

# DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN LA ECONOMÍA CIRCULAR, EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN, PARA EL MANEJO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).

## DESIGN OF METHODOLOGY BASED ON THE CIRCULAR ECONOMY, IN CONSTRUCTION FIELDS, FOR THE MANAGEMENT OF ITS CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE (RCD).

Julián Montoya Cuellar<sup>31</sup>  
FABER ASPRILLA HURTADO<sup>32</sup>  
ÁLVARO TORRES-PENAGOS<sup>33</sup>

### RESUMEN

Este artículo presenta el diseño de una metodología basada en la economía circular para el manejo de residuos de construcción y demolición (RCD), mediante algunas estrategias se busca el aprovechamiento y valorización de residuos en la construcción de una obra de infraestructura mediante la identificación de eslabones, actores,

---

31 <sup>1</sup>Ingeniero de Materiales – Magister en Gerencia de Proyectos Universidad Pontificia Bolivariana; Seccional Palmira; Colombia. [Julian.cuellar@upb.edu.co](mailto:Julian.cuellar@upb.edu.co)

32 Contador – Magister en Gerencia de Proyectos Universidad Pontificia Bolivariana; Seccional Palmira; Colombia. [faber.asprilla@upb.edu.co](mailto:faber.asprilla@upb.edu.co)

33 <sup>3</sup>Ingeniero Industrial – Magister en Ingeniería Industrial – Docente del Programa Administración de Empresas Universidad Pontificia Bolivariana; Seccional Palmira; Colombia. [alvarojose.torres@upb.edu.co](mailto:alvarojose.torres@upb.edu.co)

impactos asociados y alternativas encaminadas a la reutilización de los residuos para ser incluidos nuevamente en el ciclo de operación. Se identificaron en total 18 impactos ambientales principales en agua, suelo, flora, fauna, energía y aire. Adicionalmente, dentro de las alternativas, resaltaron el reciclaje, la gestión integral de RCD y la extensión de vida útil a través de reutilización de materiales pétreos. Concluyendo que, al aplicar la metodología para la administración de los RCD en obras de construcción, se genera un modelo de negocio que garantizará la reutilización de materiales que eran considerados residuales y su valorización como nuevo producto.

**Palabras Clave:** *Economía circular, Administración de residuos, Aprovechamiento de RCD.*

## **ABSTRACT**

This article presents the design of a methodology based on the circular economy for the management of construction and demolition waste (CDW), through some strategies that seek the use and valorization of waste in the construction of an infrastructure project by identifying links, actors, associated impacts and alternatives aimed at the reuse of waste to be included again in the operation cycle. A total of 18 main environmental impacts were identified on water, soil, flora, fauna, energy and air. Additionally, among the alternatives, they highlighted recycling, the integral management of CDW and the extension of useful life through the reuse of stone materials. Concluding that, by applying the methodology for the administration of CDW in construction works, a business model is generated that will guaran-

tee the reuse of materials that were considered residual and their recovery as a new product.

**Key Words:** *Circular economy, Waste management, Use of CDW.*

## INTRODUCCIÓN

Las actividades de construcción, demolición, mejoras locativas o de infraestructuras, buscan mejorar la calidad de vida de las personas, encontrándose estrechamente relacionadas con el crecimiento poblacional y económico de un territorio, presentando, como consecuencia, un incremento de exploración y explotación de recursos naturales y de generación de residuos sólidos. De hecho, la industria de la construcción es responsable de más del 30% de la extracción de recursos naturales y del 25% de la generación de residuos sólidos en el mundo. Lo anterior, es consecuencia de la adopción de un modelo económico lineal, dirigido desde la “cuna” hacia la “tumba” y no de “la cuna” a la “cuna”. (Benachio et al., 2020). En Colombia, esta industria consume el 40% de la energía, genera el 30% de CO<sub>2</sub>, el 40% de los residuos y consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra. (MinAmbiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s/f). Adicionalmente, en el país, anualmente se generan más de 22 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes, como lo indica la Resolución 472 de 2017 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017), de actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles u otras actividades conexas.

Por lo anterior, a nivel mundial, se han diseñado e implementando estrategias y medidas para la gestión de RCD, como es el caso de Reino Unido, donde tratan los residuos como recursos, aumentando la reutilización y el reciclaje, y las inversiones en tratamiento. Dinamarca, Países Bajos y Bélgica, utilizan los materiales reciclados como áridos reciclados en diferentes ámbitos: construcción de explanaciones, capas de firmes de carreteras y fabricación de hormigón. (Mahecha & Calderón, 2018). En países como Colombia, se cuenta con una amplia normativa en materia de gestión de RCD encabezada por la Resolución 472 de 2017 “Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos derivados de las actividades de construcción y demolición –RCD y se dictan otras disposiciones”, sin embargo, la existencia de la normativa no garantiza su correcta aplicación, como lo indica (Pacheco et al., 2017), grandes cantidades de estos residuos producto de la industria de la construcción son dispuestos en lugares inadecuados generando deterioro del espacio público y el entorno ambiental. Según (DANE, s/f), la construcción como rama de actividad económica durante el periodo mayo-julio del año en curso, participó con el 6,9% de los ocupados a nivel nacional, lo equivalente a 1232 personas, es por esto, que es necesario promover buenas prácticas que incluyan la gestión de RCD que involucren todos los actores de esta cadena de valor. (leac, 2020).

Los RCD son aquellos residuos generados en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructura. (Artículo 6 del Decreto Supremo n°003-2013-VIVIENDA). La generación de escombros en los procesos constructivos se puede dar de diferentes maneras y en distintos procesos que conforman la totalidad de la obra (MINAM, 2016).

Sobre los residuos de construcción y demolición se pueden mencionar las primeras investigaciones realizadas por Poon, C. (1997), en su trabajo *“Gestión y reciclaje de residuos de demolición en Hong Kong”*, en el que muestra que durante la década de 1985 a 1995, la generación de residuos sólidos municipales en Hong Kong ha ido aumentando debido a la desproporcionada cantidad de residuos de la construcción de entre todos los tipos de residuos sólidos. Los escombros de la construcción resultantes de los trabajos de demolición constituyen un elevado porcentaje de la cantidad de desechos. Su investigación planteó un método para la estimación de la cantidad de generación de residuos de demolición en Hong Kong evaluando una opción disponible para la gestión de residuos de demolición a través de los resultados de un estudio de laboratorio sobre la reutilización de áridos reciclados como materiales de ingeniería.

Sin embargo, no se clasificaron los tipos de residuos de construcción y demolición hasta que Shen et al. (2004) con su trabajo *“Enfoque de mapeo para examinar la gestión de residuos en sitios de construcción”* definieran los residuos de construcción y demolición (RCD) como *“desechos generados en edificios, concreto, acero, madera, escombros, tierra y una composición de materiales generados a partir de diversas actividades en sitios de construcción, incluida la excavación de terrenos, la construcción de estructuras y edificios, desbroce de obra, actividades de demolición, obras viales y rehabilitación de edificios”*.

Posteriormente Yuan et al., (2013) con su investigación *“La evolución de la clasificación de residuos de la construcción in situ”* empezarían a clasificar a los RCD como *“una variedad de materiales inertes / no*

*inertes, por ejemplo, el concreto, las rocas y el suelo son materiales inertes, mientras que la madera, el vidrio y el plástico son materiales no inertes”* describiendo además a los RCD en función de su idoneidad y posibilidad de reutilización, recuperación y reciclaje.

Finalmente una de las definiciones más recientes de RCD se encuentra en el trabajo *“Una revisión de la situación actual y los desafíos de la gestión de residuos de construcción y demolición”* por Menegaki et al. (2018) donde presenta a los residuos de construcción y demolición como *“un compuesto de diferentes materiales que comprenden materiales peligrosos / no peligrosos e inertes / no inertes, así como materiales que son generados involuntariamente por desastres naturales como huracanes y terremotos”*

En Europa la investigación sobre aprovechamiento de residuos de construcción según Rodríguez et al. (2015), con *“Evaluación de la gestión de plantas de Residuos de Construcción y Demolición en España: en pos de la sostenibilidad y la ecoeficiencia”* indica que solo en 2014 los residuos de construcción y demolición son un problema importante en la sociedad moderna, ya que representan del 25 al 30% de todos los residuos sólidos generados anualmente lo que ha generado que empresas privadas implementen plantas de recolección con un radio intraprovincial de recepción de residuos y comercialización de productos de no más de 30 km. Además, describe el papel del gobierno para establecer un marco legislativo que regula y fomenta el reciclaje de residuos de construcción y demolición. Esta investigación determina que el producto entrante es principalmente residuos de construcción y demolición mixtos con un alto contenido de material a base de arcilla. Sin embargo, manifiesta que es un negocio cuya continuidad

se ve amenazado por una baja significativa de la industria de la construcción y la disponibilidad de áridos naturales en España, frente al cual el producto reciclado no es competitivo. Por lo que concluye con el diseño de un modelo de gestión que realiza un énfasis en el papel del gobierno en promover el uso de residuos procesados de construcción y demolición como materia prima para la fabricación de nuevos productos de construcción.

A nivel nacional se han publicado diferentes investigaciones que describen la importancia de la buena disposición final de los residuos sólidos de demolición. Entre estos se destacan algunos como *“Propuesta para el manejo integral de los residuos de la construcción y la demolición Caso de Aplicación: Medellín, Antioquia”*. Este proyecto se realizó con el objetivo de elaborar y desarrollar propuestas estratégicas, óptimas, eficientes, y sustentables para promover el buen aprovechamiento y disposición final de los RCD de Medellín a partir de información secundaria existente. Esto, con el fin de prevenir y mitigar los impactos ambientales negativos generados por estos, proporcionando herramientas válidas y concretas de fácil manejo y comprensión al momento de ejecutar acciones y actividades encaminadas al manejo integral de los residuos sólidos de la construcción y la demolición (RCD), de esta forma mejorar las condiciones ambientales y económicas del municipio, encontrando alternativas de solución para la problemática ambiental del manejo de los residuos sólidos urbanos, específicamente los RCD. Se concluye que la sostenibilidad ambiental de las ciudades depende en gran parte de las estrategias y programas de gestión que ayuden a minimizar los impactos ambientales negativos y a maximizar los impactos ambientales positivos (Bran Bedoya, 2011).

