio Unidad de pieza cúbica (Vigueta de 0,1x 0,1x3 m) - Recuperada	\$	30.000,00 COP	
Pieza Cúbica de Madera		0,03 m3	
Cantidad Piezas Cúbicas recuperadas y vendidas		386,67 Un	
Peso promedio madera Pino, usada en construcción, humedad 8 -12%		8,5 Kg/m	
Total Madera Recuperada comercializada - Viguetas		3286,666667 Kg	
Total Madera Recuperada comercializada - Viguetas		3,29 TON	
	\$	3.529.411,76 COP/TON	
Extrapolación comercial a nivel nacional		23.813,33 Toneladas mes (nacional)	
	\$	84.047.058.824 COP	

**Tabla 2: Proyección económica de la comercialización de madera recuperada y reutilizada a nivel nacional.**  
Fuente: Elaboración Propia.



Otro de los documentos consultados es el de Álvarez (2015), llamado 'Compromiso de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: Consecuencias económicas'. El objetivo es analizar los impactos económicos que pueden existir al implementar planes de mitigación que disminuyan los gases de efecto invernadero, para lo anterior se usó una metodología cualitativa, a través de la cual se recopilaron fuentes bibliográficas para analizar la temática en mención.

Los resultados presentados giran alrededor de cómo la implementación de la tecnología tiene efectos positivos en cuanto a la reducción de gases de efecto invernadero, así como contribuye a crear una matriz energética que impacte positivamente en el sector económico del país. (Álvarez, p. 8). En cuanto al impacto social y político, se encuentra que el autor mencionado identifica:

Políticas y oportunidades estratégicas para el logro de las metas ambientales y de objetivos deseables para la sociedad. Entre ellas: si se adelanta el tiempo de ejecución de las medidas de mitigación enfocadas hacia la eficiencia en el uso de energéticos e insumos en el sector transporte, las industrias y los hogares, se generarán los mayores impactos positivos sobre el crecimiento económico (Álvarez, p. 32).

Pensar en el uso y beneficios de la economía circular pasa precisamente por tener y contar con todos los componentes que pueden llegar a conformar este tipo de planteamientos, lo cual incluye tomar los postulados que ofrecen aquellos trabajos

pensados en torno a un diseño alternativo en la parte ambiental, donde se analizan los impactos que tienen la reducción de emisiones en el sector de la construcción.

### ***Gestión de RCD***

Los residuos de construcción y demolición (RCD)

(...) son materiales de desecho, generados en las actividades de construcción, demolición y reforma, de edificaciones, obra civil y espacio público. Estos son considerados inertes o no peligrosos y poseen alta susceptibilidad de ser aprovechados mediante transformación y reincorporación como materia prima de agregados en la fabricación de nuevos productos.

(Colomer, Gallardo, Buenaño, Esteban y Sánchez, 2021).

Desde el contexto internacional, Gallardo et al., (2021) define la aplicación de la economía circular a la gestión de RCD por medio de diferentes casos reales de obras de construcción de edificios, lo anterior, desarrollado bajo un contexto en el cual se sitúa a España como generador anual de más de e 40 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición, por lo que, los autores abordan la necesidad de implementar en las obras sistemas de separación de los diferentes materiales durante la construcción. Los autores consideran relevante establecer el proceso de gestión RCD (Figura 7) dado que, por medio de este, se da claridad a las ventajas posteriores técnicas y económicas de la separación de residuos en las obras.



**Figura 7: Esquema del proceso de gestión de RCD en la Economía Circular.**  
Fuente: Gallardo et al., (2021).

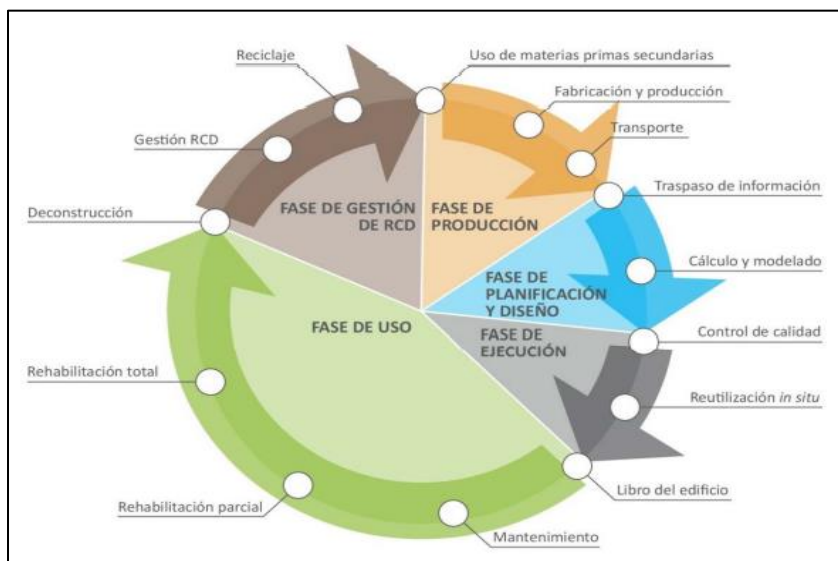
Tras el análisis de los sistemas de separación de residuos implantados en dos obras de distinta tipología ubicadas en Valencia (España), los autores pueden comprobar que, dicho hecho, supone un gran ahorro de gestión de residuos en las obras residenciales e industriales, cambiando el paradigma de sobrecostes innecesarios que el sector ha asumido durante mucho tiempo, no obstante, se evidencia la continuidad de un bajo interés en la implementación de la separación de residuos durante las obras, por lo cual, los residuos continúan recogándose mezclados mayoritariamente. (Gallardo et al., 2021).

La adaptación de las empresas a este ejercicio implica un mayor interés por la formación de personal que se enfoca en la gestión de residuos, lo cual permite la realización de estudios y planes de gestión de residuos con mucho más detalle, además de un proceso de supervisión y verificación de que los residuos son entregados a gestoras autorizadas.

De manera similar, Maseck (2018) en el informe que redacta acerca de la economía circular en el sector de la construcción refieren algunos puntos importantes, pues asegura que:

El sector de la construcción actualmente, si bien tiene algunos procesos donde se reutilizan materiales, elementos o flujos, es en general un sector de proceso lineal, donde el cierre de ciclos se da más comúnmente durante la fase de producción dentro de la fabricación y producción de materiales y/o componentes de construcción, pero no entre fases. (p. 10).

De acuerdo con ello, esclarece un esquema que debe ser abordado si lo que se busca es que el sector de la construcción se acople a un modelo circular, tal y como se referencia en la Figura 8.



**Figura 8: Esquema Simplificado del Proceso Futuro del Sector de la Construcción con base en la Economía Circular.**

Fuente: Maseck (2018).

Frente al esquema asegura que entre la fase de ejecución y de uso, tiene lugar un traspaso en la responsabilidad de la construcción por parte de los profesionales a los usuarios y asegura que durante la fase de gestión de RCD, debe ser posible la deconstrucción (o demolición selectiva) de la estructura, asegurando así el retorno máximo de cada uno de los materiales y componentes, a fases anteriores del proceso.

En el contexto nacional, de acuerdo al “Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia” realizado en el año 2018 realizado por TECNALIA, permite considerar algunas oportunidades en Colombia para la economía circular, dentro de las cuales se evalúa la gestión de los residuos, ya que se considera que en el contexto mundial la producción de residuos se encuentra en continuo aumento y las actividades económicas vinculadas a estos alcanzan cada vez mayor importancia, por lo que, enfatiza en la priorización del aumento del aprestamiento para

la reutilización y reciclaje de residuos de envases, residuos de construcción y demolición y residuos de biomasa. (TECNALIA 2018).

Este estudio en aras de contribuir con el establecimiento de un plan de acción, considera dar relevancia las acciones de planeación, seguimiento, control y dotación económicas con el fin de reforzar la implantación de infraestructura de clasificación, tratamiento y recuperación y en este proceso implementar nuevos incentivos que favorezcan la rotación de productos en función de ofrecer soluciones que favorezcan la Economía Circular, lo cual, resulta relevante en el estudio de las oportunidades en la bioeconomía.

Por otro lado, la investigación que presenta Pérez (2015) se dirige hacia todas aquellas personas responsables de concebir edificaciones sostenibles y aprovechar los recursos naturales y reciclados, dado que el autor considera que es necesario concebir edificaciones sostenibles y aprovechar los recursos naturales y reciclados. Es por lo anterior que trabaja en función de reducir los impactos ambientales negativos ocasionados por la construcción y demolición de las edificaciones a partir de un plan de manejo de residuos de la construcción y demolición en el lugar de la edificación y su destino final.

Algunos de los hallazgos generados por parte de Pérez (2015) dan cuenta de que el volumen se genera por parte los residuos de construcción y demolición de edificaciones e infraestructuras-RCD, puede ser reducido en cada una de las fases del

proceso de construcción, es decir, desde el proyecto a la ejecución y demolición, minimizando, reusando y reciclando, lo que supone una valorización de los RCD como materia prima secundaria.

Por otra parte, considera importante resaltar aspectos de acuerdo al contexto económico, social y ambiental, estableciendo que es necesario dar prioridad a las inversiones en transformación y mantenimiento, frente a la construcción de nuevas edificaciones, como también el establecimiento de programas de formación y participación dirigidos a todos los agentes del proceso: técnicos, constructores y usuarios, además de que se genere una mínima cantidad de residuos durante la construcción de las edificaciones, cuyo desarrollo posterior pueda ser muy lento debido a su durabilidad, adaptabilidad y transformabilidad. (Pérez 2015).

## Metodología

### Enfoque de Investigación

La presente investigación cuenta con un enfoque Cualitativo, dado que se fundamenta de una revisión de fuentes secundarias relacionadas con el objeto de estudio de: Pasaporte de Materiales, Residuos de Construcción, Ciclo de Vida y Economía Circular. Para lo cual, se parte del estudio sistemático de los conceptos desde la aplicabilidad de la importancia de un modelo sostenible en el sector de la construcción, al igual de los elementos conceptuales en torno a la aplicabilidad de una herramienta informática en Colombia. Se base en la caracterización de la información compuesta en: libros, artículos, investigaciones y páginas web relacionadas con el tema del presente proyecto.

### Tipo de Investigación

En correlación al enfoque de investigación, el tipo es exploratorio y parte del estudio del fenómeno ambiental en el sector de la construcción y su apertura a un nuevo modelo competitivo basado en la reutilización de materiales, aprovechamiento y gestión oportuna de recursos bajo la herramienta de pasaporte de materiales, donde se pretenda el establecimiento de elementos conceptuales para el desarrollo de esta en Colombia, identificado en los distintos pasaportes de materiales analizados y la perspectiva actual de algunas empresas dedicadas a la venta de materiales y disposición de residuos de construcción. Por tanto, el proyecto busca “especificar



propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice.

Describe tendencias de un grupo o población”. (Sampieri, 2012, p. 92)

### Etapas de Investigación

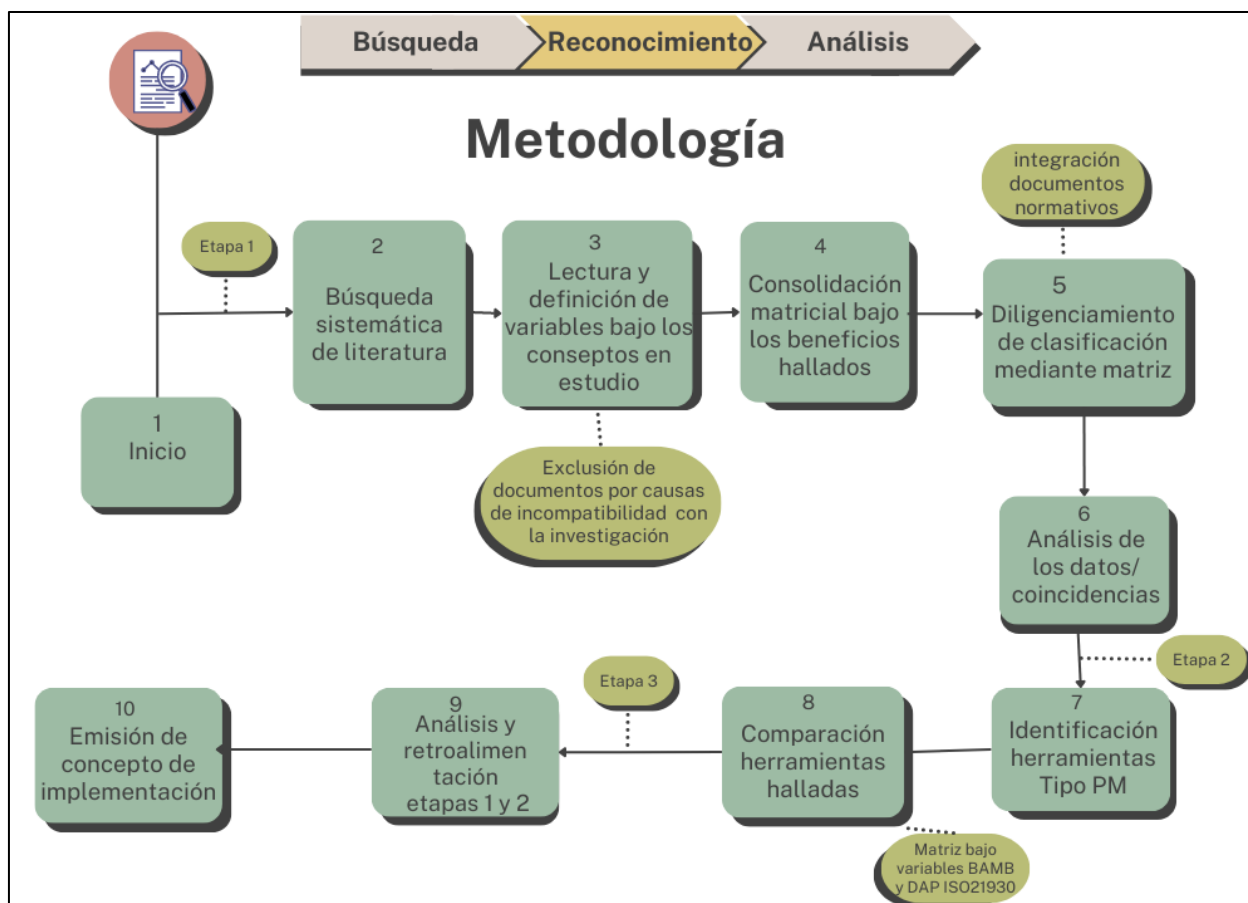
La presente investigación se divide en 3 etapas fundamentales. La primera etapa se identificó, a través de una búsqueda sistemática de literatura relacionada con: los beneficios ambientales, sociales, económicos y derivados de la determinación del potencial de reciclabilidad en elementos arquitectónicos, para ello, se ahonda en los conceptos desde una perspectiva de exploración, en definición de los objetivos y alcance de los estudios que componen la matriz, para ello, se categoriza por autor, título, año e impacto; la revisión de la información se realizó desde una lectura consistente de los artículos, investigaciones y proyectos institucionales en concertación de un criterio del impacto positivo generado desde el reúso y reciclabilidad de elementos arquitectónicos, dando cumplimiento al primer objetivo específico propuesto.

La segunda etapa en correlación al segundo objetivo específico del proyecto se identificó las distintas herramientas catalogadas como Pasaporte de Materiales, esto desde la emisión de un concepto desarrollado en el mundo, en evaluación y replicabilidad en los proyectos de edificaciones en Colombia, de este modo, precisar los recursos para su aplicación en torno al ciclo de vida de las edificaciones, del mismo modo, identificar, si diera a lugar, aquellas que requerirían ser implementadas y no se hayan considerado en los modelos existentes. Para lo anterior, se consolidó una matriz de estudio compuesta desde los requisitos DAP ISO21930 y requisitos BAMB ONU.

Para tercera etapa, en relación con el tercer objetivo, a modo de análisis y retroalimentación de los anteriores objetivos se emite un concepto relacionado a la estructuración de una herramienta informática de un banco de materiales a partir de los conceptos que poseen una mejor adaptabilidad y afinidad de acuerdo con las prácticas circulares. Así mismo, esta fase recoge también los elementos de análisis encontrados en la revisión de distintos pasaportes de materiales. Lo dicho, permite en relación estrecha con el objetivo uno y dos, dar respuesta al objetivo que ha sido planteado de manera general en el proyecto la luz de los elementos requeridos que se deben tener en cuenta para el desarrollo de una herramienta informática útil bajo el concepto de pasaporte de materiales como estrategia para alcanzar las metas del país, de acuerdo con la Agenda 2030.

Finalmente, se considerará realizar análisis de modo tal que oriente en futuras investigaciones el desarrollo de una plataforma que permita el avance hacia el modelo de circularidad de los recursos, generando un mercado de compraventa de los elementos disponibles para ser incorporados en nuevos proyectos, aprovechando las ganancias, ambientales y económicas que se deriven de su uso.

