

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Barreras y medidas para la valorización de algunos Residuos de la Construcción y
Demolición (RCD) en Costa Rica”**

Nicole Méndez Carpio

CARTAGO, diciembre, 2021

TEC | Tecnológico de Costa Rica
Ingeniería Ambiental

“Barreras y medidas para la valorización de algunos Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) en Costa Rica”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniera Ambiental con el grado de licenciatura

Miembros del tribunal

PhD. Lilliana Abarca Guerrero
Director

MSCE. Ana Grettel Leandro Hernández
Lector 1

Ing. Andrea Acuña Piedra
Lector 2

Dra.ir. Mary Luz Barrios Hernández
Coordinadora COTRAFIG

MGLA. Ricardo Coy Herrera
Director Escuela de Química

Msc. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A mi mamá.

A mi abuela, por siempre estar para mí.

A Mylo, por su amor incondicional y por estar conmigo siempre acompañándome en cada traspasada de la u y ser fuente inagotable de mi felicidad.

“Nada está perdido si se tiene el valor de proclamar que todo está perdido y hay que empezar de nuevo”.

- Julio Cortázar.

AGRADECIMIENTOS

A la vida, por permitirme vivir esta experiencia y darme la oportunidad de formarme en esta hermosa profesión.

A Crissel, por ser una mamá tan valiente.

A mi familia en general, por apoyarme y ayudarme de alguna u otra forma, especialmente a mi abuelita Cecilia.

A mi perrhijo Mylo, amo y atesoro todos estos años juntos y los que nos queden por compartir.

A todos mis amigos, por escucharme siempre y estar atentos durante este proceso.

A mis compañeros del TEC, por formarnos juntos como profesionales y, sobre todo, como personas en esta etapa.

A Juan Granados, que me ha acompañado en toda mi etapa universitaria. Donde sea que la vida nos ponga, agradecida con el universo voy a estar, por encontrarnos y enseñarnos tanto.

A cada una de las personas que colaboró para que este estudio fuera posible.

A cada profe que, con amor, dedicación y vocación, aportaron a nivel profesional y emocional, para hacerme la persona que soy hoy.

Y, por último, pero no menos importante, a la Profe Lilliana Abarca, por compartir un poco de su gran conocimiento conmigo, por tenerme paciencia, guiarme en cada una de las etapas de esta investigación y querer una mejor Costa Rica, especialmente en el tema ambiental. Gracias, por tantísimo.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	<i>OBJETIVOS.....</i>	2
1.1.1	Objetivo general	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	<i>SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN</i>	3
2.1.1	Industria de la construcción en el mundo	3
2.1.2	Industria de la construcción en Latinoamérica y el Caribe	4
2.1.3	Industria de la construcción en Costa Rica	5
2.2	<i>RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN.....</i>	7
2.2.1	Clasificación de los residuos de la construcción	7
2.2.2	Cantidad de generación según tipo de residuo	9
2.3	<i>GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN</i>	20
2.3.1	Gestión de los residuos de la construcción en el mundo y Latinoamérica	22
2.3.2	Gestión de los residuos de la construcción en Costa Rica	25
2.4	<i>VALORIZACIÓN.....</i>	27
2.4.1	Valorización de residuos de la construcción en el mundo y América Latina	30
2.5	<i>BARRERAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN.....</i>	36
3	MATERIALES Y MÉTODOS	42
3.1	<i>LUGAR DE ESTUDIO.....</i>	42
3.2	<i>SITUACIÓN ACTUAL DE LA VALORIZACIÓN DEL CONCRETO, MADERA, METALES Y EMPAQUES DE MATERIALES CEMENTICIOS.....</i>	42
3.2.1	REVISIÓN DE LITERATURA	42
3.2.2	ELABORACIÓN DE LOS CUESTIONARIOS	42
3.3	<i>IDENTIFICAR LAS BARRERAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS.</i>	45
3.4	<i>PROPONER ALTERNATIVAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS...</i>	45
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1	<i>SITUACIÓN ACTUAL DE LA VALORIZACIÓN DEL CONCRETO, MADERA, METALES Y EMPAQUES CEMENTICIOS</i>	47