A través de los años la contaminación generada por la industria de la construcción ha causado grandes impactos al medio ambiente. La producción de sus residuos va creciendo excesivamente causando daños a la salud humana, animal y a los recursos naturales (Poon, C., 1997). Según Galvis (2016. p 103). "En las últimas dos décadas del siglo XX y las primeras del XXI se ha identificado y ha venido en ascenso la problemática ambiental como una prioridad para casi todos los países del mundo. Es imperiosa la necesidad de establecer una relación sostenible entre el desmedido crecimiento poblacional, la cultura consumista y la demanda irracional de los recursos naturales".

Los principales residuos que se generan en el sector de la **construcción** son los provenientes de concreto, asfalto, bloques, arenas, gravas, ladrillo, tierra y barro que representan al menos el 50% y otro 20% a 30% compuesto de madera y productos afines, como formaletas, marcos y tablas; el restante 20% a 30% son variados, como metales, vidrios, asbesto, materiales de aislamiento, tuberías, aluminio y partes eléctricas (UICN & HOLCIM, 2011).

Según ACODAL (2018. p 1) "en el área de la ciudad de Santiago de Cali y en sus sectores adyacentes, que forman prácticamente su área metropolitana, todos los días se calcula que se generan más de 2.500 m<sup>3</sup>/día de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), anteriormente llamados escombros, lo que se convierte a grosso modo en 75.000 ton/mes y casi 1.000.000 de ton/año; sin embargo, en la ciudad no se evidencia una política efectiva y consecuente con el tamaño del problema, ni autoridad que regule la actividad, y peor aún, a la luz de la normativa vigente, los caleños no cuentan con un lugar para hacer

disposición final de estos residuos. Los RCD se generan a partir de todas las construcciones nuevas, remodelaciones, obras de infraestructura, en fin, todo tipo de crecimiento y modificación de ese tipo, que se produzca en la ciudad."

En países como España, Alemania y otros de la Comunidad Europea, los RCD son aprovechados industrialmente y el concepto de demolición cambió a deconstrucción (logística inversa). Existe toda una cadena empresarial con operadores de: transporte especializado en escombros, de puntos limpios/estaciones de transferencia, de plantas de reconversión y aprovechamiento y con operadores calificados para los sitios de disposición final (ACODAL, 2018).

Sumado a esto, los costos de disposición y a la vez la corrupción, han dado cabida al fraude en los registros de disposición. Son pocos lugares certificados para recibir este tipo de residuos y más allá de almacenar no cuentan con la infraestructura para clasificar y disponer de estos (Barrera, Leon, & Ruiz, 2017).

En este orden de ideas, como parte de la solución se está incrementando la educación en las obras. Las grandes y medianas empresas están implementando los planes de calidad, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente, con los cuales pretenden generar la cultura del manejo adecuado de estos residuos, por medio del reciclaje, buen almacenamiento, entre otros. De esta forma minimizan el impacto y reducir le generación de RCD (Barrera et al., 2017). Es así como en la construcción de la obra caso de estudio entendiendo la problemática presentada como órgano rector de la política pública ambiental en Colombia, así como la falta de normas en la ciudad de Palmira (in-

cumplimiento constante de los instrumentos de comando y control (leyes, normas) establecidos por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que deberían expedir las autoridades locales para la gestión o manejo adecuado de los RCD (Bermejo, 2016)) y siguiendo los lineamientos y políticas de calidad dispuestas por el municipio acoge la necesidad del aprendizaje sobre el manejo y aprovechamiento adecuado de los residuos producidos en sus obras, en especial los RCD los cuales pueden dejar de verse como desechos y verlos como residuos que se pueden transformar en otro bien, con valor económico.

Este artículo consiste en un estudio exploratorio de tipo cualitativo de todos los actores que hacen parte de la cadena productiva y la gestión de los residuos generados por las actividades de construcción y demolición, como perciben el concepto de desecho y reutilización de los materiales los gerentes, líderes y personal operativo de las obras de construcción, y basado en análisis cualitativos, realizar una correcta metodología que permita implementar las estrategias de la economía circular en la administración de los residuos de construcción y demolición (RCD).

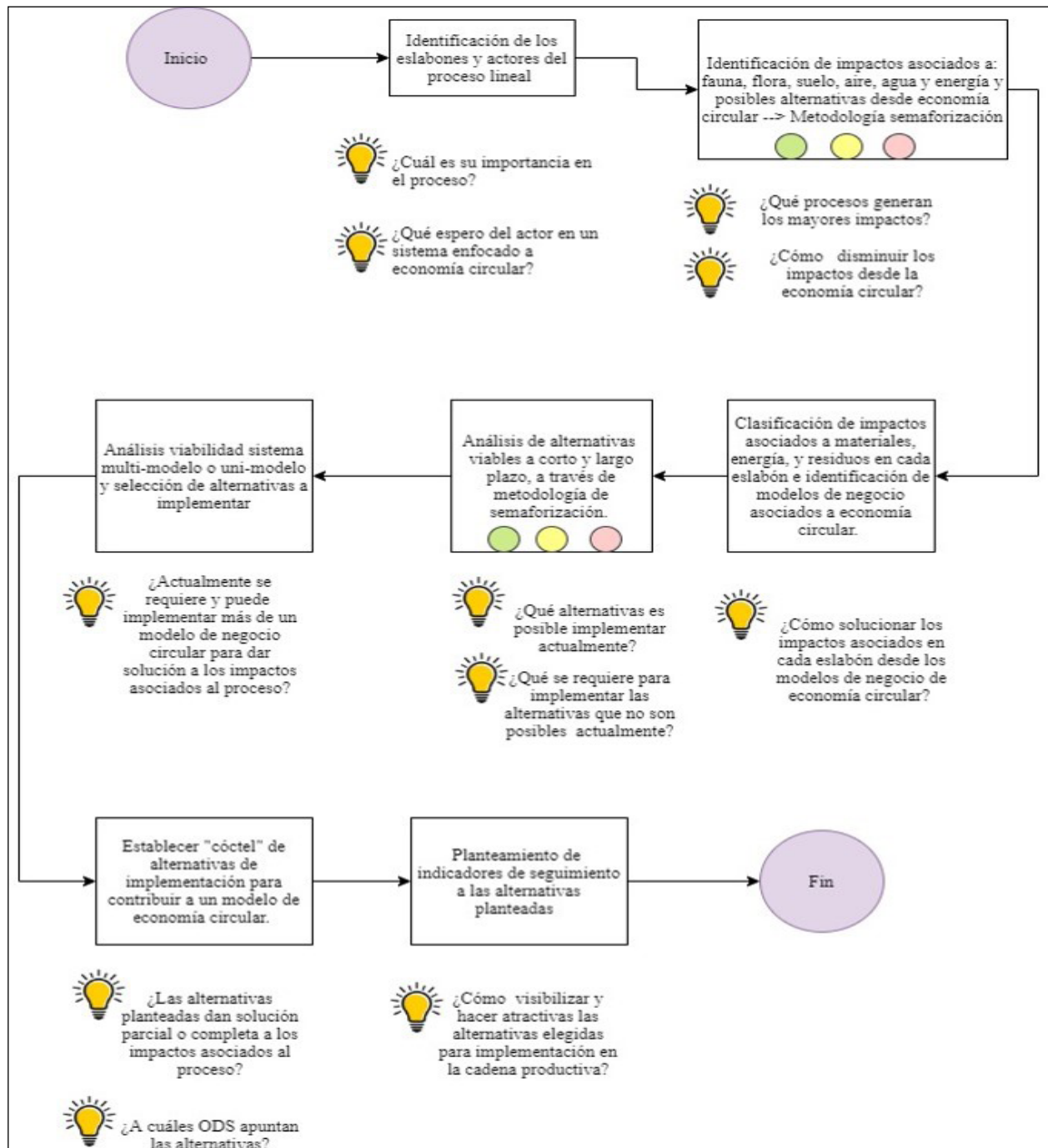
Con la aplicación de la metodología propuesta basada en el modelo de economía circular al combinarla con cada uno de los eslabones de la cadena de producción se generará una valorización no solo del ciclo productivo, sino al impacto positivo en el medio ambiente pues se hace necesario consumir menos materia prima virgen y se pueden reutilizar materiales que se consideraban desechos.

# METODOLOGIA

## Procedimiento metodológico

Para el desarrollo de la metodología requerida, Gaitan (2013) indica segmentar el estudio en fases como lo muestra la figura 1:

**Figura 1.** Procedimiento propuesto para la realización de la metodología basada en economía circular para la administración de RCD.



Este artículo deriva de una investigación que consistió en un estudio de caso exploratorio de tipo cualitativo de todos los actores que hacen parte de la cadena productiva y la gestión de los residuos generados por las actividades de construcción y demolición, como perciben el concepto de desecho y reutilización de los materiales los gerentes, líderes y personal operativo de la obra en donde se realizó el estudio, y basado en análisis cualitativos, realizar una correcta metodología que permita implementar las estrategias de la economía circular en la administración de los residuos de construcción y demolición (RCD).

La investigación fue cualitativa de tipo exploratorio, basada en un caso de estudio en una obra de construcción, de tal modo, que se utilizará un método de revisión documental y bibliográfica de recopilación de información con el fin de obtener datos referentes a la recepción, manejo y disposición final de escombros (Gaitan, 2013) para ser asociados, analizados y entregar como resultado una metodología práctica y sencilla que facilite administras adecuadamente los RCD.

## MARCO TEORICO

### **Residuos solidos**

Un residuo es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final (MINAM, 2016). En la figura 1 se pueden observar los tipos de residuos sólidos existentes.

**Figura2.** Tipos de residuos sólidos (MINAM, 2016)

Según lo reportado por MINAM (2016) los residuos sólidos se dividen en:

- **No aprovechables:** Todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. No tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición (MINAM, 2016).
- **Aprovechables:** Cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo.

Para el desarrollo de este artículo se van a estudiar los residuos sólidos aprovechables de construcción o de demolición.