Lo anterior se presenta en el siguiente esquema Figura 9



**Figura 9: Esquema metodología.**

Fuente: Elaboración propia

### Recolección de Datos, Análisis e Interpretación

Para el proceso de recolección de datos, se desarrolló una búsqueda sistemática en bases de datos como Springer, Elsevier, Scopus, Science Direct y Scielo, donde el proceso se realizó a partir de términos de búsqueda basados en "Pasaporte de Materiales", "Sostenibilidad y Economía Circular", "Construcción Verde", "Economía Sostenible del sector de la construcción", "Criterios Sostenibles", "Diagnóstico de tecnologías en la construcción", "Metodología de Evaluación", "Criterios y variables", "Ciclo de vida", "Improving the recycling potential NTC", "Buildings",

"BAMB", "Social circular economy", "Indicator social circular", "Aprovechamiento de residuos de construcción", "RCD", "Material Passports and Circular Economy", "EC", "Willingnes top ay for construction and demolition", "Materials Passports", "Mapping the social dimension", "C2C", "Vida útil", "beneficios económicos", "beneficios sociales", "beneficios ambientales" y "Materiales de Construcción".

Se procedió al desarrollo de una búsqueda sistemática de información, compuesto principalmente en la definición de los conceptos identificados desde el objetivo general de la investigación, con lo que, se abordaron a partir de palabras claves la depuración del contenido relacionado. Teniendo como base la exclusión de todo recurso cuyo contenido no esté relacionado al pasaporte de materiales, economía circular, ciclo de vida, banco de materiales, residuos de construcción y demolición.

De esta manera, se utilizaron 122 documentos compuestos desde: artículos, libros e investigaciones; donde, el principal recurso corresponde a bases de datos científicas, y las páginas web de entidades oficiales para la revisión de informes y normativas gubernamentales. En el proceso de búsqueda a través de las bases de datos se encontró un total de 113 documentos, tras la validación del recuento de citas obtenidas por cada publicación, se realizó una clasificación de calidad de éstas publicaciones, apoyados en el factor de medición que establece el SCImago Journal Rank, se seleccionaron las publicaciones que se encontraran en el primer cuartil (Q1), de ello resulta para el análisis 70 artículos, de éstos, entiendo el número de citas contenidos en las fuentes con el mayor porcentaje de selección (56%), se decide

analizar 39 publicaciones, de las cuales fueron descartados 4 por incompatibilidad con el objetivo en estudio, a los 37 seleccionados, se le adicionan 8 documentos recopilados en el desarrollo de la investigación, y la normativa aplicable, con ello, se analizarán un total de 43 publicaciones, las cuales en un 91% son en idioma Inglés, 7% en Español, y el 2% en Chino.

## Resultados

### **Beneficios ambientales, sociales y económicos derivados de la determinación del potencial reuso y reciclabilidad de elementos arquitectónicos y estructurales de las edificaciones al final de su vida útil**

La transición del sector de la construcción hacia una economía circular va a requerir por parte de todos los actores a ciertos cambios conceptuales, incluso de lenguaje, a cambiar ciertas sinergias, algunas culturales, cambios en los modelos de producción, en los modelos de negocio, en las formas de gestión e incluso de gobernanza (Fundación Conama, Green Building Council España (GBCe), RCD Asociación, 2018) En este sentido, la transformación que debe atravesar el sector de la construcción, específicamente debe estar dada a partir de la implementación de metodologías paramétricas que conlleven a la concepción de un proyecto en todas sus fases, partiendo desde el diseño hasta su fase de deconstrucción, permitiendo orientar el proyecto arquitectónico y constructivo a un nivel más alto de optimización en cada dimensión.

La estructuración de proyectos con características de sostenibilidad permite considerar diferentes elementos, que dentro de sus beneficios estimen retos para el sector en el proceso del reuso y reutilización de manera indefinida, de acuerdo con la perspectiva de EC repensada en los tres ejes de la sostenibilidad planteada por (Korhonen, Honkasalo, & Seppälä, 2018):

“El objetivo medioambiental es reducir del sistema de producción-consumo (rendimiento físico) la utilización de materiales vírgenes y de energía debido a que los

recursos de los sistemas son usados muchas veces y no sólo una, además de reducir la generación de residuos y emisiones mediante la aplicación de ciclos de materiales y energías renovables.

El objetivo económico es reducir los costos de las materias primas y energía del sistema económico de producción-consumo, los costos de gestión de residuos y del control de emisiones, así como los riesgos derivados de posibles sanciones y penalizaciones debido a la legislación/impuestos (ambientales) y la imagen pública, además de beneficios económicos por la innovación y posibles nuevas oportunidades de negocio. Además, una imagen de negocios socialmente responsable podría atraer nuevos inversores y clientes.

El objetivo social es la economía colaborativa, el aumento de empleo, generación de sentido del uso eficiente de un producto, su capacidad material física a través de un usuario cooperativo y comunitario (grupos de usuarios que utilizan el valor, el servicio y la función) en lugar de un consumidor (individuos que consumen productos físicos)". (p. 5)<sup>1</sup>

Para adentrarse a una determinación del potencial del reúso y la reciclabilidad que tienen los elementos arquitectónicos y estructurales, se inicia desde la propuesta del establecimiento de los objetivos tanto ambientales, como sociales y económicos que genera dicho proceso, no obstante, como primera medida, es necesario ahondar en la definición de los beneficios y las consideraciones sobre las prácticas anteriormente mencionadas.

---

<sup>1</sup> Traducción libre de la autora

De acuerdo con los aportes de Cuello. M. y Arrauth, K. (2019), la utilización de residuos en el campo de la arquitectura y el diseño, es una de las estrategias que permite mitigar el alto índice de consumo y el impacto ambiental que generan estas actividades, además de ser beneficiosa en términos económicos y energéticos. Apostarle a la transformación y reutilización es considerado entonces, un reto ambicioso, pero que puede ser necesario y realista.

La reutilización de materiales es por lo tanto, un proceso que conlleva a reducir la fabricación de nuevos productos, es volver a usar un determinado producto para darle una segunda vida, con el mismo uso u otro diferente. De dicha forma se minimiza la energía para la extracción y procesamiento de nuevos materiales y el agotamiento de recursos no renovables. (Quiles 2020). En este proceso juega un papel importante el ciclo de vida de los materiales, dado que, cuando el mismo se puede reciclar o reutilizar, el ciclo de vida vuelve a empezar.

Visualizar este panorama donde se evidencian aspectos positivos en un contexto global ofertados por el reciclaje y la reutilización de materiales, conlleva a considerar que es lo que dentro de este trabajo es considerado como un beneficio social en función del fenómeno de estudio, entendiendo que esto se traduce a impactos positivos a nivel colectivo en sociedad que conduzcan a un desarrollo sostenible y aliado de prácticas ambientales para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias



necesidades, a lo que, se entrelaza la relación de los beneficios económicos, pues su connotación pretende generar impactos positivos desde un sistema de producción basado en la recuperación máxima de recursos y optimización de los mismos, evitando pérdidas y ofreciendo mejores oportunidades de mercado en los diferentes sectores económicos. (Chavez y Monzón 2018).

Todo ello, con base al componente ambiental que genera una reducción del material virgen del sistema de producción-consumo y los insumos de energía y desechos y las emisiones (rendimiento físico) mediante la aplicación de ciclos de materiales y cascadas de energía basadas en energías renovables que incidiendo en la preservación de los recursos naturales. (Arroyo 2018). En términos generales, y recogiendo cada uno de los elementos destacados anteriormente, es posible asegurar que:

Desde la perspectiva del desarrollo sostenible y sus tres dimensiones, económica, ambiental y social, las características fundamentales de cómo se define el concepto deben incluir, por un lado, un punto de partida en los sistemas de producción y consumo que maximice el servicio producido desde el flujo de rendimiento lineal de naturaleza-sociedad y energía natural. Esto se hace utilizando flujos de material cíclico, fuentes de energía renovables y flujos de energía de tipo cascada en sistemas integrados de consumo de producción, incluidas sus cadenas de valor y ciclos de vida intersectoriales,

interorganizacionales y globales. (Korhonen, Nuur, Feldmann, y Birkiea, 2017, p.14)<sup>2</sup>

Bajo este espectro, es menester indagar cuales son los beneficios Ambientales, Sociales y Económicos surgen como mayor relevancia a partir de una revisión sistemática de la literatura relacionándolos en una matriz de coincidencias, éstas coincidencias se categorizan por los beneficios destacados en la publicación guía desarrollada en colaboración entre la Universidad Técnica de Munich y el proyecto de la UE BAMB, Materials Passport best Practice (Heinrich & Lang, 2019) y de manera complementaria con los identificados tras el análisis de los documentos, éste análisis detallado se encuentra en el Anexo 1 para lograr determinar los beneficios en la que la mayoría de autores están de acuerdo, teniendo como parámetro base de comparación los siguientes criterios:

- Ambientales:
  - Reducir la huella ecológica.
  - Permitir el diseño de productos circulares, la recuperación de materiales y las asociaciones de cadena de posesión.
  - Reducir el uso de recursos vírgenes.
  - Eliminar el desperdicio (Residuos generados).
  - Reducción en la emisión de gases de efecto invernadero.
  - Reducción en la contaminación del aire, agua y suelo.
  - Evitar la pérdida de espacio en vertederos

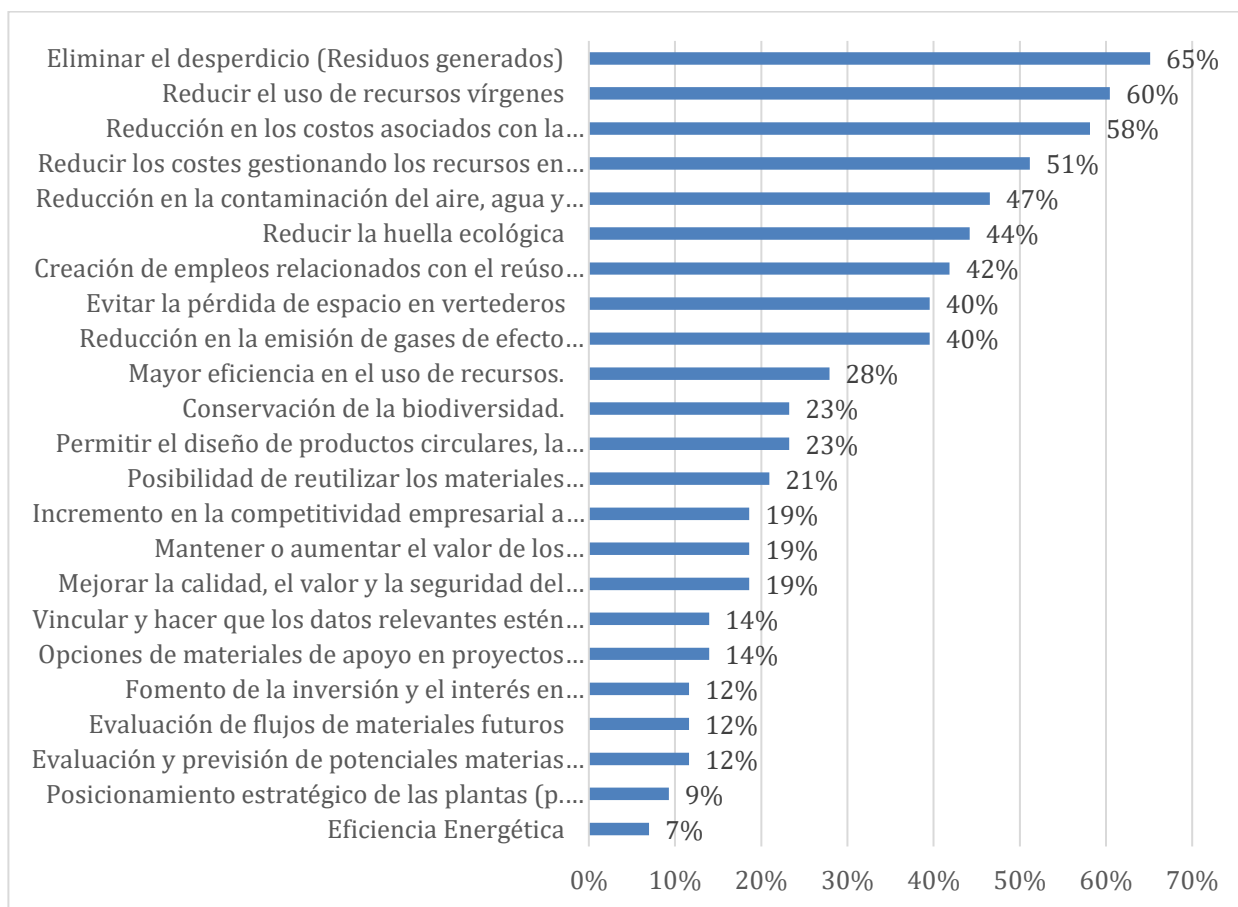
---

<sup>2</sup> Traducción libre de la autora

- Conservación de la biodiversidad.
- Sociales:
  - Mejorar la calidad, el valor y la seguridad del suministro de materiales
  - Creación de empleos relacionados con el reúso y reciclaje de materiales.
- Económicos:
  - Mantener o aumentar el valor de los materiales, productos y componentes a lo largo del tiempo (es decir, valor residual).
  - Evaluación y previsión de potenciales materias primas secundarias.
  - Evaluación de flujos de materiales futuros.
  - Opciones de materiales de apoyo en proyectos de diseño de edificios reversibles.
  - Reducir los costes gestionando los recursos en lugar de gestionar los residuos.
  - Vincular y hacer que los datos relevantes estén disponibles para las evaluaciones en varios niveles de jerarquía.
  - Posicionamiento estratégico de las plantas (p. ej., reciclaje, comerciantes de materiales, etc.) y gestión de la cadena de suministro.
  - Reducción en los costos asociados con la eliminación de residuos.
  - Mayor eficiencia en el uso de recursos.
  - Incremento en la competitividad empresarial a través del desarrollo de nuevos modelos de negocio basado en la economía circular.
  - Posibilidad de reutilizar los materiales reciclados en nuevas construcciones.

- Fomento de la inversión y el interés en estrategias sostenibles mediante la imposición de clasificaciones claras y consistentes de residuos de construcción y demolición.

Lo anterior se representa gráficamente a continuación en la Figura 10 y en el Anexo 1 con la Tabla de coincidencias.



**Figura 10: Grafica de coincidencias beneficios Ambientales, Sociales y Económicos**

Fuente: Elaboración propia

Al consolidar la información obtenida, se puede considerar una disposición de los beneficios que de manera similar diferentes autores han expuesto, y su vez, realizar

algunas anotaciones sobre el aporte que representa cada investigación. Como se ha evidenciado, dentro de los beneficios ambientales, se han considerado de manera global como mayor coincidencia, en un 65% de las publicaciones, la eliminación de desperdicios (reducción de residuos generados) como el beneficio de mayor impacto ambiental, de acuerdo con autores como:(Atta et al., 2021), (Pérez Montero, 2021),(Qiao et al., 2022),(Bertin et al., 2022), así como el 60% de ellos destacan el beneficio que se genera al Reducir el uso de recursos vírgenes,(Chan et al., 2019), (Honic et al., 2021), (Bertin et al., 2022),(Qiao et al., 2022), (Nežerka et al., 2023), destacando lo manifestado en el artículo Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review "el reúso/reciclaje de materiales de construcción y demolición produce un beneficio ambiental debido al hecho de que vuelven a entrar en futuros ciclos de vida y evitan la producción de materiales de construcción a partir de recursos vírgenes" (Ghisellini et al., 2018,p 10); como el tercer beneficio a destacar, se observa que el 47% de los autores coincide que al evaluar el potencial reuso de los elementos y materiales constituyentes en una edificación, será significativa la reducción en la contaminación del aire, agua y suelo, (Akduman et al., 2021), (Alqahtani et al., 2021), (Andersen et al., 2022), en el artículo de estimaciones de generación de RCD en edificios institucionales resaltan que "las estimaciones de los beneficios ambientales, proporcionan un conocimiento más profundo sobre el reciclaje y reutilización de RCD lo que permitiría mejorar el desempeño ambiental de la industria de la construcción y apoyar las iniciativas globales para conservar recursos naturales" (Bakchan & Faust, 2019, p 13)

En cuanto a los beneficios sociales, se pueden entender como una consecuencia indirecta de los ambientales y económicos, quizá por esta razón no son nombrados de manera específica con mucha frecuencia en los documentos evaluados, sin embargo, cuando se establecen todos aquellos beneficios sociales orientados a los componentes que generan en efectos positivos a nivel colectivo, ha sido posible evidenciar aspectos contribuyentes desde la refuncionalización de patrimonios históricos, un aporte a la formación y concienciación de los ciudadanos en contexto multiculturales, y en general, la consecución de ciudades sostenibles entendidas como centros urbanos a partir de la integración de ciclos productivos y desde el uso inteligente de productos, hecho que, resulta favorecedor en el mejoramiento de los indicadores sobre la calidad de vida.