4.1.1	Empresas constructoras	47
4.1.2	Productores de cemento	49
4.1.3	Gestores autorizados de residuos sólidos	49
4.1.4	Centros de acopio	51
4.1.5	Empresas transformadoras de residuos	51
4.1.6	Distribuidores de materiales de construcción	52
4.1.7	Gobierno	52
4.2	<i>BARRERAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS</i>	53
4.2.1	Empresas constructoras	53
4.2.2	Gestores de residuos sólidos	57
4.2.3	Centros de acopio	61
4.2.4	Transformadores de residuos sólidos	61
4.2.5	Distribuidores de materiales de construcción	63
4.2.6	Gobierno	63
4.3	<i>MEDIDAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS</i>	64
4.3.1	Medidas técnicas	65
4.3.2	Medidas económicas	68
4.3.3	Medidas ambientales	70
4.3.4	Medidas sociales	71
4.3.5	Medidas legales	72
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
5.1	<i>CONCLUSIONES</i>	73
5.2	<i>RECOMENDACIONES</i>	74
6	REFERENCIAS	75
	APÉNDICE	91
	Apéndice 1: Cuestionario aplicado a empresas constructoras	93
	Apéndice 2: Cuestionario aplicado a gestores/centros de acopio de metales	97
	Apéndice 3: Cuestionario aplicado a gestores/centros de acopio de madera	99
	Apéndice 4: Cuestionario aplicado a gestores/centros de acopio de concreto	101
	Apéndice 5: Cuestionario aplicado a empresas transformadoras	103

Apéndice 6: Cuestionario aplicado a productores de cemento	106
Apéndice 7: Cuestionario enviado a distribuidores de materiales de construcción	108
Apéndice 8: Cuestionario enviado al sector gobierno	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.3.1. PIB Construcción a precios constantes en niveles de millones de colones encadenados y tasas de variación anual para el periodo 2017-2022.	6
Figura 2.2.2.1. Porcentaje de RCD generados por empresas constructoras consultadas en la ciudad de Villavencio, Colombia.....	15
Figura 2.2.2.2. Generación de RCD semanal en la ciudad de barranquilla en porcentaje.....	16
Figura 2.2.2.3. Residuos de la construcción reportados por las empresas participantes.....	18
Figura 2.2.2.4. Porcentaje de generación de residuos no peligrosos en la obra de Santa Ana, San José, Costa Rica.	19
Figura 2.2.2.5. Porcentaje de generación de residuos no peligrosos en la obra de San Carlos. ...	20
Figura 2.3.1. Jerarquización para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS).	21
Figura 4.1.1.1. Porcentaje de empresas participantes constructoras que separan o reutilizan algunos residuos de la construcción y/o demolición (RCD).	48

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1.1.1. Aporte de las distintas regiones al PIB mundial en porcentaje.....	3
Cuadro 2.1.3.1. Área de construcción tramitada ante el CFIA por tipo de edificación para el año 2019.....	6
Cuadro 2.2.1.1. Resumen de categorías para los residuos de la construcción según país.	8
Cuadro 2.2.2.1. Cantidad de generación de RCD en USA para el 2018 (en millones de toneladas).9	
Cuadro 2.2.2.2. Porcentaje de composición de RCD en algunas regiones del mundo.	11
Cuadro 2.2.2.3. Tasa de producción de RCD en kg m ⁻² generados en China.	13
Cuadro 2.2.2.4. Tasas de generación de RCD en la ciudad de Dhaka, Bangladesh.	14
Cuadro 2.2.2.5. Clasificación y estimación de RCD en México para el año 2011.	17
Cuadro 2.2.2.6. Generación de RCD por proyecto constructivo.....	18
Cuadro 2.2.2.7. Generación de RCD de dos proyectos constructivos de tipo domiciliar.	20
Cuadro 2.3.1.1. Gestión de RCD y destino para el año 2018 (en millones de toneladas).....	23
Cuadro 2.3.1.2. Cantidad de RCD gestionados en Alemania en año 2016.	24
Cuadro 2.5.1. Barreras para la valorización de RCD de acuerdo con algunos criterios.....	37
Cuadro 4.1.1.1. Datos de empresas constructoras participantes para determinar la situación actual de la valorización de los residuos estudiados.....	47
Cuadro 4.1.3.1. Empresas participantes gestoras de madera.....	50
Cuadro 4.1.3.2. Empresas gestoras participantes de metales.	51
Cuadro 4.3.1.1. Medidas técnicas propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.....	65
Cuadro 4.3.2.1. Medidas económicas propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.....	68
Cuadro 4.3.3.1. Medidas ambientales propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.....	70

Cuadro 4.3.4.1. Medidas sociales propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.....	71
Cuadro 4.3.5.1. Medidas legales propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.....	72

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ABRECON	Asociación Brasileña para el Reciclaje de Residuos de la Construcción y Demolición
ABRELPE	Asociación Brasileña de Empresas de Limpieza Pública de Residuos Especiales
ADR	Advance Dry Recovery
AFR	Alternative Fuels and Raw Materials
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
BCCR	Banco Central de Costa Rica
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
CAByS	Catálogo de Bienes y Servicios
CAMACOL	Cámara Colombiana de la Construcción
CAR	Concreto con Agregados Reciclados
CCC	Cámara Costarricense de la Construcción
CEAP	Circular Economy Action Plan
CEN	Comité Europeo de Normalización
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
CMIC	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
CONAMA	Congreso Nacional del Medio Ambiente
CO ₂	Dióxido de carbono
CWMP	Construction Waste Management Plan
C2CA	Advanced Technologies for the Production of Cement and Clean Agregates from Construction and Demolition Waste
DESTATIS	Statistisches Bundesamt (Oficina Federal de Estadística)
EBI	Entreprises Berthier International
EPA	Environmental Protection Agency
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIRS	Gestión Integral de los Residuos Sólidos
GIZ	The Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GWP	Global Warming Potential
HQE	Haute Qualité Environnementale
IEA	International Energy Agency