### **Residuos de construcción RCD**

Son aquellos residuos generados en las actividades y procesos de construcción, rehabilitación, restauración, remodelación y demolición de edificaciones e infraestructura. (Artículo 6 del Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA). La generación de escombros en los procesos constructivos se puede dar de diferentes maneras y en distintos procesos que conforman la totalidad de la obra (MINAM, 2016).

### **Clasificación de residuos de construcción y demolición**

Los sobrantes de las actividades de demolición, excavación, construcción y/o reparaciones de las obras civiles, o de otras actividades conexas complementarias o análogas, son conocidos como los RCD (Gutiérrez et al., 2014). Los residuos producidos en el desarrollo de una obra son los que se listan en la tabla 1.

### **Economía circular**

La economía circular es la más reciente perspectiva y visión de la economía que se soporta por la utilización de un producto o servicio, cuyo enfoque trasciende la manera como se han manejado los productos, sus componentes, así como su relación e incidencia con el ambiente, procurando prevenir la contaminación, mitigar impactos (sociales, ambientales, económicos) y facilitar acciones hacia un desarrollo sostenible (Prieto Sandoval, Jaca García, & Ormazabal, 2017)

Desde la revolución industrial en el siglo XVIII, la productividad de las

empresas y la calidad de vida de la población global se han incrementado. Así, la creciente productividad suele venir de la mano de la creciente explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, lo cual amenaza la sostenibilidad de la vida de los ecosistemas naturales y, por ende, de la población humana. En el contexto de la revolución industrial y hasta el siglo XX, el sistema económico, social y ambiental se entendía en silos distanciados y sin relación, hasta que la sobreexplotación de la naturaleza empezó a afectar el desarrollo económico y social; con tierras que ya no producían y comunidades que sufrían enfermedades producto de la contaminación (Mebratu, 1998).

**Tabla 1.** Clasificación de los residuos de construcción y demolición RC (Decretos 838 de 2005, 4741 de 2005, 2981 de 2013.)

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
<b>RCD APROVECHABLES</b>	I- Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales inertes que no sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría (1).
	II- Residuos de material fino	1. Residuos finos no expansivo	Arcillas (caolín), limos y residuos inertes, poco o no plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría (1).
		2. Residuos finos expansivos	Arcillas (montmorillonitas) y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200 de granulometría (1) (2).
	III- Otros residuos	1. Residuos no pétreos	Polímeros (Termoplásticos, termoestables, elastómeros), maderas, cartones, papel y vidrios.
		2. Residuos de carácter metálico	Ferrosos (Acero, hierro), No ferrosos (cobre, aluminio, estaño y zinc)
		3. Residuos orgánicos de descapotes y excavaciones	Residuos de tierra negra  Residuos vegetales y otras especies bióticas.

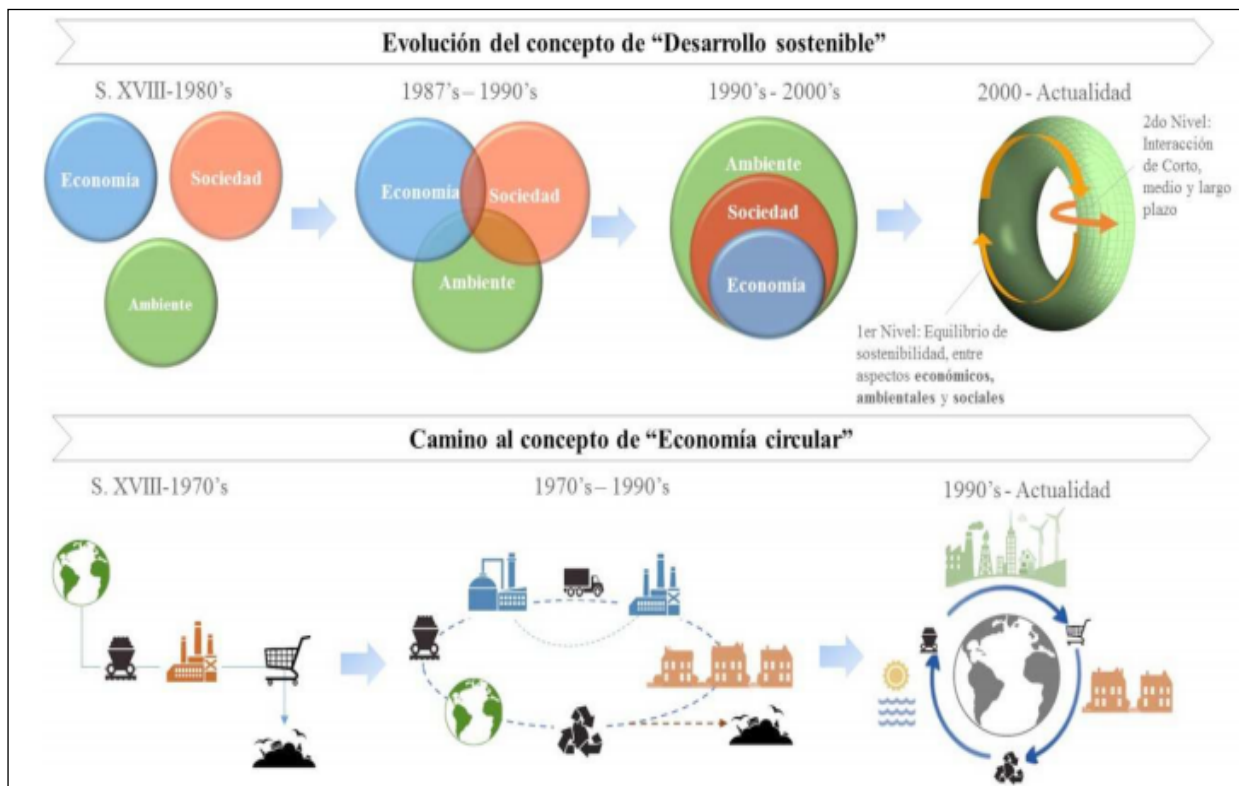
<b>RCD NO APROVECHABLES</b>	IV- Residuos peligrosos	1. Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos. explosivos, tóxicos, patógenos (biológicos)	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes, barnices, tejas de asbesto, escorias, plomo, cenizas volantes, luminarias, desechos explosivos, y los residuos o desechos incluidos en el Anexo I y Anexo II o que presenten las características de peligrosidad descritas en el Anexo III del Decreto 4741 de 2005.
	V- Residuos especiales	No definida	Poliestireno - Icopor, cartón-yeso (drywall), llantas entre otros
	VI- Residuos contaminados con otros residuos	1. Residuos contaminados con residuos peligrosos	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos. Estos deben ser dispuestos como residuos peligrosos.
		No definida	Residuos contaminados con otros residuos, que hayan perdido las características propias para su aprovechamiento.
VII- Otros residuos	No definida	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su uso en las obras.	

(1) De acuerdo con el sistema internacional unificado de clasificación de suelos (Unified Soil Classification System -USCS-), la diferencia entre los residuos y materiales gruesos y los finos se establece por el paso de la malla o tamiz # 200 de granulometría (0,075mm), al igual que sus propiedades para usos de construcción. (2) Es de considerar que las lutitas o rocas arcillosas de tamaño semejante a un residuo pétreo que se presentan en algunas partes de la ciudad tienen propiedades expansivas que no permiten emplearlas para el uso de las cimentaciones en la construcción por su composición (mezcla de arcillas y limos expansivos).

No fue hasta los años sesenta con los primeros movimientos ambientalistas y la publicación del libro "Primavera silenciosa" (Carson, 1962), cuando empezó a cobrar relevancia el impacto negativo que causaban las industrias al planeta, debido a la explotación indiscriminada de recursos, los monocultivos y el uso excesivo de sustancias tóxicas en el ambiente. Este despertar, sumado a la primera publicación del concepto de "desarrollo sostenible" en el "Reporte de Brundtland" (Keeble, 1988), marcaron una nueva etapa que mostraba la importancia de cuidar los recursos naturales de hoy para garantizar la calidad de vida de las generaciones futuras (Keeble, 1988). Este concepto es

general, ambiguo e imperfecto, pero en definitiva marcó un valioso punto de partida a nivel global. Así, a lo largo del siglo XX y hasta hoy, varios economistas han tratado de averiguar la mejor manera de recortar la distancia entre el cuidado del medio ambiente y la teoría de la economía neoclásica, lo que ha permitido formular una “economía verde”, que pretende aliviar el impacto ambiental y hacer un uso eficiente de los recursos, aunque insiste en el crecimiento infinito y expansionista (Mathewts, 2011). Esta propuesta no soluciona los problemas de raíz, ya que se ha orientado hacia la internalización de costes, y ha impulsado el principio de “quien contamina paga”, pero no ha impulsado cambios sistemáticos en la cultura empresarial desde la mejora en los focos de contaminación de los procesos y el diseño de producto.