Resulta pertinente resaltar que, dentro de los beneficios sociales que se han enmarcado, el 42% de los autores estudiados como (Ghisellini et al., 2018), (Honic et al., 2021), consideran la generación de empleo relacionados con el reuso, y reciclaje de materiales es el beneficio social con mayor impacto “En un escenario de buenas prácticas, se puede estimar la creación de 1000 empleos-eq”(Iodice et al., 2021, p.1) otorgando seguridad bajo criterios de salud y seguridad alimentaria bajo nuevos modelos de producción en apoyo con sectores de interés como uno de los elementos significativos en este ámbito, lo que puede estar dado con base a la necesidad de divulgación constante sobre las cualidades y capacidades de los efectos que trae consigo ‘reutilizar y reusar’ desde el compromiso social que no solo le competen a los ciudadanos, sino que se encuentra articulado a un proceso de instauración de políticas

y regulaciones legales que en su cumplimiento, representa una vía para esta economía, en el documento Indicadores de economía social circular, se halla que los expertos en EC relacionan los beneficios sociales y las metas de los ODS permitiendo evaluar y monitorear los avances en la implementación de los mismos, “El ODS más importante es el trabajo decente y el crecimiento económico (ODS 8), que incluye salud y seguridad en el trabajo , trabajo infantil, trabajo forzoso” (Padilla-Rivera et al., 2021, p. 9)

No obstante, la implementación de políticas de materia de economía circular parte desde una perspectiva exploratoria en un escenario hipotético, lo que genera incertidumbre frente a las medidas efectivas para la implementación de las políticas de economía circular. Evaluar la circularidad desde la perspectiva normativa podría generar conocimientos sobre qué sectores económicos son más relevantes para implementar intervenciones de circularidad, apoyando así el proceso de toma de decisiones. Los estudios futuros también podrían utilizar un enfoque retrospectivo, lo que permite evaluar las oportunidades actuales para alcanzar los objetivos de circularidad a medio y largo plazo. (Aguilar, Rodriguez y Tukker, 2021, p. 9)

De forma complementaria a la dimensión social, es importante nombrar que el 19% de los autores estudiados como (Mhatre et al., 2021), (Qiao et al., 2022) consideran como beneficio alcanzable el mejorar la calidad, el valor y la seguridad del suministro de materiales, esto encaminado hacia un mejoramiento de los indicadores

que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos, como se concluye en el artículo de (Rosado et al., 2019)

Los resultados obtenidos por la línea de base CML indican que “Toxicidad Humana” fue la categoría más importante, dónde los impactos evitados del reciclaje de acero y los impactos generados por el transporte fueron los principales contribuyentes. Los resultados obtenidos por Impact 2002+ indican que “Inorgánicos Respiratorios” y “Calentamiento Global” fueron las categorías más importantes, donde los impactos evitados del reciclaje de acero, el transporte y los vertederos juegan un papel crucial. (p.11)

Considerar los beneficios económicos, conlleva a entender la articulación de los ambientales y sociales, que en su instauración y alineación, generan un aumento en la productividad y permite obtener: un valor agregado y sostenible, una disminución en el gasto de materiales, recurso humano y tiempo, la conservación de las propiedades de valor de los materiales, un aumento en la productividad, y una gran oportunidad de innovación con relación a la implementación del banco de materiales.

Entendiendo el sector de la construcción como un gran consumidor de materiales y generador de RCD, la minimización de éstas cantidades aporta a beneficios por la adecuada gestión ambiental, lo cual incentiva la logística inversa y viabiliza los proyectos de manera económica, el 51% de los autores consultados, manifiestan que de acuerdo con las prácticas de reúso y reciclaje se logra una reducción en los costos asociados con la eliminación de residuos, (Hoosain et al.,



2020), (Pérez Montero, 2021), (Saer & González, 2019), (Tighnavard Balasbaneh et al., 2022), (Sanchez et al., 2020), (Qiao et al., 2022) y (Xia et al., 2020).

Sin embargo, hay autores, como (Iodice et al., 2021) que alertan en el comparativo de un caso de estudio en Italia, en términos comparables, “Los costos convencionales, se observa un mayor costo de gestión de RCD al pasar de escenarios lineales a escenarios más circulares. El aumento se debe principalmente a mayores costos de reciclaje y mayores costos de demolición selectiva” (Iodice et al., 2021, p. 8)

Desde un punto de vista más general, el potencial que tiene implícito la reutilización y el reciclaje de materiales es sumamente amplio y aplicable en diferentes escenarios que se alinean a los modelos arquitectónicos y construcciones, lo que se puede traducir a un impacto económico donde al alargar la vida útil de los materiales, se estarían generando menos inversiones a largo plazo que, estarían cimentadas en la sustentabilidad de la construcción de edificaciones con estructuras duraderas, de buena calidad y reparables.

## **Concepto de Pasaporte de Materiales en el Mundo y su Replicabilidad en los Proyectos de Edificaciones en Colombia**

Este capítulo contiene una contextualización, conceptualización y caracterización de las principales propuestas que, a modo de pasaporte de materiales, han sido desarrollados en distintos países del mundo con la intención de hacer al sector de la construcción más eficiente y mitigar de manera sustancial su impacto medioambiental. En ese sentido, se describirán diferentes tecnologías, guías prácticas de implementación, plataformas virtuales de participación internacional e intergubernamental para el fomento de prácticas de circularidad económica, entre otros elementos en torno a la implementación del concepto de pasaporte de materiales en procesos de construcción y edificación. Por lo tanto, la metodología empleada para este capítulo consistió, al igual que para el capítulo anterior, en consultar en multiplicidad de bases de datos de información académica y científica, mayormente de lengua inglesa, así como en foros internacionales, acuerdos, convenios o convenciones que se hayan realizado de manera mancomunada entre gobiernos de distintos países y organizaciones de la sociedad civil, así como también empresas y entidades privadas, siendo hallados ocho instrumentos a nivel mundial, de los cuales siete cuentan con información suficiente y adecuada que permita desarrollar el análisis esperado y serán las incluidas en la presente investigación.

El pasaporte de materiales dentro de la economía circular es un pilar que se ha estudiado, planificado y ejecutado en diversas partes del mundo, producto de las

consecuencias negativas que el medio ambiente ha vivido como resultado del mal manejo de sus recursos. Por lo que, ha resultado obligatorio estudiar e implementar políticas, en distintos niveles de las construcciones, que permitan realizar edificaciones favorables con el ecosistema.

Este instrumento busca conocer las propiedades físicas y químicas de los materiales e incluso la afectación que puede tener en temas de salud. Así mismo, pretende identificar cada material por medio de etiquetas que especifiquen la trazabilidad de estos, con el fin de identificar la relevancia de cada elemento durante el proceso de construcción, durante su uso y final de vida útil (Castaño, 2015).

El pensar entonces en la utilización e implantación masiva del Pasaporte de Materiales, abre las posibilidades en diversos campos científicos que pueden llegar a aportar en relación con predecir la oferta y demanda de materiales en determinados contextos tanto locales como globales. (Manelius, Nielsen y Kauschen, 2019)

Como complemento de lo anterior, otros aportes señalan la necesidad de incluir aspectos como la calidad ambiental, el mantenimiento de los materiales del edificio de una forma sustentable, etc., los cuales pueden contribuir en la prevención de desastres que a la larga también otorga ventajas económicas. Así mismo, este resulta ser una herramienta que está con la comunidad durante el proceso de rehabilitación que posibilita mejorar la calidad del edificio, cuyo objetivo final radica en mejorar las condiciones de vida y ser sostenible con el medio ambiente.

Ahora bien, como referencia principal de Pasaportes de Materiales los a nivel mundial son: el proyecto europeo BAMB (Buildings as Material Banks) o Edificios como Bancos de Materiales, Madaster, el cual es el registro en línea de materiales y productos, C2C (Cradle to cradle), CB23, GABC, Lean2Cradle EIG y PAS-E (Building passport); los cuales se abordarán a continuación.

### **BAMB**

BAMB busca facilitar los ciclos de la economía circular, tal como indica en su web, cambiando la cultura del diseño, la definición de valor y la colaboración entre agentes. Según el documento Material Passports, Best Practice del proyecto europeo BAMB (Buildings as Material Banks) escrito por Heinrich. M. y Lang, W. (2019). "Los pasaportes de materiales (MP) son conjuntos (digitales) de datos que describen características definidas de materiales y componentes en productos y sistemas que les dan valor para su uso actual, recuperación y reutilización". (Mulhall et al., 2017)

Según el documento Reversible Building Desing. guidelines and protocol de E. Durimisevic para BAMB (2018), se relaciona con el cambio de función del edificio y su impacto en la estructura, lo que se analiza en la fase de diseño preliminar, valorando la capacidad del espacio de acomodar diferentes funciones sin grandes trabajos de reconstrucción, demolición y pérdida de material. Se categorizan tres tipos de transformaciones:

- Monofuncional: edificios de esta categoría tienen la capacidad de transformar la tipología de distribución dentro de una función, por ejemplo, una oficina que se transforma en abierta o moldea el número de salas según las necesidades o viviendas que se adaptan al número de habitantes o diferentes discapacidades.
- Transfuncional: edificios que pueden transformarse entre usos distintos sin grandes procedimientos.
- Transformable: edificios que pueden alterar su uso y a la vez ampliarse, reducirse o reubicarse: esto aúna las dos categorías anteriores. (2018).  
Así mismo, Kedir (2021) expone los niveles de composición de edificios de

BAMB son:

- Sistema: se refiere a un producto en su forma compleja. Esto incluye un producto que constituye múltiples componentes y partes de diferentes fabricantes. Los ejemplos incluyen un sistema de pared que contiene una variedad de otros materiales y sistemas mecánicos, eléctricos y de plomería (MEP).
- Producto: representa un artículo que se fabrica y se vende. Un producto generalmente constituye un nombre comercial, una identificación del productor o una designación similar. Los ejemplos incluyen paredes, baldosas para pisos, paneles de yeso para paredes y pintura para paredes.
- Componentes: son las partes que componen un producto. También incluye materias primas como madera, tierra, arcilla, piedra que se encuentran en este nivel.

- Ingredientes: (materiales) incluir los productos químicos que componen un producto.

Adicionalmente en el documento “Framework for Materials Passports, 2017” (Mulhall et al., 2017), se propone una herramienta completa para la conformación de pasaporte de materiales mediante la puesta a disposición de una plataforma que permite el almacenamiento de información que será alimentada por los actores del mercado involucrados en proyectos de construcción de edificaciones.

El pasaporte de materiales identifica los valores cualitativos y cuantitativos que potencialmente serán de gran utilidad para el usuario durante el desarrollo del proyecto.

Las categorías principales de valores son:

- Diseño y contenido de producto: por ejemplo, posibilidad de reúso o facilidad de reparación
- Operación y funcionalidad: por ejemplo, Facilidad de mantenimiento y contribución al confort al interior de la edificación
- Acceso a la información: por ejemplo, si todos los actores involucrados tienen acceso a la misma información en línea
- Mejoramiento potencial: por ejemplo, cualidades de circularidad esperadas
- Finanzas: por ejemplo, reducciones en impuestos y ahorro en desperdicio de material

El mismo documento menciona el potencial que tienen los pasaportes de materiales para ser implementados en escenarios como la reutilización de materiales durante el rediseño y reacondicionamiento de una edificación existente, evaluación de la composición de los materiales y su potencial afectación a la salud, bases de datos que permitan fácil acceso a la información, compatibilidad con el uso de metodologías como Building Information Modelling (BIM), monitoreo de la necesidad de reparación o reemplazo de elementos antes que se cumpla el período de vida útil, entre otras.

En relación con Building Information Modelling (BIM), se indica que existe una vinculación potencial con el pasaporte de materiales, teniendo en cuenta la disponibilidad de la información de cada uno de los componentes de un edificio, sin embargo, de igual forma se resalta la falta de estandarización que permita un uso racional de la herramienta, especialmente al momento de detallar las características que son de interés para el pasaporte de materiales como son fecha de fabricación, fabricante, modelo, material, etc. (EPEA, 2017)

### ***Madaster***

Por otro lado, en Madaster se registran datos sobre todos los materiales y productos que se incorporan a un objeto inmobiliario o de infraestructura, como edificios y puentes. El registro de cada componente proporciona información, por ejemplo, sobre el grado en que un objeto se puede dismantelar, el carbono incorporado o la toxicidad de los materiales y productos utilizados.

También permite determinar si los materiales y productos se pueden reutilizar después del desmontaje. Construir de forma circular significa que estamos reduciendo drásticamente la cantidad de residuos y emisiones de CO<sub>2</sub> y estamos cuidando mejor nuestro planeta. Se configura como un registro en línea, que proporciona la base de datos, el software y las herramientas para que usuarios privados, industriales y gubernamentales generen, almacenen y gestionen pasaportes de materiales individuales y carteras de edificios (Madaster, 2018a).

Madaster proporciona una plataforma para crear MP utilizando diferentes capas de construcción. Utilizando las capas de construcción descritas originalmente por Brand (1995 citado en Kedir, 2021), el indicador de circularidad de Madaster calcula:

- La cantidad de materiales vírgenes, reciclados, reutilizados y renovables utilizados en un edificio determinado.
- Compara la vida útil de los materiales y productos utilizados en un proyecto con la vida útil promedio de otros similares.
- Evalúa el destino final previsto de materiales y productos.

En 2015, la Fundación Ellen MacArthur (2015) publicó los Indicadores de Circularidad de Materiales (MCI), que se basan en la restauración de los flujos de materiales a nivel de producto y empresa siguiendo cuatro principios:

- Uso de materias primas de fuentes reutilizadas o recicladas
- Reutilizar componentes o reciclar materiales después del uso del producto



- Mantener los productos en uso por más tiempo (por ejemplo, mediante la reutilización/redistribución)
- Hacer un uso más intensivo de los productos (por ejemplo, a través de servicios o modelos de rendimiento).

El indicador tiene como objetivo medir hasta qué punto se ha minimizado el flujo lineal y maximizado el flujo restaurativo para los materiales que lo componen, y cuánto tiempo e intensidad se usa en comparación con un producto similar promedio de la industria. El MCI se construye esencialmente a partir de una combinación de tres características del producto: la masa  $V$  de una materia prima virgen utilizada en la fabricación, la masa  $W$  de residuos irrecuperables que se atribuyen al producto, y un factor de utilidad  $X$  que da cuenta de la duración y la intensidad del uso del producto (Fundación Ellen MacArthur y Granta Design, 2015).

Basándose en el MCI y adaptándolo a las especificidades de la industria de la construcción, la Fundación Madaster desarrolló el Indicador de Circularidad (CI). El CI evalúa el nivel de circularidad de cada edificio entre 0 y 100 por ciento en función de la información cargada por los usuarios en la plataforma. Un edificio que se ha construido con materiales vírgenes y se va a vertedero después de una fase de uso más corta que la media se considera un edificio totalmente "lineal" con un Madaster CI del 0 %. En el otro extremo del espectro, un edificio construido con materiales reutilizados y/o rápidamente renovables que se pueden desarmar y reutilizar fácilmente en otro lugar al

final del tiempo de uso es un edificio completamente "circular" con una puntuación de 100% (Madaster, 2018a).

### **PAS-E**

En sus investigaciones, Arabella y Rodríguez (2021) han esclarecido lo que se denomina PAS-E en la conceptualización más precisa de *pasaporte del edificio* donde enfatizan en esta herramienta europea como un instrumento que se encuentra presente en el proceso de rehabilitación profunda que permite aumentar la calidad del edificio en cada una de sus vertientes, con el objetivo de mejorar las condiciones de vida y reducir el impacto ambiental en todo el ciclo. En el abordaje conceptual que realizan los investigadores, lo establecen como:

Una forma holística en tres ámbitos de calidad relacionados con la generación de habitabilidad: el ámbito de la calidad técnica de los sistemas constructivos y las instalaciones; el ámbito de la calidad funcional de las viviendas; y el ámbito de la eficiencia en el uso de los recursos, especialmente los energéticos y los hídricos. (Arabella y Rodríguez, p10.)

Esta investigación ahonda en el ciclo de vida del PAS-E, pues establece que tiene un enfoque centrado en la persona, donde se aproxima al proyecto a partir de las necesidades por medio de un enfoque bottom-up, lo cual conlleva cambios en la gestión tradicional de un proyecto. En este sentido, el ciclo de vida no se categoriza como una secuencia lineal, sino que combina una estructura progresiva de cinco fases junto con una relación transversal entre ellas que permite la interacción y el intercambio

de información, las cuales son: el diagnóstico; planificación; compromiso; ejecución; evaluación. (Arabella y Rodriguez, 2021).

La fase diagnóstico recopila toda la información referente al edificio, comunidad, agentes involucrados, y conforma un sistema de indicadores que guiará todo el proceso. La fase planificación, implica el desarrollo de una hoja de ruta para rehabilitar el edificio y acompañar a la comunidad. La fase compromiso, se sitúa entre las fases de preparación y ejecución, por lo que es vital para superar las barreras relativas a la gestión de los interesados y asegurar que la comunidad está comprometida con los objetivos a largo plazo. La fase de ejecución se realiza en el tiempo y por pasos, de acuerdo a las necesidades de la comunidad. Finalmente la fase de evaluación, consiste en el monitoreo de la intervención realizada en cada paso de la ejecución a través de un sistema de indicadores que permiten identificar desviaciones con respecto al plan de ejecución teórico. (Abella y Rodriguez, 2021).

El PAS -E concreta 3 servicios dirigidos a la comunidad, los agentes del sector y la administración:

- El libro digital del edificio: Es una plataforma de datos pública en permanente actualización que integra y centraliza toda la información y los documentos relacionados con el edificio
- Plan de acompañamiento a la comunidad: Es un soporte técnico en formato presencial y digital que tiene la finalidad de involucrar a las personas como agentes rehabilitadores, mediante la gestión comunitaria, la participación y el aprendizaje.

- Plan de rehabilitación del edificio: Es una hoja de ruta que muestra la secuencia de intervenciones a ejecutar en el tiempo para llevar la construcción a unas condiciones de calidad técnica, funcional y de eficiencia, de acuerdo con los objetivos públicos para el parque residencial (Abella y Rodríguez, 2021).