ILO	International Labour Organization
IGR	Índice de Generación de Residuos
ISWA	International Solid Waste Association
OSB	Oriented Strand Board
PCC	Portland Composite Cement
PIB	Producto Interno Bruto
PP	Polipropileno
PTA	Parque Técnico Ambiental
PVC	Policloruro de Vinilo
RCD	Residuos de la Construcción y Demolición
REI	Report Economic Information
SETENA	Secretaría Técnica Nacional Ambiental de Costa Rica
SGA	Sistema de Gestión Ambiental
UNEP	United Nations Environment Programme
USA	United States of America
WGR	Waste Generation Rate

RESUMEN

En la actualidad, si bien es cierto que la industria de la construcción es clave para el desarrollo socioeconómico de un país, representa un problema ambiental importante, debido a la insostenibilidad de sus procesos, derivado en gran medida del alto consumo energético, producción considerable de emisiones y alta generación de residuos sólidos. Concretamente, la deficiencia en cuanto a la valorización de los residuos de la construcción y demolición (RCD), es una problemática que se puede abordar mediante la formulación de planes, medidas, incentivos, entre otros. De manera que, la presente investigación formula medidas para la valorización de cuatro RCD en Costa Rica. Para ello, se realizó una revisión de literatura sobre la situación actual y barreras que experimenta el sector construcción a nivel internacional. Posteriormente, se obtuvo información por medio de cuestionarios semiestructurados sobre las barreras técnicas, económicas, ambientales, sociales y legales, que viven las empresas constructoras, gestores, transformadores, productores de cemento, distribuidores y gobierno. Dentro de las principales barreras en común, se destacan la ausencia de financiamiento, concientización ambiental deficiente, altos costos, preferencia por materiales nuevos, entre otros. Con base en los desafíos identificados, se propusieron medidas para resolverlos.

Palabras clave: Residuos de la Construcción y Demolición, Barreras para Valorización, Medidas.

ABSTRACT

Currently, although it is true that the construction industry is key to the socioeconomic development of a country, it represents a major environmental problem, due to the unsustainability of its processes, largely derived from high energy consumption, considerable production of emissions and high generation of solid waste. Specifically, the deficiency in the recovery of construction and demolition waste (RCD), is a problem that can be addressed through the formulation of plans, measures, incentives, among others. Therefore, this research formulates measures for the valorization of four RCDs in Costa Rica. To this end, a literature review was carried out on the current situation and barriers experienced by the construction sector at the international level. Subsequently, information was obtained through semi-structured questionnaires on the technical, economic, environmental, social and legal barriers experienced by construction companies, managers, processors, cement producers, distributors and government. Among the main common barriers were the lack of financing, deficient environmental awareness, high costs, preference for new materials, among others. Based on the challenges identified, measures were proposed to resolve them.

Key words: Construction and Demolition Waste, Barriers for Valorization, Measures.

1 INTRODUCCIÓN

En el año 2018, la industria de la construcción fue consumidora del 36% de la energía final y responsable del 39% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) mundiales [1]. Aunado a ello, los procesos constructivos emplean cantidades significativas de recursos como agua, arena, grava, entre otros. Así mismo, tanto los procesos de construcción como los de demolición, generan gran cantidad y diversidad de residuos, lo cual, incrementa el impacto ambiental de esta industria [2].

Concretamente, el problema asociado a la alta generación de los Residuos de la Construcción y la Demolición (RCD), se incrementa en los países de ingresos medio-bajos, debido a la falta de recursos, experiencia y buena comunicación, lo cual rezaga al sector construcción en cuanto a la capacidad de respuesta para reducir su impacto ambiental [3].

Del mismo modo, se ha determinado que las barreras para lograr buenas prácticas relacionadas con la reducción de estos residuos, se deben a aspectos financieros, institucionales, ambientales, socio- culturales, legales y técnicos [4]. Ejemplo de ello es Costa Rica, país donde, de acuerdo con diversos estudios, se ha encontrado que la cantidad de residuos de la construcción tipo domiciliar, van desde los 24 kg m⁻² a 700 kg m⁻². A pesar de que estos datos no es posible compararlos debido a los distintos procesos constructivos, ellos reflejan el desperdicio existente en los procesos utilizados en el país [5].