**Figura 4.** Evolución paralela de los conceptos de “Desarrollo sostenible” y “Economía circular” (Prieto Sandoval et al., 2017)



La economía circular consiste en un flujo cíclico, que implica extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar los materiales y la energía de productos y servicios. Así que, merece la pena concretar cuáles son los campos de acción de la economía circular y en qué consisten, de tal manera que puedan ser identificados en cualquier proceso de mejora de la gestión ambiental (Figura 4). Los campos de acción propuestos son (Prieto Sandoval et al., 2017)

**Extraer:** En el marco de la economía circular, el término “extraer” se refiere a la forma en que las industrias toman recursos del entorno, por tanto, las empresas deben intentar hacer un uso más eficaz y responsable de los recursos biológicos y técnicos. Esto implica que las empresas pueden seleccionar los proveedores y los materiales que utilizan, de acuerdo con criterios medioambientales que disminuyan su impacto en la naturaleza (Prieto Sandoval et al., 2017)

**Transformar:** Tan pronto se obtienen los recursos, se debe procurar el desarrollo de las mejores prácticas tecnológicas e innovaciones ecológicas (eco-innovaciones) para que tanto el producto o servicio como su proceso se realicen de la manera más sostenible posible (Prieto Sandoval et al., 2017)

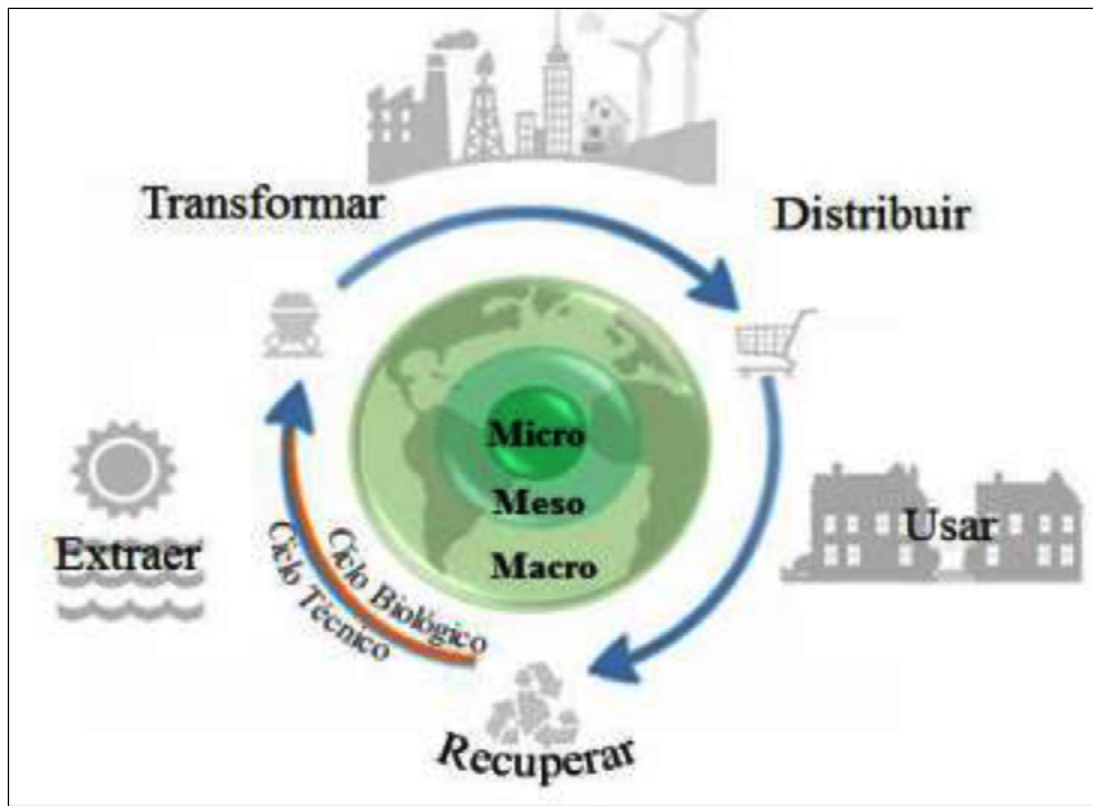
**Distribuir:** Esta fase tiene que ver con la forma en la que el producto o servicio se entrega al cliente. Las empresas deben garantizar la trazabilidad de sus productos y de manera eficiente reducir el impacto ambiental, tanto en rutas, como embalajes, como, a través de distintas prácticas, como la logística inversa (Prieto Sandoval et al., 2017)

**Usar:** En cuanto el producto está a disposición de los consumidores u otras empresas, la economía circular propone reducir el impacto de la

energía asociada al uso del producto o la eficiencia del propio producto. La eficiencia del producto o servicio puede ser mejorada a través de la reutilización como producto de segunda mano o la reparación (Prieto Sandoval et al., 2017)

**Recuperar:** Por último, en la economía circular, los residuos pueden ser recuperados de dos maneras: como un recurso biológico que puede ser devuelto a la biosfera o como un recurso técnico que puede ser reincorporado a un proceso industrial (Prieto Sandoval et al., 2017)

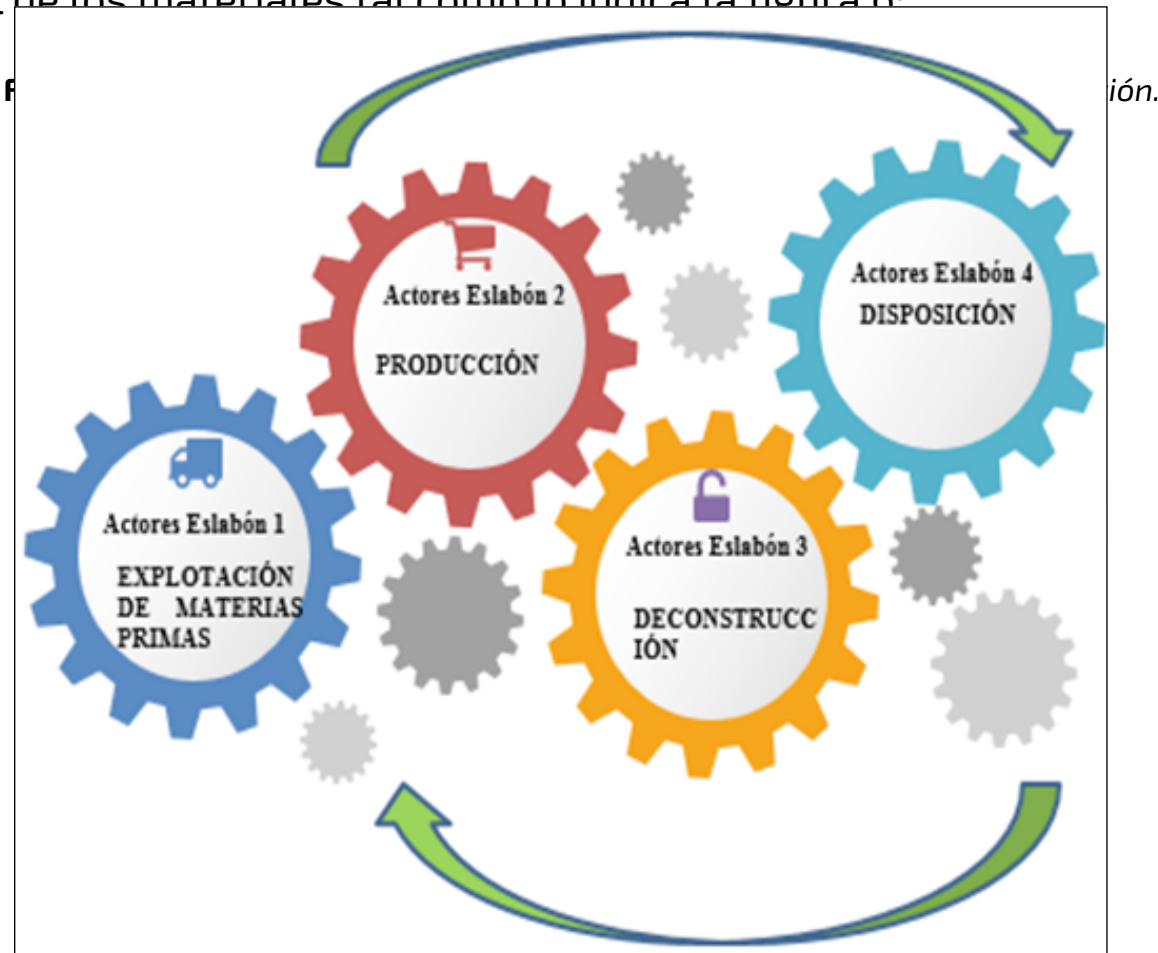
**Figura 5.** Ciclo de economía circular (Prieto Sandoval et al., 2017)



## RESULTADOS

Se requiere identificar todos los involucrados de la cadena productiva de materiales de construcción para ello es necesario incluir todos los

actores desde la explotación hasta el aprovechamiento y disposición final de los materiales tal como lo indica la figura 6.



Al establecer los eslabones se realiza el perfilamiento de todos los miembros asociados a la cadena productiva. La información de los actores que hacen parte de cada una de las fases para el procesamiento de materiales de construcción se reúne en la tabla 2:

**Tabla 2.** Actores asociados de forma directa e indirecta en el ciclo productivo de materiales para la construcción.

Actor	Importancia dentro del Proceso	Rasgos deseables en la EC
<p><b>EXPLOTACIÓN DE MATERIAS PRIMAS</b></p> <p>Ministerio de Minas. ANLA. Corporaciones autónomas regionales. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Empresas explotadoras de materias primas.</p>	<p>Exploración de materiales de construcción como materia prima en la producción de concretos, bases, así como también agregados para asfalto y en todo tipo de obra civil.</p> <p>Extracción de materiales imprescindibles para la realización de la construcción, con posibles efectos en recursos naturales.</p> <p>Explotación para obtención de materiales de construcción, realizada por lo general en zonas aledañas a pueblos, con posible generación de impactos sociales y ambientales.</p> <p>Imprescindible ya que suministra los materiales para que en el eslabón de producción (construcción), puedan realizarse los procesos de transformación de materias primas, transporte, cimentación y estructura.</p>	<p>Implementación de modelos de valoración de residuos para el aprovechamiento de residuos orgánicos, peligrosos, y estériles.</p> <p>Implementación de estrategias sostenibles para el uso de energía solar y de combustible para el transporte de herramientas y materiales- Posible uso de energías renovables.</p> <p>Prestación del servicio con estrategias de capacitación al personal sobre temáticas relacionadas a la actividad: separación de residuos, gestión de materiales peligrosos, planes de contingencia y control de sustancias peligrosas.</p>
<p><b>PRODUCCIÓN</b></p> <p>Empresas transformadoras de materias primas Constructoras Contratistas Corporaciones Autónomas regionales Profesionales del sector</p>	<p>Transformación de materias primas por medio de diferentes técnicas, para la creación y desarrollo de espacios artificiales que permitan llevar actividades como residencia, educación, salud, entretenimiento, ocio, etc.</p> <p>Distribución y transporte del producto terminado (materiales de construcción) a los diferentes actores.</p>	<p>Implementación de modelos de valoración de residuos para el aprovechamiento de residuos orgánicos, peligrosos, y pétreos.</p> <p>Implementación de estrategias alineadas a la Economía Circular en el desarrollo de actividades de transformación de materias primas.</p> <p>Prestación del servicio con estrategias de capacitación en separación de residuos.</p> <p>Maquinarias con fuentes de energía renovables y prácticas sostenibles.</p> <p>Divulgación a los diferentes actores las posibilidades de reutilización y reciclaje de los productos que distribuyen.</p> <p>Diseño e implementación de técnicas de construcción alineadas a la economía circular.</p>