Las consideraciones de los autores en su contexto ven la herramienta PAS-E como un mecanismo para situar a España a la vanguardia europea, y un elemento clave para superar las barreras que frenan el ritmo de rehabilitación, no obstante, requiere el desarrollo de un proceso de implementación que necesita ser abordado a partir de políticas y legislaciones en materia de vivienda para levantar los pilares de un nuevo sector de la edificación legislativa, operativa, financiera y social. (Abella y Rodríguez, 2021).

### ***Cradle 2 Cradle***

Desde una perspectiva similar, Vera (2020), investiga sobre la gestión de nuevos planes, modelos y métodos de trabajo para los proyectos de construcción, desde una visión de innovación y transición paulatina hacia un modelo de economía circular. De este modo, en su estudio expone una metodología de trabajo desarrollada por la compañía Construcía, que recibe el nombre de Lean2Cradle, y que se debe principalmente a los modelos Lean Construction (LC en adelante) y Cradle to Cradle (C2C en adelante). El propósito fundamental de esta herramienta es, en lo que compete al modelo LC: a la eliminación y reducción de todos aquellos elementos que

no agreguen valor a las actividades involucradas en cada una de las fases de ejecución de los proyectos.

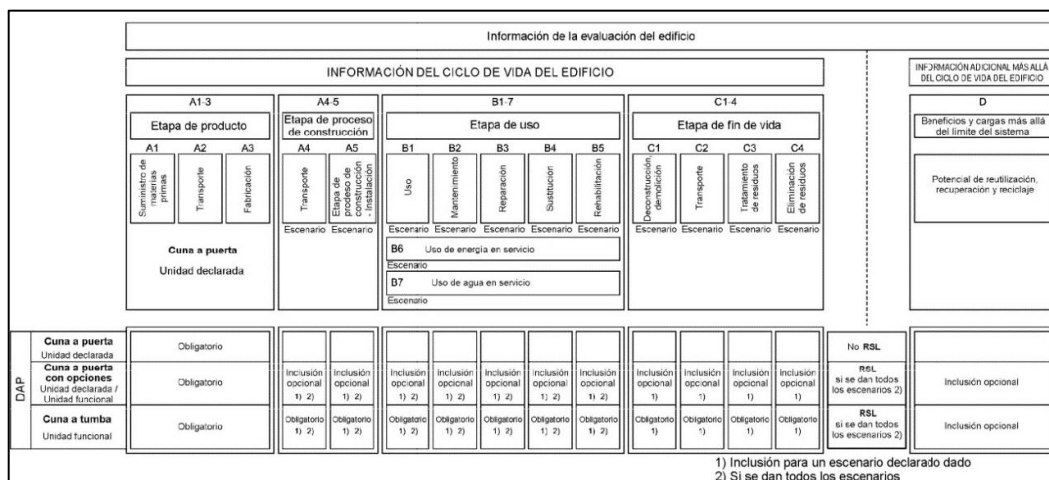
Luego, respectivamente, en lo que concierne al modelo C2C, se trata de la incorporación de un modelo de diseño, tanto de materiales como de productos, que pretende reutilizar cada uno de los elementos involucrados en la gestación de los proyectos al final de los ciclos de vida de estos.

Por lo tanto, la importancia de la investigación reposa en la voluntad de aproximación a un modelo de Economía Circular, donde, la prioridad principal es la construcción de un proyecto óptimo y eficiente, en el cual no exista lugar al desperdicio de materiales. (Vera, 2020). Finalmente, el objetivo de la investigación tiene que ver con proponer indicadores para las fases de uso y deconstrucción del proyecto implementado, conforme a los lineamientos que la Construcción se dispone desde sus herramientas Lean 2 Cradle.

Desde otro punto de vista, Cradle to Cradle encierra componentes pertenecientes al modelo C2C donde contempla que el objetivo de este proceso es adoptar un modelo existente en la naturaleza para la no producción de residuos, a lo que, le añade que su propósito es alto, pues éste afirma que pretende pasar del concepto actual de la cuna a la tumba al concepto de la cuna a la cuna, y que el ciclo de vida se vuelva a empezar constantemente. (Martínez, 2016)

Esto anterior, refiere de una explicación que el autor aborda citando a McDonough (2005), quien crea la teorización de “Cradle to cradle: rehacer la forma en que hacemos las cosas”, quien menciona que la idea del Cradle to cradle, es concebir los edificios desde un diseño ecológicamente más efectivo para que no necesiten malgastar energía a fin de alcanzar unos resultados y confort óptimos. Esto permite entonces generar más energía de la que se consume con el fin de mantener el mundo diverso, seguro, saludable y justo, con aire, agua, suelo y energía limpia que pueda ser disfrutada de manera económica, ecológica y ética.

En ese sentido, se dispone que existen cuatro etapas fundamentales en este ciclo de vida como se observa en Figura 11: Etapas y Módulos de un ACV y tipos de DAP ISO 21930:2007 , que son: la etapa de producción, (A1-A3), que tiene que ver con la adquisición de materias primas, la fabricación de los materiales que ocupa el proyecto, entre otros pasos asociados a la producción previa al ensamblaje del bien inmueble. Seguidamente, etapa de construcción (A4-A5), que se trata a cerca del transporte al sitio de la construcción final, y los procesos de edificación en sí. Posteriormente, se sitúa la etapa de uso (B1-B7), cuyo contenido guarda relación con todos aquellos elementos que tienen lugar de manera posterior a la entrega de la construcción, esto es, su uso propiamente, la ocurrencia de mantenimientos cuando hubiere lugar a ello, reformas, uso de energía y agua. Finalmente, la etapa del fin de la vida útil (C1-C4), da cuenta de los procesos de deconstrucción, el transporte de residuos y las disposiciones finales de los materiales.



**Figura 11: Etapas y Módulos de un ACV y tipos de DAP ISO 21930:2007**  
Nota. Fuente (ISOVER, 2018)

### CB23

CB23 es una plataforma diseñada para promover la adaptación de la industria de la construcción hacia parámetros de circularidad en el marco de un paradigma de construcción sostenible. En ese sentido, por medio de esta plataforma se reúnen distintos actores influyentes en este proceso de transición, esto es, los grupos de interés; específicamente todos aquellos actores interesados que hacen parte del mercado, quienes fungen como autoridades competentes en materia de formulación de políticas públicas, la comunidad científica, entre otros equipos de acción y entidades que puedan pertenecer al círculo sobre el cual se da la gestión de interesados. (Plataforma CB23, 2020).

Adicionalmente, la contribución de esta plataforma al fomento de las prácticas de circularidad tiene que ver con que, desde su concepción, existe una articulación con otros elementos que así mismo buscan consolidar estas prácticas como una nueva base sobre el paradigma de la construcción, aunque grosso modo, de lo que se trata es

del fomento hacia la transición de todo un modelo económico y sus dinámicas de producción y consumo. No obstante, el propósito superior de la plataforma da cuenta de la búsqueda por un gobierno óptimo de materiales y datos sobre las materias primas, de tal forma que, conociendo previamente toda esta información, los procesos de planificación que surjan alrededor de la ejecución de un proyecto que incorpore estos elementos, giren en torno a la materialización de proyectos sostenibles. (Plataforma CB23).

CB23 recomienda promover el uso del pasaporte mediante iniciativas legislativas que permitan concientizar a la comunidad de la necesidad de la implementación de la circularidad. El gobierno debe definir claramente una estrategia para la generación de un sistema de pasaporte bien constituido, en un tiempo alineado con las metas de economía circular. Por otro lado, es necesario realizar un análisis de la lista de pasaportes existentes que contribuya a la acumulación de información suficiente para futuros desarrollos. (Plataforma CB23).

Adicionalmente, CB23 propone algunos pasos que pueden ser ejecutados como:

- El estudio de las partes y elementos de las estructuras existentes, que con el apoyo de expertos, se podrán identificar oportunidades para establecer la circularidad y la información necesaria para cumplir con esta misión
- La creación de una entidad central para el manejo del futuro registro de los pasaportes, la cual tendrá como objetivos la validación de la información



evitando ambigüedades y la optimización de la gestión administrativa.

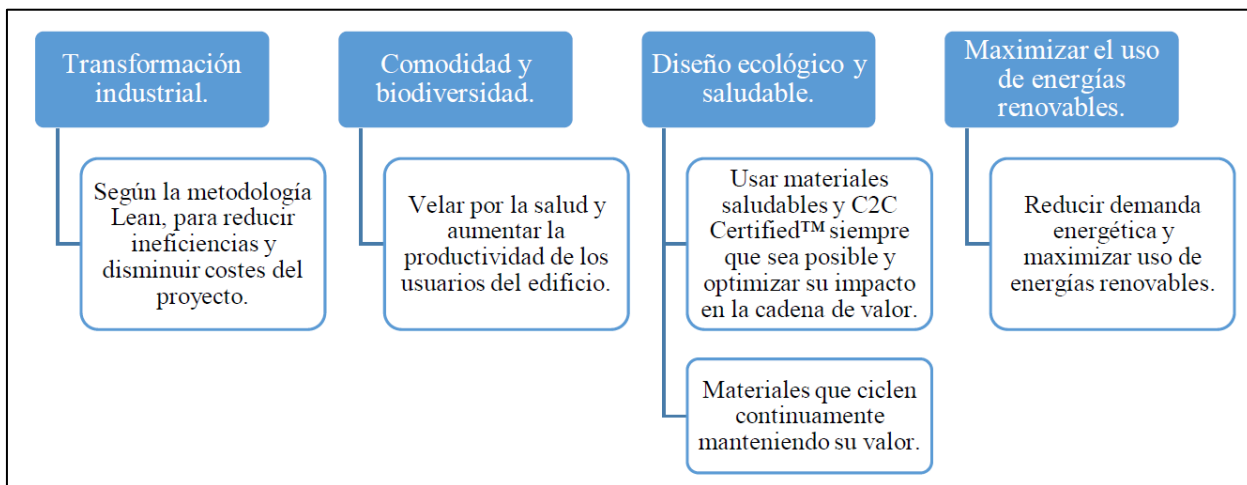
(Plataforma CB23).

### **LEAN 2 CRADLE**

Lean2Cradle® (L2C®) es una metodología propia de Construcía que combina los beneficios de Lean Construction y Cradle to Cradle. L2C® diseña, planifica y gestiona el proceso de construcción, así como la renovación de espacios y la deconstrucción del edificio para preservar y maximizar el valor de los materiales con el fin de garantizar la salud y el bienestar de los ocupantes y la protección del medio ambiente. Se plantea inicialmente utilizar materiales sin sustancias tóxicas y luego, en la fase de diseño identificar cómo serán utilizados después de su primera vida útil.

(Vera Cornejo, 2020)

Los principios son los siguientes:



**Figura 12. Principios Lean2Cradle.**

Fuente (Construcía and Eco Intelligent Growth, 2019)

Lo anterior es evaluado mediante una metodología de desempeño teniendo en cuenta indicadores según diferentes categorías que son indicadores según

transformación industrial, comodidas y biodiversidad, diseño ecológico y saludable, maximización en uso de energía renovables, de acuerdo con los resultados obtenidos en cada uno de los indicadores se clasifican en niveles como platinum, gold, silver, bronze y basic.

Bajo ésta metodología la compañía Construcía desarrolló el acondicionamiento de sus instalaciones ubicadas en el edificio Manusa de Sant Cugat de Valles, Barcelona, España obteniendo los siguientes resultados, de acuerdo con la publicación de (Ecointelligent Growth, 2019)

El 98% de los materiales se identificaron

El 92% de éstos pueden ser ciclables

El 95.6% de los materiales utilizados con C2C certificated o han sido validados

El valor residual del edificio estimado es de 16.300 Euros (lo que supone un 11% del Presupuesto de Ejecución Material, PEM)

### **GABC**

Al igual que el pasaporte anterior, GABC es una plataforma líder global tanto para gobiernos como para sector privado, la sociedad civil y la comunidad investigativa, e incluso para la participación intergubernamental entre varios países; específicamente en lo que trata a cerca del sector de las edificaciones y la construcción con política de cero emisiones, resiliente y eficiente.

El objetivo principal de la Global Alliance Buildings Construction es servir como organización para la colaboración global multiplataforma, reuniendo diversidad de

iniciativas y actores interesados e involucrados en la lucha por el cambio climático. Por lo tanto, el vehículo que se procura impartir a través de esta guía tiene que ver con la descarbonización de los edificios y del sector de la construcción, siguiendo la línea del Acuerdo de París. (GABC, 2021).

Bajo esa noción, la esencia de las consignas que defiende GABC, ha reunido un conglomerado de gobiernos, organizaciones y entidades de todo el mundo, de alrededor de 150 miembros, incluidos 30 países de todo el mundo; fundamentalmente bajo el precepto del impacto medioambiental de la acción climática ocasionada por los modelos vigente de producción y consumo. (GABC. 2021).

GABC identifica los siguientes beneficios sobre el uso del pasaporte de edificio:

- Disminución del costo mediante la optimización en la recolección y manejo de la información .
- Mayor eficiencia en el acceso a la información mediante almacenamiento de la misma en un solo lugar.
- Mayor transparencia a través del fácil acceso a información precisa y disponible para todas las personas involucradas.
- Mitigación de riesgos gracias a la disponibilidad de información acertada.
- Contribución a la mejor toma de decisiones.
- Creación de sinergias en los sectores de la cadena de valor a través de información compartida.
- Aumento en la productividad y desarrollo de nuevos modelos de negocio.

Adicionalmente, GABC brinda información acerca de los pasos que se deberían seguir para el desarrollo de nuevos pasaportes de edificios como son :

- La definición clara del objetivo del pasaporte, a través de la evaluación de información existente.
- Desarrollo de soluciones legales y técnicas.
- Identificación de herramientas de implementación, mediante la definición de flujos de procesos, guías para las entidades interesadas y el desarrollo de un modelo de negocio.

Finalmente, como Anexo 2, la tabla 3: **Análisis de algunos pasaportes de materiales en torno a sus distintivos y adaptabilidad en Colombia** se detalla información sobre cada uno de los pasaportes de materiales aquí abordados, ahondando específicamente en aspectos relativos a sus mecanismos de funcionamiento, principales distintivos y características, el sitio de donde provienen, de acuerdo con los diferentes contextos, variables y limitaciones que presenta el panorama nacional en torno a la transición económica que implica el fomento de prácticas circulares, esto bajo los parámetros relacionados en la ISO21930 para declaraciones ambientales de producto, sus requisitos y directrices que deberían aplicarse, para crear una Regla de Categoría de Producto (RCP).

Luego del análisis comparativo de las necesidades y manejo de la información identificada en cada una de las herramientas, se destaca la importancia de llevar a la

digitalización los procesos en el sector de la construcción, de modo que facilite la implementación de iniciativas relacionadas con la integración e intercambio de la información que permitan un crecimiento y avances interdisciplinarios en torno a la sostenibilidad en Colombia.

De acuerdo con lo presentado en el informe de Competitividad: Innovación, Sostenibilidad y Digitalización en el sector de la construcción, unas de las causas de la baja productividad del sector en Colombia es “la falta de tecnología e innovación, estandarización y digitalización de la cadena de valor 66% de las empresas no tienen un recurso dedicado a los asuntos de Información, Comunicación y Tecnología; debido a que según percepción no se requiere” (Gómez, 2022)

El gobierno nacional lidera la política Nacional para la transformación digital e inteligencia artificial (CONPES et al., 2019) en la cual de acuerdo con la línea de acción 7:

La Financiera de Desarrollo Nacional junto con el Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Ministerio de Transporte y las demás entidades públicas que desarrollen proyectos relacionados con construcción e infraestructura, diseñarán una estrategia de fomento para la transformación digital del sector de la construcción e infraestructura, con el fin de aumentar la capacidad de toma de decisiones a través de un proceso coordinado y colaborativo que permita la creación, gestión

y uso compartido de la información de los proyectos a lo largo de su ciclo de vida.(p.47)

De igual manera desde el sector privado La Cámara Colombiana de la Construcción en Colombia, CAMACOL, lidera la estrategia que pretende impulsar BIM como metodología de trabajo para la transformación del sector, logrando acelerar procedimientos, reducir variables de costos y tiempo y aumentar la productividad en procesos de construcción, lo dicho en el artículo de transformación digital en su página web CAMACOL menciona

Reconocemos que existe una ventana de oportunidad en torno a la transformación de procesos a través del uso de nuevas tecnologías, pues existe evidencia de que implementando mejores prácticas a nivel mundial es posible alcanzar hasta un 15% de aumento de la productividad así como el potencial de aumentar el valor agregado del sector en 4 billones de pesos al año. (p.1)

En ese sentido, en algunos de los análisis surgen de la información que contiene la tabla 3, se colige que:

En primer lugar, es posible considerar la viabilidad de implementación del modelo BAMB. Este modelo surge como una iniciativa de la Unión Europea, como una apuesta por la adaptabilidad de un nuevo paradigma en la industria de la construcción, cuyo objetivo esencial radica en diseñar nuevas formas de construir, emplear distintas metodologías y técnicas, tanto desde el punto de vista que tiene lugar desde la gestación del proyecto, como en cada una de las fases o ciclos de vida que atraviesa

una determinada edificación. Conviene entonces mencionar que, a grosso modo, esta iniciativa converge con los propósitos de Colombia, específicamente en el marco de la implementación de las nuevas dinámicas de producción y uso que pretenden desarrollarse bajo la consigna fundamental de la Agenda 2030: transitar hacia un modelo económico productivo sostenible en el tiempo.