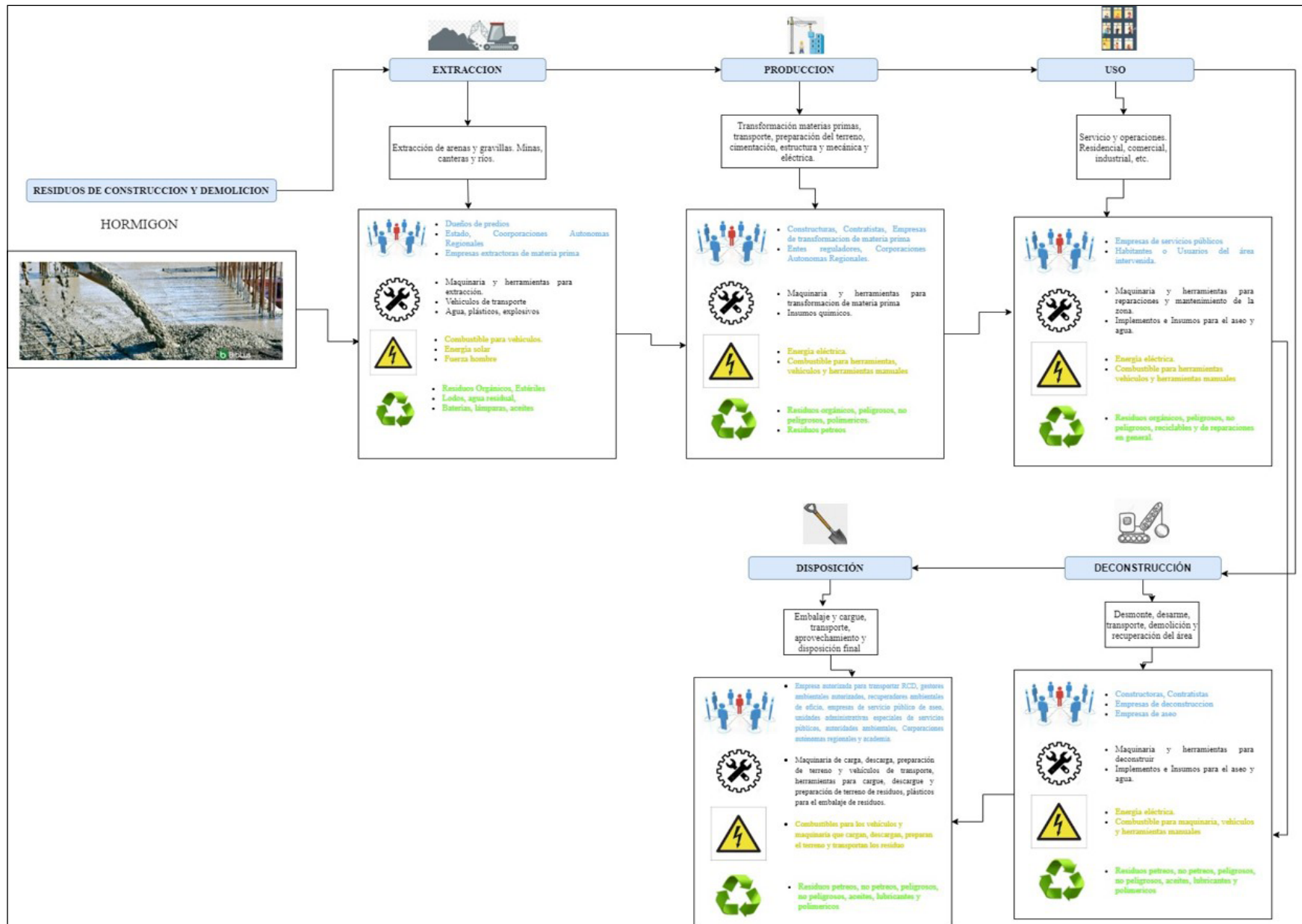
<p>USO</p> <p>Empresa de servicios públicos (de aseo, agua y alcantarillado, fluido eléctrico, gas natural) Habitantes o usuarios del área intervenida.</p>	<p>Adquisición o uso de la construcción, con una generación constante de impactos como generación de residuos orgánicos y de deconstrucción, debido a remodelaciones o arreglos en las viviendas, junto con impactos de huella hídrica.</p>	<p>Implementación de modelos de economía y consumo colaborativo. Prestación del servicio con estrategias de capacitación en separación de residuos Uso de maquinarias con fuentes de energía renovables y prácticas sostenibles Realizar la correcta separación en la fuente de los residuos sólidos generados, promoviendo el aprovechamiento de los mismos.</p>
<p>DECONSTRUCCIÓN</p> <p>Empresas encargadas de realizar procesos de deconstrucción Contratistas Constructoras Empresas prestadoras de aseo público.</p>	<p>Debido a la vida útil de las construcciones o a la inversión en nuevos proyectos, algunos enfocados a industrias 4.0, los procesos de deconstrucción hacen parte del proceso inicial y/o final de los eslabones de explotación, producción y uso de una construcción, pues hay deconstrucciones de viviendas, edificios, instalaciones industriales, desmonte de tejados, entre otras.</p> <p>Dentro de los residuos generados por este proceso, se encuentran residuos peligrosos, los cuales deben pasar por el eslabón de disposición para su adecuada gestión, preservando la sostenibilidad en el marco social, ambiental y económico.</p>	<p>Capacitación separación de residuos y prácticas sostenibles Análisis ciclo de vida Estar abierto a las nuevas tendencias de negocios verdes y de economía circular para los procesos de deconstrucción. Prestación del servicio con estrategias de capacitación en separación de residuos Maquinarias con fuentes de energía renovables y prácticas sostenibles Contratar una empresa con responsabilidad ambiental, que cumpla con la normativa actual y más allá para una circularidad de los residuos generados.</p>
<p>DISPOSICIÓN</p> <p>Gestor de residuos Recuperadores ambientales Empresas prestadoras de aseo público.</p>	<p>Separación de los residuos generados en procesos de deconstrucción siempre y cuando sea viable realizar este proceso. Recolección, transporte, aprovechamiento y /o disposición final de los residuos generados.</p>	<p>Identificación de materiales que tengan potencial de aprovechamiento e implementación de estrategias de circularidad. Prestación del servicio con estrategias de capacitación en separación de residuos. Maquinarias con fuentes de energía renovables y prácticas sostenibles. Diseño e implementación de estrategias o tecnologías que faciliten el aprovechamiento y tratamiento de los residuos generados.</p>

<p>TRANSVERSAL</p> <p>Entidades reguladoras</p>	<p>Regulación de normativa para de procedimientos en el negocio de construcción y deconstrucción.</p>	<p>Desarrollo e implementación de políticas que promuevan estrategias de economía circular en este sector económico.</p> <p>Elaboración de normativas dirigidas hacia el óptimo manejo de materiales y disminución de impactos ambientales.</p> <p>Diseño y regulación de modelos de negocios circulares.</p> <p>Desarrollo e implementación de incentivos fomentando el adecuado manejo de los materiales y residuos.</p>
<p>TRANSVERSAL</p> <p>Educación/ Academia</p>	<p>Investigación de estrategias de circularidad de los RCD generados en procesos de deconstrucción.</p> <p>Investigación e implementación de estrategias de circularidad en el sector de la construcción.</p> <p>Formación de profesionales en el sector de la construcción con criterios de sostenibilidad.</p>	<p>Vincular producción intelectual de estrategias y técnicas de circularidad de RCD con núcleos empresariales en procesos de deconstrucción.</p> <p>Investigación y desarrollo de metodologías y tecnologías que fomenten las construcciones sostenibles.</p>

**Modelo lineal para el ciclo de producción de materiales de construcción.**

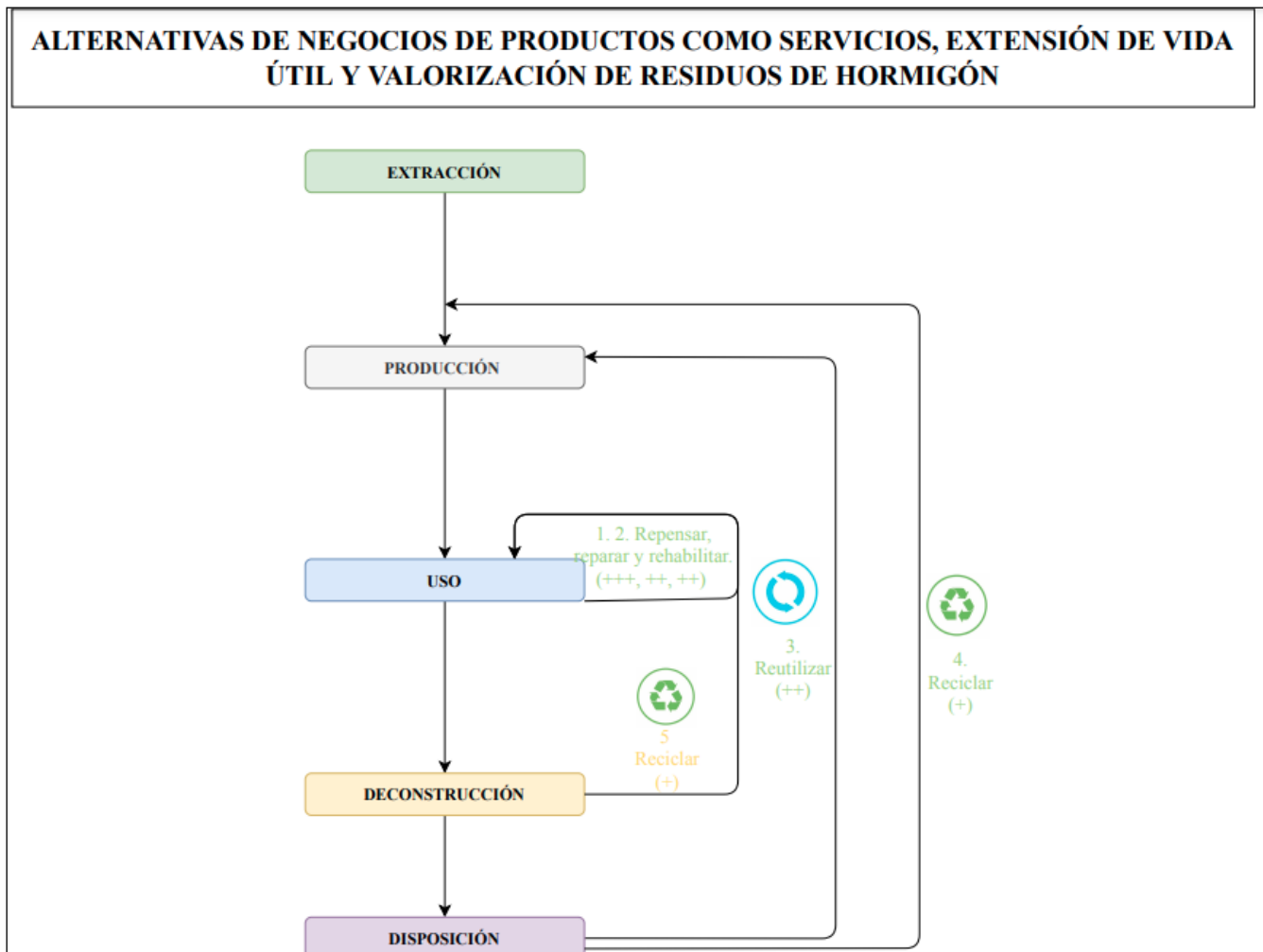
Con la identificación de los actores involucrados se plantea el esquema del modelo lineal de la cadena productiva de materiales y residuos aplicable en obras de construcción, como se observa en la figura 7.




Figura 7. Modelo de economía lineal para la cadena productiva de materiales de construcción.



Gracias a la investigación realizada por Gaitan (2013) al identificar a todos los actores de la cadena lineal que están involucrados en la generación de materiales para la construcción, desde la extracción misma de las materias primas y tras obtener el modelo lineal para este proceso, se pueden desarrollar las estrategias para aplicar la circularidad que permita reutilizar los residuos y mediante procesos de transformación darles una nueva vida en el ciclo de procesamiento; interviniendo en la fase en donde son desechados en vertederos y dándoles nuevamente una inclusión como modelo de negocio en el ciclo productivo, tal como se plantea en la figura 8:

Figura 8. Estrategias para aplicar la circularidad en modelos de negocios que permitan reutilizar los residuos en el ciclo productivo de formación y consumo de materiales de construcción



CONVENCIONES	
 <p>Estrategia de Reducción</p>	<p>1. Repensar estilo de construcciones a partir de modelo de servicio de construcciones montables y desmontables. (+++)</p>
 <p>Estrategia de Reutilización</p>	<p>2. Extender vida útil de construcciones a partir de rehabilitación de construcciones. (++)</p> <p>3. Reutilización de áridos de hormigón para fabricación hormigón. Trituración de residuos de hormigón. (++)</p>
 <p>Estrategia de Reciclaje</p>	<p>4. Reciclaje de áridos para materia prima para construcción. Trituración de residuos de hormigón. Reciclaje de vidrio para refuerzo de hormigón. (+)</p> <p>5. Reciclaje de residuos áridos para incorporación en paneles aislantes prefabricados para construcciones energéticamente eficientes. (+)</p>

Al aplicar las estrategias de la economía circular se presenta también una serie de alternativas que minimizarían el impacto de los riesgos asociados al medio ambiente (ver Figura 8.) Se pueden describen los más relevantes en la tabla 3:

**Tabla 3.** *Alternativas para mitigar los impactos ambientales aplicando las estrategias que plantea la economía circular*

	IMPACTO	ALTERNATIVA EC
SUELO	Deforestación	- Sustitución de productos maderables por otros materiales que representen un menor impacto ambiental
	Utilización excesiva de materiales con la consecuente pérdida de recursos naturales.	- Recirculación de materiales con el objetivo de evitar la extracción, exploración de los recursos naturales. -Recuperación de suelos a través del uso de abono proveniente de compostaje industrial de residuos orgánicos generados en eslabones de toda la cadena.
	Generación de residuos (sólidos, líquidos y peligrosos)	- Valorización de materiales para reincorporación en la cadena de valor. -Implementación de estrategias de reducción, reutilización y aprovechamiento de materiales.
	La ocupación de suelos en entornos urbanos que podrían destinarse a otros usos	- Plantear estrategias de planificación y uso del suelo previo a la implementación de proyectos, tomando en cuenta análisis microbiológicos y físicoquímicos del suelo.

AGUA	Alteración de las propiedades fisicoquímicas del agua por aporte de sedimentos. Modificación calidad de agua. Contaminación hídrica por vertimientos de agua contaminada con sustancias químicas. Contaminación de fuentes hídricas por inadecuado manejo de RCD.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión integral residuos de construcción y demolición para evitar llegada de residuos a cuerpos de agua y tratamiento de lixiviados y aguas residuales y cierre de ciclo a través de un segundo uso del agua previamente tratada en otros eslabones de la cadena productiva.</li> <li>- Análisis fisicoquímico y microbiológico de lixiviados generados para evaluación en modelos circulares o modelos de aprovechamiento de lixiviados, evitando así su llegada a cuerpos de agua.</li> </ul>
	Alteración de drenajes naturales.	-Incorporar en modelos de negocios circulares infraestructura verde
	Proliferación de vectores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporar en modelos de negocios circulares infraestructura verde, para así evitar problemas de drenaje.</li> <li>- Gestión integral residuos de construcción y demolición para evitar llegada de residuos a cuerpos de agua y tratamiento de lixiviados y aguas residuales y cierre de ciclo a través de un segundo uso del agua previamente tratada en otros eslabones de la cadena productiva.</li> <li>- Análisis fisicoquímico y microbiológico de lixiviados generados para evaluación en modelos circulares o modelos de aprovechamiento de lixiviados, evitando así su llegada a cuerpos de agua y proliferación de vectores.</li> </ul>
FAUNA	Enfermedades por polución y emisión de gases, especialmente en la producción de hormigón y asfalto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de materiales prefabricados, evitando la extracción de material con posible generación de gases y contaminantes.</li> <li>- Modelos de negocio de recuperación de materias primas secundarias a través del uso de bloques de construcción prefabricados hechos de materias primas del eslabón de extracción recicladas.</li> <li>- Extensión de vida útil a través de la reutilización de materiales pétreos obtenidos en el eslabón de deconstrucción, a partir de tecnologías que permitan reprocesar estos materiales que ya fueron usados en otra construcción, para un nuevo uso ya sea como agregados, bases, sub-bases, rellenos, materia prima para ser nuevamente el material que era: ladrillos, tejas, asfaltos, cerámicas, estucos y acabados de mampostería. -Uso de vehículos con tecnologías más limpias y fuentes renovables.</li> </ul>
	Crisis de biodiversidad o de flujo de energía en ecosistemas por derivados tóxicos presentes en ambientes acuáticos. Incidencia en la vida silvestre modificado hábitat, volumen de comunicación, convivencia en grupo e individual, hábitos de sueño y alimentación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión integral residuos de construcción y demolición para evitar llegada de residuos a cuerpos de agua y tratamiento de lixiviados y aguas residuales y cierre de ciclo a través de un segundo uso del agua previamente tratada en otros eslabones de la cadena productiva.</li> <li>- Análisis fisicoquímico y microbiológico de lixiviados generados para evaluación en modelos circulares o modelos de aprovechamiento de lixiviados, evitando así su llegada a cuerpos de agua y generación de ambientes tóxicos acuáticos.</li> <li>- Inventario de especies presentes aledañas al proyecto y caracterización de las mismas.</li> </ul>
	Destrucción de hábitat por tala.	- Construcciones montables y desmontables para dar espacio a nuevas construcciones en la misma área y así evitar por un lado, la deforestación y por otro, la exploración de nuevas áreas que puedan generar destrucción del hábitat.
	Migración de especies a causa del ruido generado por el proceso y el paso de maquinaria pesada.	-Barreras de ruido como arborización

<b>FLORA</b>	Alteración paisajística. Pérdida de vegetación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcciones montables y desmontables para dar espacio a nuevas construcciones en la misma área y así evitar por un lado, la alteración paisajística de más áreas y por otro, la exploración de nuevas áreas que puedan generar pérdida de vegetación.</li> <li>- Uso de materiales prefabricados, disminuyendo la intervención del eslabón de extracción y de esta manera disminuir la pérdida de vegetación.</li> </ul>
	Estrés fisiológico en algunas plantas y las hacen más susceptibles al ataque de plagas y alteración al equilibrio de las especies.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcciones montables y desmontables para dar espacio a nuevas construcciones en la misma área y así evitar por un lado, la alteración paisajística de más áreas y por otro, la exploración de nuevas áreas que puedan generar estrés fisiológico en algunas plantas por el paso de maquinaria pesada para construcción.</li> <li>- Uso de materiales prefabricados, disminuyendo la intervención del eslabón de extracción y de esta manera disminuir estrés fisiológico por el eslabón de extracción.</li> <li>- Inventario de especies y caracterización de las mismas para evaluación de riesgos y prevención de estrés fisiológico.</li> <li>- Protección física de especies para evitar efectos físicos por el polvo.</li> </ul>
	Efectos físicos por el polvo como destrucción celular, bloqueo de estomas y afectación de la fotosíntesis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de materiales prefabricados, evitando la extracción de material con posible generación de gases y contaminantes.</li> <li>- Modelos de negocio de recuperación de materias primas secundarias a través del uso de bloques de construcción prefabricados hechos de materias primas del eslabón de extracción recicladas.</li> <li>- Extensión de vida útil a través de la reutilización de materiales pétreos obtenidos en el eslabón de deconstrucción, a partir de tecnologías que permitan reprocesar estos materiales que ya fueron usados en otra construcción, para un nuevo uso ya sea como agregados, bases, sub-bases, rellenos, materia prima para ser nuevamente el material que era: ladrillos, tejas, asfaltos, cerámicas, estucos y acabados de mampostería.</li> <li>- Uso de vehículos con tecnologías más limpias y fuentes renovables.</li> <li>- Protección física de especies para evitar efectos físicos por el polvo.</li> </ul>
	Generación de problemas de fitotoxicidad por incorrecta gestión de RESPEL y sustancias tóxicas en el agua y las distintas respuestas que pueden presentar las plantas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incorporar en modelos de negocios circular infraestructura verde, para así evitar problemas de drenaje.</li> <li>- Gestión integral residuos de construcción y demolición para evitar llegada de residuos a cuerpos de agua y tratamiento de lixiviados y aguas residuales y cierre de ciclo a través de un segundo uso del agua previamente tratada en otros eslabones de la cadena productiva.</li> <li>- Análisis fisicoquímico y microbiológico de lixiviados generados para evaluación en modelos circulares o modelos de aprovechamiento de lixiviados, evitando así su llegada a cuerpos de agua y generación de problemas de fitotoxicidad generada por incorrecta gestión de RESPEL.</li> </ul>