De la misma manera, y guardando relación esto con la naturaleza de las herramientas que, defendiendo el concepto de pasaporte de materiales, convergen con la noción de ‘edificación como banco de materiales’; puede hablarse también de una aparente viabilidad de algunas otras iniciativas o instrumentos, a decir, entre estos: CB23, que recoge información sobre todos aquellos procesos que tienen que ver con la construcción de proyectos de edificación bajo parámetros de circularidad y sostenibilidad ambiental, en una plataforma virtual de tipo internacional. Así mismo, se refiere también PAS-E, quien procura mejorar a la vez, calidad de vida e impacto ambiental en todos los ciclos del proyecto. También conviene resaltar el importante papel de una posible adaptación de un formato para la revisión de los indicadores de economía circular que se miden anualmente en los países miembros de la OCDE. Esto, porque dicha medición permite ejercer control y veeduría sobre la transición económica que enfrenta la sociedad, por lo que se considera, además, como una herramienta necesaria.

La replicabilidad de pasaporte de materiales en Colombia, podría abordarse desde el análisis de las diferentes la perspectivas técnicas y administrativas halladas

en el diagnóstico con base a las variables comparativas, estos elementos dentro del panorama local las cuales se podrían utilizar como fuente base de consolidación de criterios y prácticas que servirán en el momento del desarrollo de una herramienta tipo MP en el país, esto como por ejemplo:

- Para el desarrollo de los proyectos metodológicos de análisis de ciclo de vida de la mano del Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, se implementa en el país la Norma ISO 14040:2006 Environmental management. Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines; con la cual se regula la metodología de evaluación ambiental, analizando y cuantificando los aspectos e impactos ambientales.
- De manera general como iniciativa del MADS, y a través de la NTC 6112 de 2016 "Etiquetas ambientales Tipo I Sello Ambiental Colombiano - SAC" se establecen criterios ambientales para diseño y construcción, de edificaciones sostenibles.
- Este sello es un sistema de calificación voluntario con el objetivo de identificar y certificar ciertos productos o servicios, comprende criterios para las etapas de diseño, construcción, uso y el aprovechamiento final de las edificaciones.
- La Cámara Colombiana desarrolla una plataforma de gestión de conocimiento con el objetivo de convertirse en 2025 referente y autoridad técnica del uso de la metodología BIM en el país, se lanza el "El BIMKIT es una recopilación de documentos que acompañan el paso a paso que deben seguir las empresas para tener una implementación de BIM exitosa que articula a todos los actores



de BIM en un mismo lenguaje, nivelando el conocimiento a través de documentos técnicos". (CAMACOL, 2019)

- Normativa reguladora de los requisitos desde materia técnica en edificaciones. De manera general existe un decreto único que compila reglamentaciones preexistentes que reglamentan los aspectos de las licencias de urbanismo y construcción, es el decreto 1077 de 2015, Algunos requisitos puntuales que se deben considerar para el diseño son:
  - Plan de ordenamiento territorial POT
  - Normas Colombianas de Diseño y Construcción sismo Resistentes (NSR-10)
  - Ley 400 de 1997 / Ley 1229 de 2008
  - Código Eléctrico Nacional, ICONTEC 2050
  - Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas RETIE, Res 90708 de 2013
  - Reglamento Técnico del sector de agua potable RAS 2000, Res 1096 de 2000
  - Ley 1618 de 2013, Disposiciones para garantizar el pleno ejercicio de los derechos de las personas con discapacidad
  - Normas ambientales aplicables Resolución 1138 de 2013, Por la cual se adopta la Guía de Manejo Ambiental para el Sector de La Construcción.
  - En el marco de la sostenibilidad se tiene RES 549 Parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones,.

- ISO 15392: Sostenibilidad en la construcción de edificios
- ISO 21931-1: Sostenibilidad en la construcción de edificios Parte 1:  
Edificios
- El Consejo Colombiano de Construcción Sostenible cuenta con una herramienta llamada "Hoja de Ruta de Sostenibilidad para Materiales de Construcción", la cual plantea un marco de referencia para todo el sector y para los proyectos partiendo de la identificación de diferentes atributos de sostenibilidad de acuerdo a tres dimensiones: 1) la gestión corporativa, 2) la materialidad, y 3) el desempeño.
- Mercado local con alto potencial de desarrollo de materiales, y elementos con alta tecnología como modulares o impresiones 3D de gran formato en la construcción, proveedores como Conconcreto, Prefabricados, Premoldeados, Sika Colombia o Toxement, presentan fichas técnicas detalladas de cada uno de sus productos.
- Herramientas de control de proyectos como SINCO es un software colombiano que permite controlar y administrar la información de todas las áreas de una compañía a través de un solo sistema. Está compuesto por aplicaciones modulares que aumentan la eficiencia y productividad de los equipos de trabajo al conectar los procesos de la organización.
- A través del MADS con el fin de articular la implementación del programa Compras públicas sostenibles se ha creado una herramienta que funciona como ficha técnica "Las fichas técnicas con criterios de sostenibilidad son la herramienta que contiene los criterios de sostenibilidad para bienes y servicios

que pueden ser incluidos como condiciones de compra” (MADS, 2021) en ellas se establecen y se permite seleccionar y calcular criterios como reducción de los impactos en dimensiones como agua, energía, biodiversidad, residuos sólidos, salud humana, generación de empleo, costos; se relacionan las normas que apoyan el criterio y refuerzan su replicabilidad, se relacionan políticas nacionales e internacionales, planes, programas o proyectos que apoyen o sustenten cada criterio. Como se representa en la Figura 13.

Establece el bien o servicio al cual se le define los criterios de sostenibilidad

Bien o servicio

Describe el bien o servicio y define el alcance de la categoría de producto

Descripción del bien

Modalidad

La modalidad depende del B&S y puede ser: licitación pública, concurso de méritos, selección abreviada, contratación directa y grandes superficies.

Establece el porcentaje global de reducción del impacto de los criterios de sostenibilidad

Índice total de sostenibilidad

Los Indicadores (Dashboard) presentan el porcentaje de reducción del impacto por tema. No todos los indicadores aplican a todos los criterios.

Según la modalidad de contratación los criterios pueden ser: calificables, habilitantes\* o "a supervisar" durante la ejecución del contrato.

Permite seleccionar el criterio y calcular el indicador de reducción del impacto y el índice global de sostenibilidad de la ficha

Se relacionan las políticas nacionales e internacionales, planes, programas o proyectos de gobierno que apoyan el criterio y refuerzan su aplicabilidad.

Política asociada

Alguna normatividad asociada: Se relacionan las normas que apoyan el criterio y refuerzan su aplicabilidad.

Recomendaciones para su uso: Recomendaciones de uso y buenas prácticas para minimizar impactos y alargar la vida útil del B&S.

Agua	Energía	Biodiversidad	Cambio Climático	Residuos Sólidos	Calidad Atmosférica	Salud Humana (Respiratoria)	Generación Empleo (Residual)	Costo total de propiedad
0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Tipo de criterio	Criterio	Medio de verificación	Indicador asociado	Ponderación	Selección			
	Criterio de sostenibilidad para el B&S específico	Provee al usuario el instrumento que se debe solicitar al oferente para verificar el criterio de sostenibilidad que se incluyó en el proceso de contratación.	Aspecto de sostenibilidad al que apunta el criterio ilustrado en el tablero de indicadores	Establece el porcentaje total que hace referencia a la reducción del aspecto de sostenibilidad asociado al criterio	Si No			

**Figura 13: Ficha técnica con criterio de sostenibilidad.**  
Nota. Fuente (MADS, 2021)

Por otro lado, también conviene señalar una posible viabilidad de otro tipo de plataformas para el fomento de este nuevo modelo económico. Así, al igual que la plataforma CB23, existen otras plataformas cuyo objetivo es similar, pues en todo caso, pretenden fomentar esta mencionada transición económica. Estas son: Lean2Cradle EIG y GABC, ambas consideradas como plataformas líderes en el contexto de los

pasaportes de materiales y metodologías para la promoción de la Economía Circular. Adicionalmente, se destaca que GABC presenta un modelo en el cual se fomentan también las relaciones intergubernamentales para promover a escala global esta transición.

Este tipo de plataformas hoy son más importantes que nunca dado el actual contexto climático que vivimos a nivel mundial, donde la construcción, producto de un modelo de operación lineal, es una de las industrias que más contribuye a la generación de residuos (entre un 25% a un 40%), de los cuales, menos de un tercio son reutilizados o reciclados. (CTEC, 2022, p. 1)

### **Concepto de un Modelo Digital de un Banco de Materiales**

En resolución al tercer objetivo del proyecto de investigación, a continuación se presenta desde la argumentación teórica comparativa, los elementos que ayuden a generar un concepto de variables, el cual contribuya en la creación de herramientas tipo Pasaporte de Materiales, a través de estrategias que permitan la gestión de los elementos que componen las edificaciones, lo que resulta importante como estrategia que aporte a la transición hacia una economía circular que, además vaya de la mano con los planes y objetivos que tiene el gobierno de Colombia.

Para ello, es imperante distinguir entre todas las características necesarias que permitan consolidar la información de manera que permita ser manejada e interpretada por los diferentes actores involucrados en el sector; para esto se realizan dos

actividades: 1. Se realizó dos entrevistas con visita en campo en la ciudad de Bogotá para entender el estado actual del manejo y gestión de los materiales obtenidos de desmontaje o demolición de edificaciones, además de conceptualizar las opiniones de mejora de éstos procesos a su vez que se indaga acerca del interés por herramientas de innovación para los mismos. y una entrevista virtual el pasado 12 de agosto de 2022 a la directora ejecutiva del Chile Green Building Council, María Fernanda Aguirre y en el conexto colombiano, a la especialidta técnica del Consejo Colombiano de Construcción Sostenible CCCS, Melissa Ferro el pasado 27 de abril de 2023.

En complemento, se desarrolló una matriz comparativa entre diferentes herramientas a nivel internacional analizadas en el apartado anterior BAMB, MADASTER, CB23, PAS-E Y GABC, bajo criterios base de comparación de acuerdo con la ISO -21930:2017 Norma básica para Declaraciones Ambientales de Productos de construcción y servicios (DAP) lo anterior consignado en la Matriz Comparativa MP (Anexo 2).

La matriz constituye una compilación de las normas que se requieren para el desarrollo de una DAP y que es posible extender hacia cualquier producto de construcción. La matriz incluye los siguientes elementos definidos de acuerdo con ISO -21930:2017

- Marco metodológico: Definición de los límites del sistema: límites que representan cuáles de los procesos unitarios son parte dentro del sistema de producto

- Información técnica complementaria: La información del escenario técnico proporcionada en una DAP se debe detallar de manera que permita al usuario de la DAP evaluar si los supuestos del escenario son aplicables al contexto en el cual la información de la DAP es utilizada. Información requerida para el buen funcionamiento de la herramienta como, por ejemplo, documentos de diseño, información contractual, certificaciones, etc.
- Criterios de corte: Definición de los criterios para la inclusión y exclusión de entradas y salidas en el ciclo de vida y en los módulos de información. Estos deben estar basados en los impactos ambientales y relacionados con los respectivos flujos de material.
- Selección de datos: Determinación de los datos que serán objeto de estudio, y la definición de las estrategias para su recolección en caso de su inexistencia, Los criterios para la exclusión de entradas y salidas (reglas de corte) en el ACV y en los módulos de información, y cualquier información adicional, tienen como fin apoyar un procedimiento de cálculo eficiente. Una DAP que describa un producto específico se debe calcular utilizando datos concretos, al menos para los procesos sobre los que tiene influencia el fabricante del producto. Los datos genéricos e indirectos se pueden utilizar para procesos sobre los que el fabricante no tiene influencia, un de DAP que abarca las etapas del ciclo de vida, desde el cálculo de datos genéricos e indirectos, un DAP que describas más de una planta fabricante, cuando se declare un producto promedio. (ISO, 2017)

Módulos	A1 a A3		A4 a A5	B1 a B7	C1 a C4
		Producción de commodities, materias primas	Fabricación de productos	Procesos de instalación	Procesos de uso
Tipo de proceso	Procesos <i>upstream</i>	Procesos del fabricante	Procesos <i>downstream</i>		
Tipo de datos	Datos genéricos o DAP de procesos <i>upstream</i> Véase también el <a href="#">Anexo B</a> .	Datos promedio o específicos del fabricante Véase también el <a href="#">Anexo B</a> .	Datos genéricos basados en escenarios a su vez basados en información técnica <a href="#">7.1.7.3</a> <a href="#">7.1.7.5</a> .		

**Figura 14: Aplicación de Datos Genéricos y Específicos.**

Nota. Tomado de (ISO, 2017)

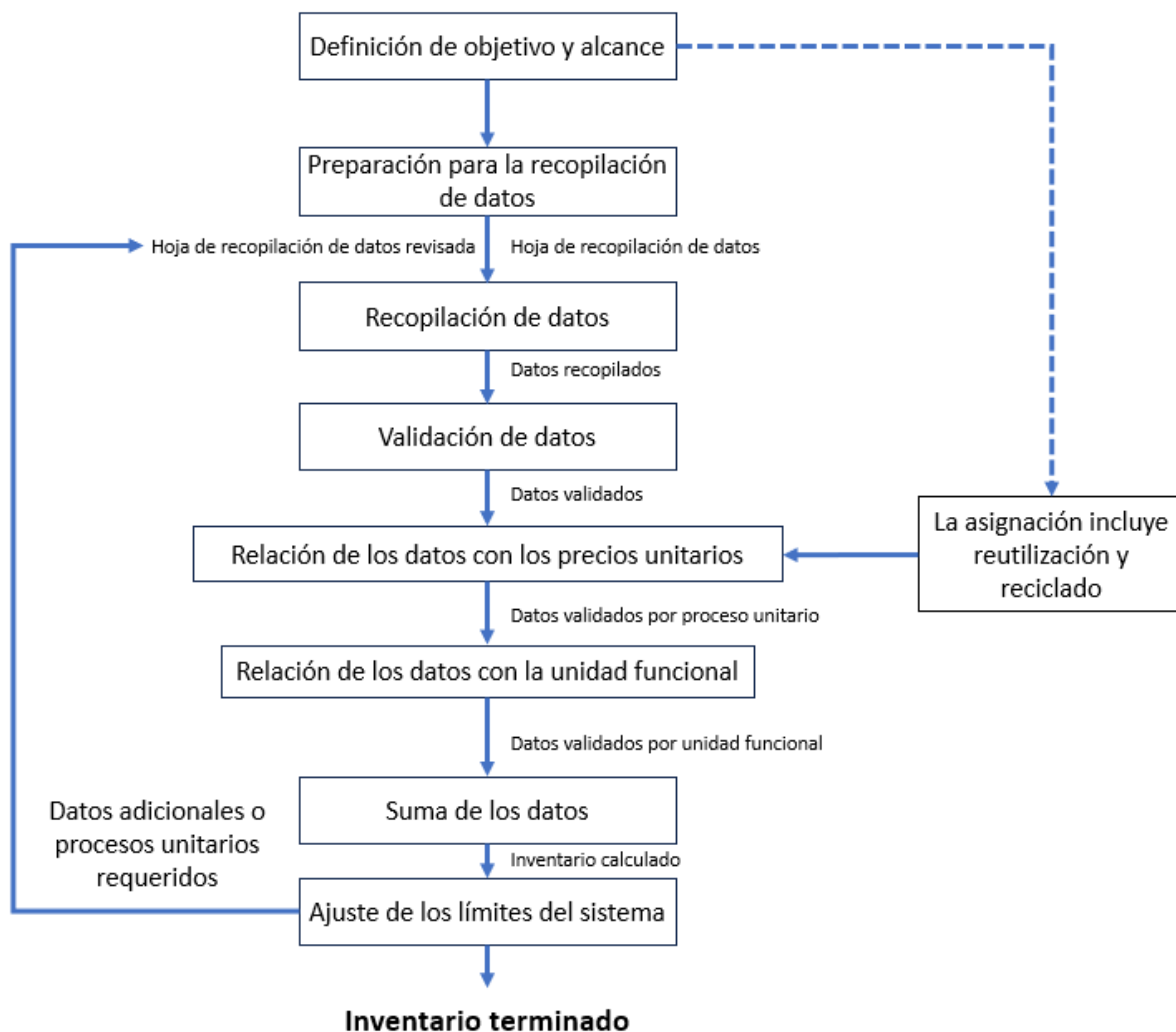
- Requisitos de calidad de datos: Verificación de la validez y actualidad de los datos utilizados para el estudio.
  - Los conjuntos de datos utilizados para los cálculos deben haber sido actualizados en los últimos 10 años para datos de referencia y en los últimos 5 años para datos específicos del productor (primer plano). Se deben justificar las desviaciones.
  - Una DAP puede tener un periodo de validez de hasta 5 años y si los datos primarios y secundarios no han cambiado significativamente, no tiene que volver a calcularse al final del periodo de validez. Por lo tanto, se acepta que los datos de más de 5 años se pueden utilizar cuando se ha ampliado el periodo de validez de la DAP, según este documento.
  - Los conjuntos de datos específicos del fabricante deben estar basados en los datos promedio de 12 meses consecutivos; las desviaciones se deben justificar en el informe del proyecto.
  - El periodo en el que se deben contabilizar las entradas y salidas del sistema es de 100 años, a partir del año en que el conjunto de datos se considere

representativo. Si es pertinente, se debe utilizar un periodo de tiempo más largo y se debe justificar en el informe del proyecto. (ISO, 2017)

- Unidades: Unidad de medida en Sistema Internacional. Unidades básicas son el metro (m), el kilogramo (kg), la tonelada métrica (t) y el peso molecular en gramos (mol). (ISO, 2006, p. 5)
- Requisitos de comparabilidad: La comparabilidad de los DAP se alcanza cuando se cumplen las siguientes condiciones:
  - Definición y descripción idéntica
  - Definición de objetivo del ciclo de vida equivalente de acuerdo con ISO 14040
  - Para inventario de datos, los métodos de recolección son equivalentes, los procedimientos de cálculo son iguales y el flujo de energía es similar
  - Las categorías de impacto y reglas de cálculo son idénticas
  - Requerimientos de información ambiental adicional son equivalentes
  - Materiales y sustancias declaradas son equivalentes
  - Instrucciones de contenido de la DAP es equivalente
  - Periodo de validez equivalente
- Análisis de inventario: Requisitos de recopilación de datos: Los datos cualitativos y cuantitativos a incluir en el inventario deben recopilarse para cada proceso unitario incluido dentro de los límites del sistema. Los datos recopilados, ya sean medidos, calculados o estimados se utilizan para cuantificar las entradas y salidas



de un proceso unitario. Cuando los datos se recopilan de fuentes públicas, se debe referenciar la fuente. (ISO, 2006) procedimiento en Figura 15



**Figura 15: Procedimientos Simplificados para el Análisis del Inventario.**

Fuente: (ISO, 2006)

### Concepto propuesto:

- Límites del sistema: Los límites del sistema asociados a las propuestas que puedan medirse y controlarse dependiendo la fase del ciclo de vida del proyecto, en el desarrollo de interés, es clave referenciar la fase D dentro del marco de la

clasificación de la EN 15643, esto de acuerdo a lo delimitado como eje común de las 5 herramientas, de manera adicional sería pertinente integrar la clasificación propuesta por la Plataforma CB'23 que adicional a lo anterior permite integrar diferentes escalas de interés a analizar de acuerdo con las reglas de NEN 2660 para el modelado de acuerdo con el entorno construido.

- Información técnica complementaria: Se observó gran importancia y diferencia entre las características este elemento, ya que depende directamente de los recursos disponibles en el momento de iniciar con la evaluación de la edificación, de acuerdo con el contexto nacional se sugiere aplicar los pasos propuestos por PAS-E de: Diagnóstico, Planificación, Compromiso, Ejecución y Evaluación. (Cíclica/GBCe, 2020), importante notar que es un instrumento para rehabilitación en tres ámbitos de calidad relacionados con habitabilidad, es capaz de realizar un diagnóstico del estado actual de las edificaciones, lo cual se integra completamente con las necesidades de Colombia, por la falta de información histórica de las edificaciones, permitiendo una interacción transversal en todas sus etapas logrando un proceso de mejora continua en “el ámbito de calidad técnica de los sistemas constructivos y las instalaciones; el ámbito de la calidad funcional de las viviendas; y el ámbito de la eficiencia en el uso de los recursos, especialmente energéticos e hídricos” (Arcas et al., 2020). Esto integrado con lo expuesto por BAMB en la información a considerar para la consolidación de los datos técnicos de los Materiales o elementos (Lang, 2019, p. 7)

- Propiedades Físicas: Dimensiones y Peso, densidad, resistencia, rigidez, funciones de beneficios
- Propiedades Químicas: Composición química, Salud y seguridad, LCA, LCC, SLCA, Potencial de reuso y reciclaje, durabilidad, resistencia y estabilidad.
- Propiedades Biológicas: Material Renovable o No renovable, Material tratado o no, Descomposición.
- Aspectos de Salud y Seguridad: Políticas y legislación, Mantenimiento, Certificaciones y etiquetas del producto, Certificaciones del Edificio, Emisiones, Bienestar de los ocupantes, MSDS, Composición de los materiales (Toxicidad, aditivos), Calidad del aire interior, GHS, TGS.
- Identificadores únicos de productos y sistemas: Nombre del producto, Nombre de la fábrica (detalles de ubicación, números de registro), Información temporal, número EAN, Número CAS, Foto, descripción de la función.
- Diseño y Producción: Datos de Fabricante y proveedor, Composición del producto y materiales, Técnicas y procesos de producción, Instrucciones de instalación, digitalización.
- Transporte y Logística: Dimensiones y peso, Vehículos requeridos, Herramientas necesarias, H&S Requisitos, Requerimientos de almacenaje, MFA, Embalaje.  
Identificación de la ubicación del material dentro de la construcción: Limpieza y mantenimiento, Propiedades de los materiales, garantías, Expectativa de vida y usos, disponibilidad de repuestos, influencias externas.  
Desmontaje y reversibilidad, Reutilización y Reciclaje: Facilidad de desmonte, pureza del componente, sistemas de recuperación y reciclaje.

Adicional a lo anterior y entendiendo la dinámica de los elementos, de acuerdo con la propuesta de la plataforma CB'23, cada registro deberá contener fecha ingresada, esto con el fin de permitir una facilidad en el control de los datos.

- Criterios de corte: Se puede inferir que no es un parámetro comparativo entre herramientas ya que su análisis y parámetros serán el resultante de lo determine en cada análisis particular, sin embargo, sí es determinante considerar las exclusiones que sean vínculo para mejorar los análisis y de acuerdo con la ISO 14044 no se deberá utilizar este tipo de exclusiones para ocultar datos.
- Selección de datos: De acuerdo con los diferentes análisis se percibe que el manejo de la información de los datos se origina de diferentes fuentes, públicas, privadas, bases de datos externas, activación de la comunidad, visitas y levantamiento de información in situ, inclusive levantamientos estructurales con sistemas de georreferenciación e inteligencia artificial, se considera pertinente para dar inicio a la implementación de este tipo de herramientas, realizar un empalme de lo expuesto por CB'23, siendo conscientes del apoyo necesario que se requiere de bases de datos externas, lo cual implicaría una inversión económica pero necesaria frente a la estandarización de los mismos, y los recursos y técnicas propuestos por Pas-E, ya que debido al enfoque del ciclo de vida que se enfoca la presente investigación es necesario trabajos de la mano de la comunidad y realizar los respectivos diagnósticos y posteriores ensayos, caracterizaciones y consolidación de cada uno de los aspectos a evaluar.

- Requisitos de la calidad de datos: Cada una de las variables a considerar dentro de los análisis deberán contar con la respectiva validación de la información, realizando el análisis comparativo bajo el criterio de análisis propuesto en la ISO 14044, se determina que lo descrito por CB'23 en donde se propone una estructura de Gobierno de los datos, orientados dentro de la estructura del manejo de la información que hoy propone la plataforma BIMBAU, permitirá que los registros se realicen de manera estructurada lo cual facilita el seguimiento, actualización, corrección e intercambio de los datos. Para que sea aplicada en Colombia surge la necesidad de encontrar fuentes de información que unifiquen conceptos, la propuesta sería avanzar en la conceptualización en la que se avanza con el Laboratorio de Economía Circular en la ciudad de Bogotá. Por lo anterior también surge la necesidad de encontrar sinergia entre metodologías del uso de la información y de modelación de edificaciones, lo que, como en Madaster se expone, Los datos de entrada serán específicamente sobre las propiedades y especificaciones del material o proyecto, que puedan obtenerse del modelado BIM, por ejemplo los volúmenes y tipos de materiales, el fin de comparar la vida útil de los materiales y productos utilizados en un proyecto con la vida útil promedio de otros similares.
- Unidades: De acuerdo con cada uno de los proyectos, y herramientas se deberá evaluar la unidad de medida del análisis, se propone, al igual que la ISO 21930 manejar las unidades en Sistema Internacional de Unidades, SI.
- Requisitos de comparabilidad: Como resultante de la comparación entre sistemas, la formulación de requisitos de comparabilidad no se encuentra un análisis común

más allá de la necesidad de la estandarización de los datos, es por esto se puede concluir que para el caso Colombia sería importante seguir los lineamientos expuestos en la ISO 14025 que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la matriz comparativa, quizá para lograr tener un fundamento se referencia con lo desarrollado hoy en Colombia, se puede considerar la herramienta "Hoja de Ruta de Sostenibilidad para Materiales de Construcción" que a pesar esté enfocada como estrategia de identificación de materiales, se podría extrapolar sus criterios para evaluar elementos o edificaciones, relacionándolos con su aplicación en los sistemas de certificación más usados en Colombia, LEED, CASA Colombia y EDGE.

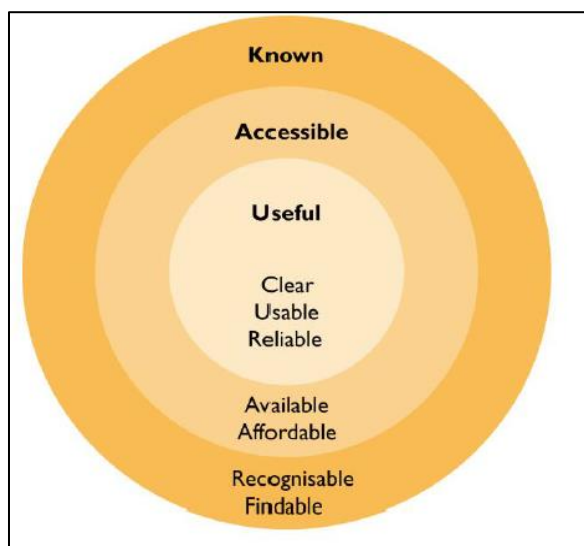
- Requisitos de recopilación de datos: El proceso de recopilación de los datos deberá ser estimativo de acuerdo con la tipología de sistema y variable a evaluar, es necesario, como lo propuesto por BAMB, de acuerdo con el tipo de sistema de recolección adecuado, Cuantitativos y medibles para el análisis de propiedades físicas, químicas, biológicas y la salud de los materiales; análisis del diseño y producción, transporte y logística, identificación de la ubicación de los materiales al interior de las edificaciones, fases de uso y operación, desmontaje y reversibilidad y reutilización y reciclaje. Dependiendo la escala a evaluar, se sugiere integrar diferentes sistemas de información GIS, Modelado único de edificios (UBM). Flujos y stocks de materiales. En el proceso de recopilación de datos, sobre todo para proyectos ya funcionales, se puede complementar la información por Realidad Aumentada (AR). Lo anterior validado como la revolución en el sector vivienda/inmobiliario con recorridos virtuales de

visualización sobre los diseños a ejecutar, en Colombia hoy Constructora Amarillo y Prodesa son referentes con la aplicación de ésta tecnología.

- Reglas de cálculo de inventarios: Se pueden aplicar tres parámetros principales, la estrategia que propone PAS-E, es la indicada para las edificaciones en la fase objeto del presente documento, por lo que las técnicas de mapeo, recopilación de historias de éxito, visitas a edificios rehabilitados, toma de testimonios y experiencias, lo mismo por lo indicado en GABC, en función de la información y recursos disponibles, será posible realizar el levantamiento de forma manual, de forma completamente digital o una combinación de las dos. Un levantamiento manual se base principalmente mediante encuestas en sitio y mediante el diligenciamiento de formatos para identificar la existencia de documentación relacionada con permisos, certificaciones, evaluación de sostenibilidad, etc. Por otro lado, un levantamiento digital puede valerse de fuentes como Building Information Modelling, digital twins y blockchain, Sin embargo, Se propone la consignación de esta información de acuerdo con lo establecido en la Plataforma Madaster, dividiendo los datos por capas (Sitio, Sitio, Estructura, Piel, Servicios, Plano espacial y Cosas, y cada una de ellas se deberá considerar de acuerdo con la vida útil que tenga asociada) y a su vez, cada uno de ellos en familias de materiales (piedra, Vidrio, Madera, Plástico, Orgánicos, Metales, y Desconocidas).
- Requerimiento de calidad de datos: Se propone seguir los lineamientos propuestos y estandarizados por CB'23 que a su vez se basan en la metodología del proyecto Open Data, llamada modelo de piel de cebolla, lo que permite que la información se ingrese de manera organizada y sea manejable.

Con lo que, el modelo muestra que los datos no son accesibles para su reutilización por otra parte hasta que:

- Se sabe qué datos se pueden obtener y dónde se pueden obtener;
- Está claro cómo y en qué condiciones los datos están disponibles (accesibilidad);
- Los datos se han hecho aptos para su reutilización (utilidad) (Plataform CB23, 2020)



**Figura 16: Modelo Piel de Cebolla.**

Fuente: (Plataform CB23, 2020)

No obstante, hay que seguir las recomendaciones de los demás sistemas que básicamente proponen la estandarización y la digitalización de los datos de tal manera que la lectura de la data sea sencilla y de esta manera poder realizar el control de la información.

- Métodos de caracterización: En esta característica se considera importante destacar la propuesta de CB'23 en dónde menciona la relación



necesaria en el sector de la construcción (a nivel público o privado) lo que podría mejorar la calidad de la información, es generar un instrumento exigible a cada propietario que contenga una Lista de Materiales para los bienes ya sean nuevos o existentes, lo cual hoy no es aplicable en el contexto Colombiano, en dónde por cumplimiento del decreto 1077 de 2015, el cual reglamenta los aspectos de las licencias de urbanismo y construcción, se entrega información técnica como resultados de estudios y memorias de diseño estructural, arquitectónico, pero no se exige entrega de información detallada de los materiales e insumos componentes del proyecto.

Por último, sugiere considerar como complemento la implementación del análisis y presentación de los datos de acuerdo con la Plataforma Madaster la cual crea un pasaporte completo que le ofrece una gran cantidad de información y conocimientos (Druijff, 2019). De esta forma crea conciencia y comprensión y facilita la reutilización, reducimos los residuos y minimiza el impacto en el entorno, garantizando el acceso actualizado a la información sobre los productos utilizados en un edificio. De manera adicional, la plataforma ayuda a proporcionar el valor económico residual en cuatro categorías: Edificación, Proceso constructivo, Circularidad y Financiera.

## Conclusiones

Luego de los análisis presentados en los distintos apartes de este estudio, se pudo resolver que, en lo que respecta a la identificación de los beneficios ambientales, sociales y económicos que surgen como derivación de las prácticas de circularidad en la industria de la construcción o relacionadas, se tiene a bien que: en lo correspondiente a los aspectos de medioambiente, se señala que la implementación de estas prácticas, repercute directamente sobre el uso de los recursos, sobre el impacto que genera la inadecuada gestión de estos en los procesos de construcción, edificación e incluso en las fases finales de demolición.

Sin embargo, es imperante analizar los factores incidentes para la ejecución de las prácticas efectivas de una economía circular amparado en la industria y el enfoque productivo del sector de la construcción. Así mismo, dentro de los beneficios sociales, se convino que el mejoramiento de la calidad de vida, por medio de la gestión adecuada de los ciclos de vida de las edificaciones, es una realidad; pues a grandes rasgos se trata de, tanto diseñar como monitorear de la manera más eficiente posible una edificación.

De tal manera que esto repercuta directamente sobre quienes integran el núcleo de interesados, pero, esencialmente quienes habitan la edificación dentro de su periodo de uso. Luego, la perspectiva de beneficio económico que se trató aquí recoge como principal bandera el hecho de imprimir valor agregado a las edificaciones, pues al

desarrollarse a partir de parámetros de circularidad y eficiencia, consolidan productos y servicios de vanguardia, que responden a las necesidades que hoy por hoy enfrenta la sociedad moderna.

Por tanto, la sostenibilidad intermediada desde el manejo del RCD en el país soporta una oportunidad desde la innovación y las nuevas formas de construcción sostenible, en lo que tiene que ver con la identificación de herramientas que defienden el concepto de pasaporte de materiales, se pudo encontrar, en primer lugar, que actualmente en el contexto nacional no han sido desarrollados instrumentos de este tipo.

Por otra parte, se pudo encontrar cierta similitud entre las respectivas estrategias y principios que definen cada herramienta tipo pasaporte de materiales, entre las que se trajo aquí a colación; a decir: BAMB. herramienta fundamental para el cambio de paradigma en el modelo de desarrollo constructivo y arquitectónico convencional, CB23: herramienta que pretende fomentar estas prácticas a través de una interfaz digital y completa sobre la gestión de todos aquellos procesos y/o recursos requeridos para la ejecución de un proyecto; similitud también respecto al control de los indicadores de economía circular que se evalúan anualmente en los países miembros de la OCDE, bajo la idea de que ello representa un hito en la trazabilidad de la transición económica que se está dando a nivel global, pues permite controlarla y planificar a futuro.

Del mismo modo, se consideró como oportuno la inclusión de otras plataformas similares que añaden además la cooperación internacional como pieza clave en la implementación de los principios de Economía Circular a nivel global, a decir: GABC, Lean2Cradle EIG, Madaster y PAS-E.

De acuerdo con la búsqueda en la propuesta para lograr definir las variables requeridas y con el fin de obtener los mejores beneficios de la implementación de pasaportes de materiales en Colombia, se puede destacar la importancia en los avances de los distintos sectores en Colombia, con lo cuál se proyecta unos cimientos fundamentales para la generación de una herramienta propia en el país; para lograrlo se considera necesario el reconocimiento e impulso que desde el sector público y privado se está generando hacia el desarrollo de normativa y adopción de perspectivas internacionales (como las certificaciones) llevándolas a un progreso inherente a las condiciones actuales.

## Recomendaciones

**Fomentar la investigación y desarrollo tecnológico:** Para seguir avanzando en la implementación de la economía circular, es crucial fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico. Esto podría incluir la creación de nuevas tecnologías o la mejora de las existentes para facilitar la reutilización y el reciclaje de materiales.