<b>AIRE</b>	Aumento del nivel de ruido por los trabajos de perforación y voladura, transportación y procesamiento.	-Barreras de ruido como arborización
	Contaminación por gases y polvo. Emisiones de gases contaminantes y material particulado. GEI.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de materiales prefabricados, evitando la extracción de material con posible generación de gases y contaminantes.</li> <li>- Modelos de negocio de recuperación de materias primas secundarias a través del uso de bloques de construcción prefabricados hechos de materias primas del eslabón de extracción recicladas.</li> <li>- Extensión de vida útil a través de la reutilización de materiales pétreos obtenidos en el eslabón de deconstrucción, a partir de tecnologías que permitan reprocesar estos materiales que ya fueron usados en otra construcción, para un nuevo uso ya sea como agregados, bases, sub-bases, rellenos, materia prima para ser nuevamente el material que era: ladrillos, tejas, asfaltos, cerámicas, estucos y acabados de mampostería.</li> <li>-Uso de vehículos con tecnologías más limpias y fuentes renovables.</li> </ul>
<b>ENERGÍA</b>	Consumo de combustibles para maquinaria	- Uso de vehículos con tecnologías más limpias y fuentes renovables.

### **Modelo de negocio para el ciclo de producción de materiales de construcción en obras.**

Con toda la información recolectada de la figura 12, se realiza la tabla 4 donde se presenta el análisis de decisiones que identifica el modelo circular como el modelo de negocio más adecuado para el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición al incluirlos nuevamente y prolongar su vida útil al hacer parte una vez más en el proceso productivo. Este modelo se utilizará para elaborar, utilizando las estrategias ofrecidas por la economía circular, un esquema de aprovechamiento de materiales y sus residuos a nivel general para todo tipo de obras de construcción. Sin embargo, se tuvo en cuenta la limitante tecnológica para la transformación del RCD en la obra la carbonera para ajustar el alcance durante la toma de decisiones, convirtiendo los residuos en un plan de negocios nuevo o alternativo al que se realizaba al principio.

Las características evaluadas en el análisis de decisiones sirve como guía para evaluar varios tipos de construcciones pero se ajusta a las

necesidades de obras como la carbonera, que por sus limitaciones tecnológicas o de recursos, no permite aprovechar en gran escala los RCD, para ello se utiliza la metodología de semáforo siendo rojo la menos adecuada, amarillo de una aplicabilidad plausible al utilizar mejor tecnología y la verde como la mejor alternativa para la obra evaluada en esta investigación.

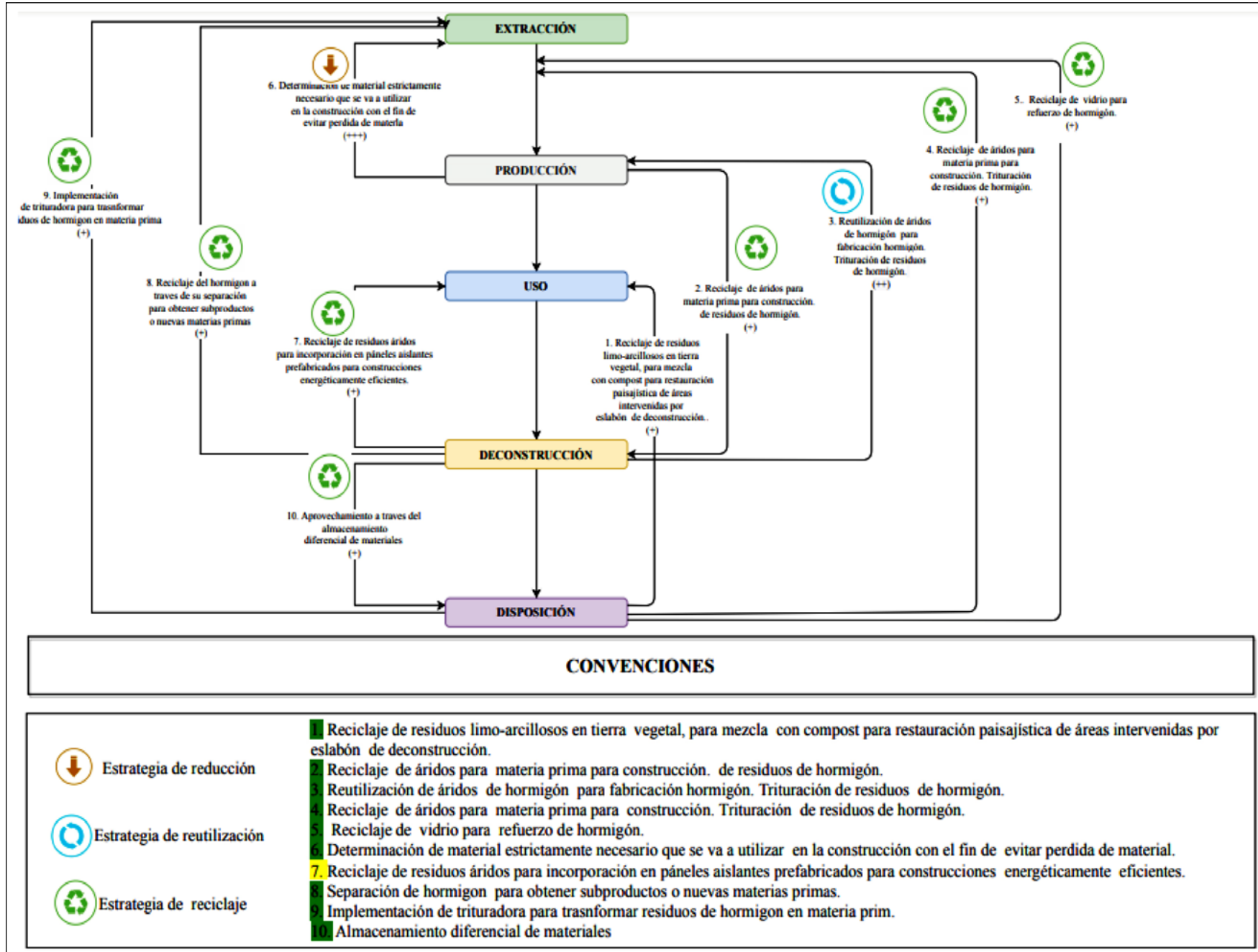
**Tabla 4.** *Análisis de decisiones para escoger el mejor modelo de negocio para el aprovechamiento de RCD en obra La Carbonera.*

<b>Modelos de negocio</b>	<b>Características de aplicación en obras de construcción</b>
<b>Modelos de valoración de residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Se generan grandes cantidades de residuos</li> <li>*Se cuenta con tecnología avanzada para aprovechar y transformar residuos</li> </ul>
<b>Modelo circular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Cantidades pocas o limitadas de residuos</li> <li>*Potencializa la reutilización de residuos generados incorporándolo nuevamente al ciclo productivo.</li> </ul>
<b>Modelos de productos como servicios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Captar la cultura de los consumidores para utilizar menos recursos</li> <li>*Es un sistema pedagógico para enseñarle al público en general a consumir menos productos o materiales.</li> </ul>
<b>Extensión / reutilización del ciclo de vida del producto:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Mejoras en los diseños para producir, mejorar o alargar la vida útil de insumos.</li> <li>*Diseñar productos más duraderos o con mayor vida útil para no requerir reparaciones muy periódicas.</li> </ul>
<b>Recuperación de materias primas secundarias / subproductos:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Se generan grandes cantidades de residuos y materiales de reciclaje</li> <li>*Se cuenta con tecnología avanzada para aprovechar y transformar residuos reciclados</li> <li>*Modifica los residuos para aplicaciones diferentes a las diseñadas en los ciclos productivos</li> </ul>
<b>Compartiendo economía y consumo colaborativo:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Se comparte el tratamiento de residuos entre obras cercanas o del mismo grupo económico</li> <li>*Los materiales y herramientas son utilizadas por empresas con el mismo tipo de negocio, razón social o servicio.</li> </ul>

Como se observa en la tabla anterior el Modelo Circular es el más apropiado depende de cada obra de construcción, a sus limitantes tecnológicas, ubicación geográfica y de condición de construcción en la cual se presentan o no procesos de excavación, demolición, y se puede utilizar debido al bajo número de residuos de construcción que genera cada obra y que potencializa la reutilización de los mismo como un nuevo material en la cadena de productiva de materiales de construcción como; gravas, materiales para la adición de concretos y rellenos de suelos.

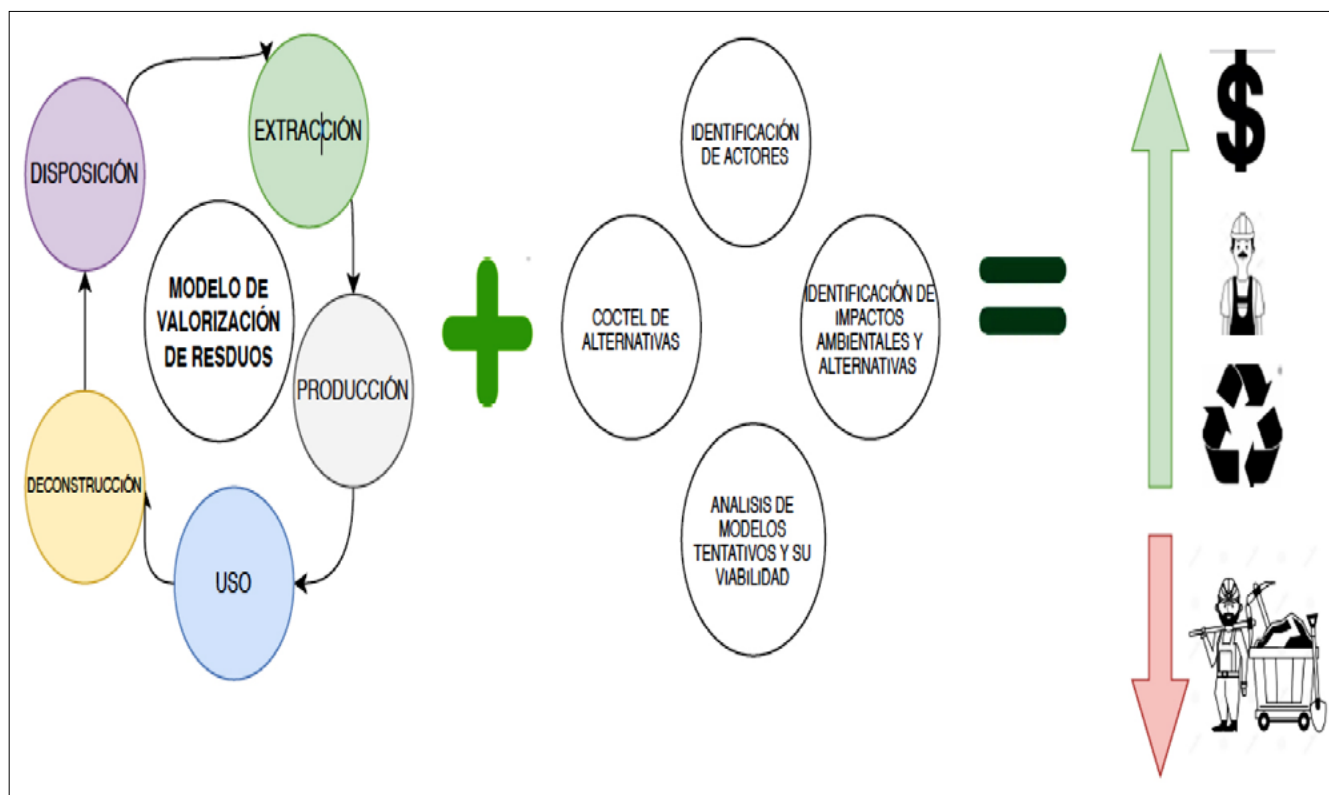
Con el modelo circular como la mejor alternativa para las obras de construcción, se construye el modelo para la cadena productiva de materiales de construcción en general (ver figura 8), el cual determinará las pautas para la creación de un modelo circular específico para aprovechar los RCD de la obra de construcción.

**Figura 9.** Modelo de economía circular para la cadena productiva de materiales de construcción en general.



Con la aplicación de la metodología propuesta basada en el modelo de economía circular al combinarla con cada uno de los eslabones de la cadena de producción se generará una valorización no solo del ciclo productivo, sino al impacto positivo en el medio ambiente pues se hace necesario consumir menos materia prima virgen y se pueden reutilizar materiales que se consideraban desechos.

**Figura 10:** Beneficios de la aplicación del modelo de economía circular mediante la metodología propuesta de administración de RCD en la obra La Carbonera.



## CONCLUSIONES

Se identificaron en total 18 impactos ambientales principales en agua, suelo, flora, fauna, energía y aire. Adicionalmente, dentro de las alternativas, resaltaron el reciclaje, la gestión integral de RCD de naturaleza pétreo y extensión de vida útil a través de reutilización de dichos materiales.

Se comprobó que el concepto de economía circular incluye más de una forma de abordar los impactos generados por los eslabones de la cadena de valor del sector de construcción, incluyendo conceptos de simbiosis industrial, (producción más limpia) PML y concepto de cero emisiones.

Por otro lado, se obtuvo un esquemas de economía circular general para obras de construcción, enfocadas a la contribución de la transición de la economía actual (modelo lineal) hacia una circular, mediante estrategias de reutilización y sobre pilares como innovación, modelos de negocio y colaboración, concluyendo que la economía circular tiene el potencial de cerrar bucles a través de la creación de flujos de recursos y no de residuos, enlentecer bucles y estrecharlos, por lo tanto, es un área que se puede estudiar y explorar mejor.

La metodología propuesta abre un camino para que los actores involucrados en las cadenas de producción de materiales de construcción comprendan la forma en la que se administran los residuos de construcción y demolición, y entrega un conjunto de procesos que simplificará el empirismo con el que se trataban los RCD y median tratamientos simples (trituration, molienda y tamizaje) volver a incluir en

los ciclos productivos materiales reutilizados que servirán para disminuir el consumo de materias primas vírgenes afectando positivamente el impacto ambiental.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACODAL Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. (2018). en el manejo de escombros cali está rajándose comunicado de prensa. retrieved from <https://www.acodal.com/en-el-manajeo-de-escombros-cali-esta-rajandose/>
- AMBINTALES, MAAT S. (2018). ¿Cómo cumplir con la resolución 472 de 2017 en los proyectos de construcción en Colombia? retrieved april 12, 2020, from <https://www.maat.com.co/cumplir-la-resolucion-472-2017-proyectos-construccion-Colombia/>
- BARRERA, A., LEON, M., & RUIZ, M. (2017). Desarrollo de una metodología para el manejo ambiental y financiero de residuos de construcción y demolición (rcd). caso de estudio: “obra - comando del departamento de policía archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina”.
- BERMEJO, G. (2016). Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (rcd) generados en Barranquilla d.e.i.p., 1–142. retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20473/bermejournolagus-tavoadolfo2016.pdf?sequence=1&isallowed=y>
- BRAN BEDOYA, A. (2011). Propuesta para el manejo integral de los residuos de la construcción y la demolición caso de aplicación : Medellín, Antioquia, 54. retrieved from [http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/538/1/propuesta\\_manejo\\_integral\\_bran\\_2011.pdf](http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/jspui/bitstream/10819/538/1/propuesta_manejo_integral_bran_2011.pdf)

CARSON, R. (1962). *Silent spring*. (h. m. company, ed.) (1st ed.). Boston.

CHI S. POON, Management and recycling of demolition waste in hong kong, waste management & research, volume 15, issue 6, 1997, pages 561-572, issn 0734-242x, <https://doi.org/10.1006/wmre.1996.0111>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734242X96901111>)

G. RODRÍGUEZ, C. MEDINA, F.J. ALEGRE, E. ASENSIO, M.I. SÁNCHEZ DE ROJAS, Assessment of construction and demolition waste plant management in spain: in pursuit of sustainability and eco-efficiency, journal of cleaner production, volume 90, 2015, pages 16-24, issn 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.067>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614012748>)

GAITAN, M. (2013). Lineamientos para la gestion ambiental de residuos de construccion y demolicion (rcd) en Bogotá d.c., 1-135.

GALVIS, J. A. (2016). Residuos sólidos : problema , conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *gestión & región*, 22(julio-diciembre), 101-119. retrieved from <https://go.galegroup.com/ps/anonymous?id=gale%7ca529948041&sid=google-scholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19009771&p=if-me&sw=w>

GUTIÉRREZ, C. J. O., RODRÍGUEZ, F. S. G., RAMÍREZ, J. A. S., GÓMEZ, K. J. R., FAJARDO, N. A. P., ECHEVERRÍA, V. A. Z., ... AGUIRRE, A. A. (2014). Guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición (rcd) en obra, 52.

- HERNADEZ, S., & VIEDO, M. (2019). Diseño de un sistema para la clasificación y disposición de los residuos de construcción de Santiago de Cali.
- HONGPING YUAN, WEISHENG LU, JANE JIANLI HAO, The evolution of construction waste sorting on-site, renewable and sustainable energy reviews, volume 20, 2013, pages 483-490, issn 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.12.012>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112007083>)
- KAMYAR KABIRIFAR, MOHAMMAD MOJTAHEDI, CYNTHIA CHANGXIN WANG, TAM VIVIAN W.Y., A Conceptual foundation for effective construction and demolition waste management, cleaner engineering and technology, volume 1, 2020, 100019, issn 2666-7908, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100019>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790820300197>)
- KEEBLE, B. R. (1988). The brundtland report: "our common future." *medicine and war*, 4(1), 17-25. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- MARIA MENEGAKI, DIMITRIS DAMIGOS, A Review on current situation and challenges of construction and demolition waste management, current opinion in green and sustainable chemistry, volume 13, 2018, pages 8-15, issn 2452-2236, <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.02.010>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S245222361830018x>)

- MATHEWTS JOHN. (2011). Naturalizing capitalism. *futures*, 43(8), 868–879. retrieved from <https://researchers.mq.edu.au/en/publications/naturalizing-capitalism-the-next-great-transformation>
- MEBRATU, D. (1998). Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review. *environmental impact assessment review*, 18(6), 493–520. [https://doi.org/10.1016/s0195-9255\(98\)00019-5](https://doi.org/10.1016/s0195-9255(98)00019-5)
- MINAM, (Ministerio del Medio Ambiente, República del Perú). (2016). guía informativa manejo de residuos de demolición y construcción, 28. retrieved from <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manejo-de-residuos-de-construcción-21-x-15-ok-2.pdf>
- MINAMBIENTE, (Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, República de Colombia). (2017). resolución 0472 por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición-rcd. retrieved from <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3a-resolucion-472-de-2017.pdf>
- PRIETO SANDOVAL, V., JACA GARCÍA, M., & ORMAZABAL, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *memoria investigaciones en ingeniería*, 15(15), 85–95.
- RIVERA, N. L. (2009). Propuesta de un programa para el manejo de los residuos solidos en la plaza de mercado de Cerete – Cordoba, 1, 1–44.

S.A, P. S. (2018). DINERO. retrieved from <https://www.dinero.com/edicion-impresa/informe-especial/articulo/aporte-del-sector-de-la-construccion-a-la-economia-colombiana/259815>