**Establecer políticas de gestión de residuos sólidos:** Dada la disminución en los flujos de residuos sólidos que salen de la economía hacia el ambiente, sería útil establecer políticas de gestión de residuos sólidos que promuevan aún más la reducción, reutilización y reciclaje de estos materiales.

**Promover la formación y concienciación ciudadana:** Considerando el impacto social y ambiental de la reutilización y el reciclaje de materiales, sería beneficioso implementar programas de formación y concienciación para los ciudadanos. Esto podría incluir información sobre la importancia de la economía circular y cómo pueden contribuir a ella en su vida diaria.

**Generar sinergias entre el sector público y privado:** Mediante el flujo transparente de información durante la cadena de valor del producto entre lo requerido por el sector público y con los recursos de los sectores privados, se permitirá una base para la mejor toma de decisiones, mediante evidencia verificable en las herramientas o certificaciones de las edificaciones, la disminución de riesgos, gracias a la evaluación

de experiencias pasadas, disminución de costos y un aumento en la eficiencia de los procesos.

## Referencias Bibliográficas

- Acevedo, L. (2018). Exploración de variables y criterios inmersos en estudios de (ACV) Análisis de Ciclo de Vida y (CCV) Costo de Ciclo de Vida enfocados hacia la toma de decisiones en proyectos residenciales para el contexto bogotano. Escuela de Arquitectura y Urbanismo.
- Acosta, G. (2005). Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición. Buenos Aires.
- Akduman, Ş., Kocaer, O., Aldemir, A., Şahmaran, M., Yıldırım, G., Almahmood, H., & Ashour, A. (2021). Experimental investigations on the structural behaviour of reinforced geopolymer beams produced from recycled construction materials. *Journal of Building Engineering*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102776>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (31 de 12 de 2015). Secretaria Jurídica Distrital. Obtenido de [https://www.educacionbogota.edu.co/portal\\_institucional/sites/default/files/2019-03/Decreto\\_Distrital\\_586\\_de\\_2015.pdf](https://www.educacionbogota.edu.co/portal_institucional/sites/default/files/2019-03/Decreto_Distrital_586_de_2015.pdf)
- Alcaldía de Medellín. (25 de 11 de 2015). PGIRS Actualización Plan de Gestión de Residuos Sólidos Municipio de Medellín 2015. Obtenido de [https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportalDelCiudadano\\_2/AtencionCiudadana1/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2015/PGIRS%20MEDELL%C3%8DN%202016-2027.pdf](https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportalDelCiudadano_2/AtencionCiudadana1/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2015/PGIRS%20MEDELL%C3%8DN%202016-2027.pdf)

Alqahtani, F. K., Abotaleb, I. S., & ElMenshaway, M. (2021). Life cycle cost analysis of lightweight green concrete utilizing recycled plastic aggregates. *Journal of Building Engineering*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102670>

Aguilar-Hernández, G. A., Rodrigues, J. F. D. y Tukker, A. (2021). Impactos macroeconómicos, sociales y ambientales de una economía circular hasta 2050: un metaanálisis de estudios prospectivos. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123421.

Álvarez, A. C. (2015). *Compromiso de Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero: Consecuencias económicas*. Bogotá: DNP.

Andersen, R., Ravn, A. S., & Ryberg, M. W. (2022). Environmental benefits of applying selective demolition to buildings: A case study of the reuse of façade steel cladding. *Resources, Conservation and Recycling*, 184. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106430>

Arabella, J., y Rodriguez, M. (2021). PAS-E: Pasaporte del edificio. Instrumento para la rehabilitación profunda por pasos. VII Congreso Edificios Energía Casi Nula.

Arcas, J., Alcaraz, M., Bas, A., Bilbao, A., Catalan, P., Cunill, L., Melo, M., Huerta, D., & Sauer, B. (2020). Instrumento para la rehabilitación profunda por pasos. [www.pas-e.es](http://www.pas-e.es)

Área Metropolitana del Valle de Aburrá; Secretaría del Medio Ambiente de Medellín; Empresas Públicas de Medellín. (Abril de 2010). *Manual de Gestión Socio-Ambiental para Obras*



de Construcción. Primera, 152. Medellín, Colombia: Oficina Asesora de Comunicaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. doi:ISBN 978-958-8513-27-0

Arias, C. A. (17 de 10 de 2018). Piensa un minuto antes de actuar: Gestión Integral de Residuos Sólidos. Colombia: Ministerio de Medio Ambiente y Ministerio de Industria y Comercio.

Arroyo, F.. (2018). La economía circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo. INNOVA Research Journal, 3(12), 78-98.

Atta, I., Bakhoun, E. S., & Marzouk, M. M. (2021). Digitizing material passport for sustainable construction projects using BIM. Journal of Building Engineering, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103233>

Bakchan, A., & Faust, K. M. (2019). Construction waste generation estimates of institutional building projects: Leveraging waste hauling tickets. Waste Management, 87, 301–312. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.024>

Balmaceda Castillo, H. A. (2020). Análisis de ciclo de vida comparativo entre el uso de concreto convencional y alternativas de concreto reciclado.

Baldwin, E. (1 de 9 de 2021). Archdaily. Obtenido de <https://www.archdaily.co/co/967775/como-los-datos-integrados-pueden-repensar-la-arquitectura-y-el-diseno>

Barrio, M. (2018). Internet de las cosas. Editorial Reus.

Bedoya, C. M. (2011). Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia–VISS y VIPS–. Revista internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo, (6), 27-36.

Belalcázar, S. (2019). Bancos de materiales y sus características para su uso. Instituto Politécnico Nacional. Ciencias de la Tierra. México.

Bertin, I., Saadé, M., Le Roy, R., Jaeger, J. M., & Feraille, A. (2022). Environmental impacts of Design for Reuse practices in the building sector. Journal of Cleaner Production, 349. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131228>

BIMBAU. (9 de 7 de 2019). catalogo.bimbau.co. Obtenido de <https://catalogo.bimbau.co/library>

Bonilla Botía, G., & Buitrago Vargas, N. (2018). Informe de productividad sector construcción de edificaciones.

CAMACOL. (1 de 10 de 2019). Colombiaaprende. Obtenido de [https://www.colombiaprende.edu.co/sites/default/files/files\\_public/2021-08/caracterizacion-sector-construccion.pdf](https://www.colombiaprende.edu.co/sites/default/files/files_public/2021-08/caracterizacion-sector-construccion.pdf)

Cámara Colombiana de la Construcción. (s.f.). CAMACOL.CO. Obtenido de <https://camacol.co/productividad-sectorial/sostenibilidad>

Cancillería. (9 de 7 de 2015). Cancillería.gov.co. Obtenido de [https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/r\\_sambientebog\\_093\\_2\\_2015.htm](https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/r_sambientebog_093_2_2015.htm)

- Castaño, J. J. (2015). *Guía para el Diseño de Edificaciones Sostenibles*. Bogotá: Universidad Pontificia Bolivariana.
- CE, C. E. (11 de 03 de 2020). *Nuevo Plan de Acción para la economía circular, por una Europa más limpia y más competitiva*. Bruselas, Comisión Europea.
- CEPAL. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una Oportunidad para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas
- Chan, R., Santana, M. A., Oda, A. M., Paniguel, R. C., Vieira, L. B., Figueiredo, A. D., & Galobardes, I. (2019). Analysis of potential use of fibre reinforced recycled aggregate concrete for sustainable pavements. *Journal of Cleaner Production*, 218, 183–191.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.221>
- Chaves Ávila, R., & Monzón Campos, J. L. (2018). La economía social ante los paradigmas económicos emergentes: innovación social, economía colaborativa, economía circular, responsabilidad social empresarial, economía del bien común, empresa social y economía solidaria. *CIRIEC-España Revista de economía pública, social y cooperativa*, 2018, num. 93, p. 5-50.
- Chen, Y. C. (1 de Mayo de 2018). Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y la recuperación de energía de los residuos sólidos municipales e industriales utilizando tecnología de conversión de residuos en energía. *Cleaner Production*, 8. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.260>

Chumbiray Alonso, I. N., Sahebzamani, E., Lendinez, F., y Núria, F. (2022). Economía circular y gemelos digitales en el sector de la construcción. Congreso Internacional de Gestión e Ingeniería de Proyectos.

Colomer Mendoza, F. J., Gallardo Izquierdo, A., Buenaño Mariño, C. D. P., Esteban Altabella, J., & Sánchez Collado, P. (2021). Reducción de impactos en la gestión de RCD en las obras de construcción y demolición.

Colombia, C. d. (22 de 12 de 2021). Ley N° 2169 diciembre 2021. "Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática". Colombia.

Consejo Nacional de Política Económica y Social de la República de Colombia CONPES 3919 y Departamento Nacional de Planeación. (2018). Documento CONPES 3919. Plan Nacional de Edificaciones Sostenibles. Presidencia de la República.

CONPES. (2018). Política Nacional de Edificaciones Sostenibles. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación.

CONPES, Lucía, M., Blanco, R., Patricia, N., Castañeda, G., Holmes, C., García, T., De, M., Exteriores, R., Barrera, A. C., Blanco, M. C., Fernando, L., Jiménez, N., Pinzón, A. V., Pablo, J., Restrepo, U., Victoria, A., Olmos, A., De, M., ... Montaña, A. G. (2019). CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, CONPES 3975.

Cornet, M. (2019). The circular cornerstone: applying a circular economy through design for disassembly to the development of amstel iii.

Construcía and Eco Intelligent Growth (2019) Pasaporte de Materiales - Oficinas Construcía Instalaciones. Barcelona. <https://www.ecointelligentgrowth.net/es/proyectos/construcia-instalaciones-presenta-sus-oficinas-lean2cradle/>

CTEC. (7 de 7 de 2022). cdt.cl/cetecy-chile. Obtenido de <https://www.cdt.cl/ctec-y-chile-gbc-desarrollan-el-primero-pasaporte-de-materiales-para-la-construccion/>

CTEC. (22 de 6 de 2022). cteinnovación.cl. Obtenido de <https://ctecinnovacion.cl/publicaciones/id/1315>

Cuello, M. y Arrauth, K. (2019). La segunda vida de los materiales: El reciclaje y su aplicabilidad en la arquitectura y el diseño urbano, MODULO ARQUITECTURA CUC, vol. 22, no. 1, pp. 159-194, 2019. DOI: <http://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.22.1.2019.07>

DANE. (2020). Economía Circular Primer Reporte 2020. Bogotá: DANE.

DANE. (2021). Economía Circular Quinto Reporte 2021. Bogotá: DANE.

DANE. (2022). Economía Circular Sexto Reporte 2022. Bogotá: DANE.

Diario Oficial de la Unión Europea. (9 de 7 de 2016). Eur-lex.europa.eu. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32016D0611&from=E>

Domínguez, R., Sánchez, J., Sunkel, O., Samaniego, J. L., & León, M. (2019). Desarrollo Sostenible Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad 70 años de pensamiento de la CEPAL. doi:S.19-00378

DPN. (21 de 10 del 2016). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de documento CONPES 3874 <https://colaboracion.dnp.gov.co> › Económicos

DNP. (23 de 3 del 2018). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3919.pdf>

DNP. (20 de 4 de 2019). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de <https://ods.dnp.gov.co/es/about>

DNP. (18 de 2 de 2022). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Colombia-avanza-en-mas-del-72-de-cumplimiento-de-los-ODS.aspx>

Durán Alarcón, J. (2017). Diagnóstico del uso de tecnologías en la construcción y factibilidad financiera de un modelo BIM 5D. OPENAIRE.

Durán, L. M. (2017). Definición de criterios sostenibles para la selección de materiales de viviendas en Bogotá.

Durmisevic, E. (2018). Reversible Building design guidelines Eurostat (2021) Statics [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env\\_wasgen/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/default/table?lang=en)

Ecoembes. (6 de 10 de 2021). thecircularlab.com. Obtenido de <https://www.thecircularlab.com/pasaportes-para-entrar-al-circulo/>

Echeverry, M. A. C., & Ochoa, K. D. A. (2019). La segunda vida de los materiales: El reciclaje y su aplicabilidad en la arquitectura y el diseño urbano. *modulo arquitectura cuc*, 22, 159-194.

Ellen Macarthur Foundation. (s.f.). *Hacia una Economía Circular: Motivos Económicos para una Transición Acelerada*.

EUR-Lex. (19 de 11 de 2008). EUR-Lex. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj>

European Commission. (2018). *Impacts of circular economy policies on the labour market*. Cambridge: ICF.

European Commission. (4 de 12 de 2015). *Study to develop a guidance document on the definition and classification of hazardous waste*. Bruselas: bipro. Obtenido de Bipro

Fajardo, S., Falla Gonzalez, Martha Ruby, Porras, J. H. de, González, A., Girado, L. P., & Faciolince, M. (2014). *Guía de manejo Socio-Ambiental para la construcción de obras de infraestructura pública*.

Farias, S. S. (2018). *Circular Economy: Benefits, Impacts and Overlapping*. *Supply Chain Management: An International Journal*, 21.

Florez Correa K., Gonzalez Acero, M., Murcia Paez, S. (2016) *Aprovechamiento De Los Residuos De La Madera Generados En El Sector De La Construcción En La Ciudad De Bogotá Por Medio Del Reciclaje*.

Fernández García, R. (2022). Economía circular y BIM: optimización, sostenibilidad y construcción.

Fundación Conama; Green Building Council España (GBCe);RCD Asociación. (Noviembre de 2018). ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. Madrid, España. Obtenido de [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/130254/CONAMA\\_Economia%20circular\\_2018.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/130254/CONAMA_Economia%20circular_2018.pdf)

Fundación Ellen MacArthur, 2015. 'Hacia la Economía Circular: Negocios Justificación para una transición acelerada'. No. 4, Repensar el Futuro. Fundación Ellen MacArthur, Londres, Reino Unido.

Gallardo Izquierdo, A., Colomer Mendoza, F. J., Salvador Peirats, F., Esteban Altabella, J.,y Sánchez Collado, P. (2021). Aplicación de la economía circular en las obras de construcción y demolición.

García, D. L., & Cantero, J. G. (2015). Implicaciones del cambio climático en la transición hacia un modelo productivo de futuro. *Panorama social*, (21), 101-114.

García Torres, S., Kahhat, R., & Santa Cruz, S. (15 de 11 de 2016). Metodología para caracterizar y cuantificar la generación de escombros en edificaciones residenciales luego de eventos sísmicos. *Resources, Conservation and Recycling* 117 (2017) 151–159. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.006>



GBC Chile. (28 de 6 de 2021). chilegbc.cl. Obtenido de

<https://www.chilegbc.cl/portaiverde/index.php?sec=quienes-somos>

Ghisellini, P. (2016). A Review on Circular Economy: The Expected Transition to a Balanced Interplay of Environmental and Economic Systems. ScienceDirect, 22.

Ghisellini, P., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2018). Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. Journal of Cleaner Production, 178, 618–643.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207>

GNC. (2020). ACTUALIZACIÓN NDC COLOMBIA-2020 Actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC).

Gobierno de la República de Colombia. (2019). Estrategia nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica y nuevos modelos de negocio. Bogotá, D.C. Presidencia de la República; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

Gobierno de la Republica; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio Industria y Turismo. (06 de 11 de 2020). <https://www.minambiente.gov.co/>. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/La-economia-circular-en-los-Planes-de-Desarrollo-Territorial.pdf>

Gold, A. M. (2021). Mapping the social dimension of the circular economy. Journal of Cleaner Production, 17

Gómez, D. (2022). Competitividad: Innovación, Sostenibilidad y Digitalización en el Sector de la Construcción.

Graziani, P. (2018). Economía Circular e Innovación Tecnológica en Residuos Sólidos: Oportunidades en América Latina. Buenos Aires: CAF.

Global Alliance For Building and Construction. GABC. (2021). El edificio pasaporte: una herramienta para capturar y gestionar datos e información de toda la vida en construcción. ONU. Gobierno Federal de Alemania.

Habib, M. S., & Sarkar, B. (29 de April de 2017). An integrated location allocation model for temporary disaster debris management under an uncertain environment.  
doi:doi:10.3390/su9050716

Hahladakis, J. N., Velis, C. A., Weber, R., Iacovidou, E., & Purnell, P. (9 de Ocober de 2017). An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. Volume 344, Pages 179-199. Journal of Hazardous Materials. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.10.014>

Heinrich, M., & Lang, W. (2019). MATERIALS PASSPORTS-BEST PRACTICE.

Hernández, O. U. (2021). Evolución histórica-epistemológica de la Economía Circular: ¿ Hacia un nuevo paradigma del desarrollo?. Economía y Sociedad, 26(59), 1-16.

- Heisel, F., y Rau-Oberhuber, S. (2020). Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118482.
- Honic, M., Kovacic, I. y Rechberger, H. (2019). Mejorar el potencial de reciclaje de los edificios a través de Material Passports (MP): un estudio de caso austriaco. *Revista de Producción más Limpia* , 217 , 787-797.
- Honic, M., Kovacic, I., Aschenbrenner, P., & Ragossnig, A. (2021). Material Passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128702>
- Hoosain, MS, Paul, BS, Raza, SM y Ramakrishna, S. (2021). Pasaportes Materiales y Economía Circular. En *Introducción a la economía circular* (págs. 131-158). Springer, Singapur.
- Hoyos C , Treviño M, González P, Vázquez M, y Estrada P. (2021). Análisis de gravas y arenas de bancos de materiales para la construcción de las ciudades de Xalisco y Tepic, Nayarit, México. *Revista de la Alta Tecnología y Sociedad*. Vol. 13, No. 1, 2021 ISSN 1940-2171
- Instituto Nacional de Ciberseguridad. (2017). *Cloud Computing. Una guía de aproximación para el empresario*. Gobierno de España.
- Iodice, S., Garbarino, E., Cerreta, M., & Tonini, D. (2021). Sustainability assessment of Construction and Demolition Waste management applied to an Italian case. *Waste Management*, 128, 83–98. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.031>

ISOVER. (2018). Declaraciones Ambientales. Madrid: ISOVER.

ITec. (12 de 8 de 2020). ITec. Obtenido de [https://itec.es/#\\_home-services-container](https://itec.es/#_home-services-container)

ITec. (3 de 6 de 2020). itec.es. Obtenido de

[https://itec.es/servicios/bim/?gclid=CjwKCAiA9qKbBhAzEiwAS4yeDR30mPhukaoKpw0KW8PcBOzIq44tti7RBP6JTY8vibwL5\\_iZr5zsvxoCR\\_AQAvD\\_BwE](https://itec.es/servicios/bim/?gclid=CjwKCAiA9qKbBhAzEiwAS4yeDR30mPhukaoKpw0KW8PcBOzIq44tti7RBP6JTY8vibwL5_iZr5zsvxoCR_AQAvD_BwE)

Jaramillo, G. (2019). Manual de Materiales de construcción.

Jiménez, E. (2018). La jerarquía de la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD'S).

Kedir, F., Bucher, D. F., & Hall, D. M. (2021, July). A proposed material passport ontology to enable circularity for industrialized construction. In Proceedings of the 2021 European Conference on Computing in Construction, Rhodes, Greece (pp. 25-27).

Khalilova, E. C. (2016). Economía Circular. MINCOTUR, 10.

Kobashigawa Zaha, Y. S. (2022). Reciclaje arquitectónico como estrategia para la eficiencia energética del patrimonio monumental en el centro histórico de Trujillo, 2021.

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (January de 2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. (E. B. reserved., Ed.) Ecological Economics, 143, 37-46. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

Korhonen, J., Nuur, C., Feldmann, A., & Birkiea, S. E. (2017). Circular economy as an essentially contested concept. Elsevier Ltd. Retrieved from ScienceDirect

López, P. A. (2016). El Mercado de Materiales Construcción en Colombia. Bogotá: EM Estudio de Mercado.

Lozano, M. (2019). Evaluación del comportamiento de residuos de construcción y demolición como base granular en la construcción de pavimentos. Bogotá.

Luscuere, L., Zanatta, R., Mulhall, D., Boström, J., & Elfström, L. (2019). Operational materials passports. Buildings as Material Banks (BAMB).

Maat. (12 de 6 de 2019). Maat. Obtenido de <https://www.maat.com.co/uso-eficiente-de-los-materiales-de-obra-y-residuos-solidos-en-el-sector-de-la-construccion-conpes-3919/>

Madaster, 2018a. Página web de Madaster para particulares. recuperado el 14 de abril de 2019, desde. <https://www.madaster.com/es/particulares-particulares/madaster-paraparticulares-particulares>.

Madaster, 2018b. Explicación Indicador de Circularidad de Madaster. madaster servicios bv, Utrecht, Países Bajos.

MADS. (2019). Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Bogotá: MADS.

MADS. (2021). Fichas Técnicas con criterios de sostenibilidad.

- Mhatre, P., Gedam, V., Unnikrishnan, S., & Verma, S. (2021). Circular economy in built environment – Literature review and theory development. En *Journal of Building Engineering* (Vol. 35). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101995>
- Manelius, A. M., Nielsen, S., & Kauschen, J. S. (2019). City as Material Bank–Constructing with Reuse in Musicon, Roskilde. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 225, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- Mannyes, F. (1 de 5 de 2019). MINTECO. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx>
- Marmolejo-Duarte, C., García-Hooghuis, A., & Spairani Berrio, S. (2020). Panorama de la certificación energética en España. La perspectiva de los principales agentes del engranaje inmobiliario residencial.
- Martínez, M. G. (2012). *Arquitectura homeostática: Desarrollo metodológico para la evaluación ambiental de procesos constructivos en edificaciones*. Escuela de Arquitectura y Urbanismo.
- Martínez, M. A. (2016). “Cradle-to-cradle” architecture. Eco-effectiveness and quality of life. *Idus*, 10.
- Medellín, A. (2020). *Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGRIRS de Medellín*.
- Mejía, E., Giraldo, J., & Martínez, L. (2013). Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión. *Revista Cintex*, 18, 105-130

- Merveille, A. P. (2020). Social circular economy indicators: Selection through fuzzy delphi method. ScienceDirect, 9.
- Merville, A. P. (2020). Addressing the Social Aspects of a Circular Economy: A Systematic Literature Review. MDPI, 17.
- Masseck, T. (2018). Economía circular en el sector de la construcción
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (7 de 11 de 2022).  
<https://www.minambiente.gov.co/>. Obtenido de  
<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/estrategia-nacional-de-economia-circular/>
- McDonough, W., y Braungart, M. (2005). Cradle to cradle: Rehacer la forma en que hacemos las cosas. Educación McGraw-Hill.
- Mendivelso, J. A. (2017). Guía de Intervención Sostenible de los Residuos de la Construcción. Tame: Universidad Santo Tomas.
- Mendieta, C. F. (2021). Proyecto de desarrollo de mejora en el proceso de “Banco de Materiales” con enfoque de economía circular orientada a potenciar la gestión social de la ONG Hogar de Cristo (Master's thesis).

MINAMBIENTE. (1 de 8 de 2022). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/colombia-ya-cuenta-con-su-primer-laboratorio-de-economia-circular/>

Monroy, J. M. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y propietario. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Montero, C. P. (2021). Propuesta de Acciones para la circularidad de los residuos de construcción y demolición en los campus de la Universidad Politécnica de Madrid. . Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

Monterrosa, I., Ospino, M., y Quintana, J. (2018). Herramienta informática para análisis e interpretación de estados financieros. Observatorio de la Economía Latinoamericana.

Moreno, S. H. (2016). ¿Cómo se mide la vida útil de los edificios? Ciencia.

Mulhall, D., Hansen, K., Luscuere, L., Zanatta, R., Willems, R., Boström, J.y Lang, W. (2017). Buildings as Materials Banks (BAMB)-Framework for Materials Passports.

MUNARO, M., & TAVARES, S. (2018). EL PASAPORTE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN: SOLUCIÓN CIRCULAR EN EDIFICIOS COMO BANCO DE MATERIALES.

Mullisaca Zapata, A. M. (2021). Conminución de concreto reciclado y reúso como agregado fino en elementos estructurales para determinar las propiedades mecánicas, Juliaca–Puno 2021.

NTC 6112. (2016). Etiquetas Ambientales Tipo I. Bogotá: ICONTEC Internacional.



Nežerka, V., Prošek, Z., Trejbal, J., Pešta, J., Ferriz-Papi, J. A., & Tesárek, P. (2023). Recycling of fines from waste concrete: Development of lightweight masonry blocks and assessment of their environmental benefits. *Journal of Cleaner Production*, 385. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135711>

Ogunmakinde, OE, Sher, W. y Egbelakin, T. (2021). Pilares de la economía circular: una revisión semisistemática. *Tecnologías Limpias y Política Ambiental* , 23 (3), 899-914.

ONU. (1 de 8 de 2016). ODS. Obtenido de osd.mma.gob: <https://ods.mma.gob.cl/residuos/>

Oliveros Sánchez, L. F. (2021). Alternativas dentro de la economía circular para el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD).

Ovacen. (2013) Método cradle to cradle en la construcción y arquitectura.

Ospina Agudelo, J. L. (2022). Régimen jurídico de la construcción sostenible en Colombia. La influencia de la perspectiva internacional y de la Unión Europea.

Ossio, K. V. (2022). Willingness to pay for construction and demolition waste from buildings in Chile. *ELSEVIER*, 9.

Pabon, J. M. (27 de 11 de 2021). UPCOMMONS. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/340072>

- Padilla-Rivera, A., do Carmo, B. B. T., Arcese, G., & Merveille, N. (2021). Social circular economy indicators: Selection through fuzzy delphi method. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.09.015>
- Páez, C., y Pacheco C. (2019). *Guía para el manejo integral de los Residuos de Construcción y Demolición en la ciudad de Barranquilla*. Barranquilla: Editorial Universidad del Norte.
- Pacheco Bustos, C. A., Fuentes Pumarejo, L. G., Sánchez Cotte, É. H., y Rondón Quintana, H. A. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y desarrollo*, 35(2), 533-555.
- Padilla, J. (2019). *¿ A quién vamos a dejar morir?: sanidad pública, crisis y la importancia de lo político*. Capitán Swing Libros.
- Parra, S. (2022). *V. Economía circular es una oportunidad latente en Colombia*.
- Pérez A. J. (2015). *Manejo sostenible de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición de edificaciones (Master's thesis, Universidad de Guayaquil: Facultad de Arquitectura y Urbanismo)*.
- Pérez, L. F. (2020). *Marco Legal para la Gestión de Residuos de la Construcción y la Demolición*. Cartagena: Universidad de San Buenaventura Cartagena.

- Pérez Montero, C. (2021). Propuesta de acciones para la circularidad de los residuos de construcción y demolición en los campus de la Universidad Politécnica de Madrid (Doctoral dissertation, ETSI\_Mon\_fos). <https://oa.upm.es/68922/>
- Pérez Rodríguez, J. (2018). Evaluación ambiental de la gestión de los residuos municipales a través del análisis de la huella de carbono: aplicación a la ciudad de Madrid (Doctoral dissertation, Industriales).
- Plataforma CB23. (2020). Guía. Pasaportes para el Sector de la Construcción. Acuerdos de trabajo para la construcción. Versión 2.0.
- Polanco Padrón, N. D., Ferrer Planchart, S. C., & Fernández Reina, M. (2021). Aproximación a una definición de pensamiento computacional. RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia.
- Programa de Gobierno 2022.2026. (2022). Colombia Potencia Mundial de la Vida.
- Qiao, L., Tang, Y., Li, Y., Liu, M., Yuan, X., Wang, Q., & Ma, Q. (2022). Life cycle assessment of three typical recycled products from construction and demolition waste. *Journal of Cleaner Production*, 376. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134139>
- Quiles, M. P. (2020). Reutilización y arquitectura. A propósito del reuso de materiales en la edificación prehistórica de la península ibérica. *Marq, arqueología y museos*, (11), 7-15.
- Quintero-Osorio, L. A., Vargas-Restrepo, C. M., Gutiérrez-Monsalve, J. A., Vélez-Rivera, D. A., Gómez-Betancur, M. A., Aguirre-Cardona, D. A., y Franco-Montoya, J. C. (2021).

Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad.

Pensamiento & Gestión, (50), 117-152.

Quinde, B. G. (2021). La Aplicación del Modelo de Economía Circular en Ecuador, Estudio de Caso. Revista Espacios, 16.

Ramakrishna, M. S. (2020). Material Passports and Circular Economy. Springer, 11.

Ramírez, C. V. (2021). Caracterización de la Economía Circular en el Sector de la Construcción Mediante su Análisis e Implementación en la Ciudad de Bogotá – Colombia. Bogotá: Fundación Universidad de América.

Ramos, I. A. (2017). Plan de Implementación de Metodología BIM en el Ciclo de Vida de un Proyecto. Bogotá: Universidad Católica de Colombia

Remón Royo, R. (08 de agosto de 2016). Casas con ladrillos de plástico reciclado en Colombia. Arquitectura Bioclimática. Arquitectura y Empresa.

Restrepo-Zapata, G. C., & Cadavid-Restrepo, C. F. (2019). Mejora del desempeño ambiental y energético de la vivienda de interés prioritario en Medellín con el uso de ladrillos cerámicos modificados. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 18(35), 33–49.  
<https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a3>

Rico, B. C. (2016). Sello Ambiental Colombiano. Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana. Obtenido de

[https://www.corponor.gov.co/publica\\_recursos/Mercados\\_Verdes/2016/Sello\\_ambiental\\_Colombiano.pdf](https://www.corponor.gov.co/publica_recursos/Mercados_Verdes/2016/Sello_ambiental_Colombiano.pdf)

Robayo Salazar, R. A. (5 de 12 de 2014). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Revista Tecnura*, págs. 157-170.

Rodríguez-Potes, L., Villadiego-Bernal, K., Padilla-Llano, S. E., & Osorio-Chávez, H. (2018). Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario. *Bitácora Urbano Territorial*, 28(3), 19-26.

Romina Da Re, M., David G, Mantero Á, Nemirovsky P., Parisi D., Peinado V., Florencia R., Soldevila A., Torres A y Turek A. (2021). *La Economía Circular Y La Resiliencia De Las Ciudades: Iniciativas innovadoras para una mejor calidad de vida*. Argentina.

Rosado, L. P., Vitale, P., Penteado, C. S. G., & Arena, U. (2019). Life cycle assessment of construction and demolition waste management in a large area of São Paulo State, Brazil. *Waste Management*, 85, 477–489. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.01.011>

Rose, C., y Stegemann, J. (2019) Caracterización de edificios existentes como bancos de materiales (E-BAMB) para permitir la reutilización de componentes. *Actas de la Institución de Ingenieros Civiles - Sostenibilidad de Ingeniería*172(3):129–140, <https://doi.org/10.1680/jensu.17.00074>

Saer, A. J., & González, L. E. (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*.

Salazar, R. A., Matthey Centeno, P. E., Silva Urrego, Y. F., Burgos Gali, D. M., y Delvasto

Arjona, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Tecnura*, 19(44), 157-170.

Sampieri, H. (2012). *Metodología de la Investigación*. México D.F: Mc GrawHills.

Sanchez, B., Rausch, C., Haas, C., & Saari, R. (2020). A selective disassembly multi-objective optimization approach for adaptive reuse of building components. *Resources, Conservation and Recycling*, 154. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104605>

Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research.

*Environmental Development*, 17, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>

Serra, P. A. (1997). *La Construcción Sostenible. El estado de la Cuestión*. Madrid: Habitat.

Suárez Sierra, L. P. (2006). *Módulo herramientas informática. Conceptos básicos de informática*.

Suárez S. S., Betancourt C., Molina J., y Mahecha, L. (2019). La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *Entramado*, 15(1), 224-244.

TECNALIA (2018). *Estudio sobre la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde*.

Tighnavard Balasbaneh, A., Sher, W., Yeoh, D., & Koushfar, K. (2022). LCA & LCC analysis of hybrid glued laminated Timber–Concrete composite floor slab system. *Journal of Building Engineering*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104005>

Trujillo Vargas, K. L., y Quintero Vargas, A. P. (2021). Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá DC.

Unión Temporal Construcción Sostenible S.A , Fundación FIDHAP. (2012). Criterios ambientales para el diseño y construcción de Vivienda Urbana. . Bogotá, D.C: Ministerio de Ambiente y Desarrollo.

Universidad de la Sabana. (06 de 11 de 2022). <https://www.unisabana.edu.co/>. Obtenido de [https://www.unisabana.edu.co/portaldenoticias/al-dia/economia-circular-en-el-sector-de-la-construccion-en-colombia/#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20circular%20\(EC\)%20es,la%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20la%20reducci%C3%B3n.](https://www.unisabana.edu.co/portaldenoticias/al-dia/economia-circular-en-el-sector-de-la-construccion-en-colombia/#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20circular%20(EC)%20es,la%20reutilizaci%C3%B3n%20y%20la%20reducci%C3%B3n.)

Urrego, G. P., Elena, F., Mina, M., Fernando, L., Chaves, V., Durán, Á. L., Bonilla González, R., Iván, N., Patiño, O., Mojica, J., Alfonso, G., Martínez, J., Inés, G., Ríos, R., Torres, I. V., Germán, D., Mendoza, U., Figueroa, A. V., Susana, M., ... Cortés, R. (2023). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026.

Valenzuela, M. (2020). Centro de reciclaje, Moravia. Obtenido de: Centro de reciclaje, Moravia. ([usta.edu.co](http://usta.edu.co))

- Valenzuela, S. (2020). El duro golpe para el reciclaje y los recicladores del país. El Tiempo Casa Editorial.
- Vargas, K. L. (2021). Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá D.C.. Bogotá: Universidad de La Salle.
- Velte, D. (2011). Las dinámicas de agotamiento de los recursos naturales y el papel de la prospectiva. Dialnet, 17.
- Vera Cornejo, S. E. (2020). Propuesta de indicadores Lean2Cradle® en fases de uso y deconstrucción (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Wellener, P., Laaper, S., Dollar, B., & Ashton, H. (2021). Ecosystem pathways for connected construction. [www.deloitte.com/](http://www.deloitte.com/)
- Xargay, H., Ripani, M., Caggiano, A., Folino, P., & Martinelli, E. (2019). Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios. *Tecnura*, 23(60), 38-51.
- Xia, B., Ding, T., & Xiao, J. (2020). Life cycle assessment of concrete structures with reuse and recycling strategies: A novel framework and case study. *Waste Management*, 105, 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.015>
- Zamora, L. M. (2021). Recuperar el futuro repensando el pasado. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/58513>.



## Anexos

### Anexo 1 Tabla de coincidencias beneficios Ambientales, Sociales y Económicos

**Anexo 2 Matriz comparativa MP - Basada en características de la ISO 21930**