Los residuos que son considerados más importantes en cuanto a cantidad de generación, corresponden a la madera (limpia y con concreto), metales (de tuberías, techos y acero de refuerzo), piezas de block y concreto, material de embalaje, pintura y otros residuos de menor cantidad [5]. Considerando lo anterior, la incorporación de aspectos ambientales en la industria de la construcción como lo son los planes de gestión, incentivos y medidas para fortalecer el reciclaje, representan un aporte de suma importancia al desarrollo sostenible [6]. De modo que, por medio de esta investigación, se pretendió determinar las barreras que existen para la valorización de al menos cuatro residuos generados (en mayor cantidad) durante los proyectos de construcción y demolición. Adicionalmente, una vez identificadas las barreras, fueron propuestas medidas para la valorización de los residuos estudiados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Determinar las oportunidades para la valorización de cuatro residuos ordinarios provenientes de la construcción y demolición en Costa Rica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar la situación actual sobre la valorización del concreto, madera, metales y empaques de materiales cementicios.
- Identificar las barreras para la valorización de los residuos estudiados.
- Proponer opciones de valorización para los residuos estudiados.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR CONSTRUCCIÓN

2.1.1 Industria de la construcción en el mundo

El sector construcción corresponde a uno de los más influyentes en el desarrollo de la sociedad, lo cual se ve reflejado en la fracción que representa dentro del Producto Interno Bruto (PIB) de cada nación. Esta industria, transforma una serie de recursos en infraestructura económica, social y ambiental. Así mismo, es una fuente de trabajo de suma importancia, ya que provee el 7% del empleo mundial, lo cual se traduce a 220 millones de personas que laboran para este sector [7].

Se puede observar en el Cuadro 2.1.1.1, los principales aportes del sector construcción al PIB de algunas regiones del mundo. Es importante destacar que, producto de las variaciones de la economía mundial, la industria de la construcción tiende a mostrar un comportamiento inestable. A manera de ejemplo, en el periodo 2008-2010, se dio una reducción del 15% en la producción, como consecuencia de la crisis económica de ese entonces [7].

Cuadro 2.1.1.1. Aporte de las distintas regiones al PIB mundial en porcentaje.

Región	Aporte del sector construcción (% en PIB)
Asia del sur	6,2
Latinoamérica y el Caribe	6,1
Asia del este y Pacífico (excepto China)	5,7
África Sub-Sahariana	4,4
Europa	5,1
Total (108 países)	5,6

Fuente: International Labour Organization (ILO) [7].

Más allá del papel importante que el sector construcción representa en la economía mundial, este ha llegado a ser considerado como una industria insostenible, debido a su baja productividad, a pesar del alto consumo energético y grandes emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que generan los procesos constructivos [8]. Para el año 2018, fue el consumidor del 36% de la energía final y el responsable del 39% de las emisiones mundiales de CO₂ [1].

Este comportamiento insostenible se refleja especialmente en Estados Unidos y en algunos países desarrollados, donde el sector emite alrededor del 40% del CO₂, a su vez que desperdicia cerca del 57% de insumos o recursos [8]. De forma similar, de acuerdo con la Comisión Europea, para el año 2014 la industria de la construcción y edificaciones (las cuales se definen como construcciones orientadas a actividades de tipo habitacional, trabajo, almacenamiento, entre otras [9]), representaron el 50% de los recursos extraídos, 50% del consumo energético, 25% de consumo de agua y el 25% de los residuos totales producidos [10].

2.1.2 Industria de la construcción en Latinoamérica y el Caribe

La región de Latinoamérica y el Caribe, representa el 8,4% de la población mundial, misma que es responsable de contribuir en un 6,2% al PIB global. Si bien es cierto que durante el periodo 2018-2019 hubo una reducción en el crecimiento de la economía, se proyecta que para el periodo comprendido entre el 2020-2024, el PIB crezca en un 4,2% en esta región [11]. Con respecto a la incidencia del sector construcción en la economía, se estima que países como México, Argentina y Brasil, son los principales inversionistas en infraestructura, seguidos por Bolivia, Costa Rica, Honduras, Nicaragua, Panamá y Perú, los cuales invierten más de 4% del PIB al año [12].

Como consecuencia del acelerado crecimiento poblacional, los habitantes tienden a demandar una mayor calidad en los servicios, viviendas y un aumento en los niveles de confort [13]. Según el Banco Mundial [14], si bien la población urbana exige una mejor calidad de vida, las ciudades de los países latinoamericanos tienden a presentar desafíos como la ausencia de infraestructura pública, expansión y fragmentación de zonas urbanas y asentamientos informales, los cuales tienden a localizarse en terrenos considerados vulnerables. Resulta importante destacar que, esto se deriva en gran medida de los altos niveles de informalidad en la industria de la construcción e incluso, la autoconstrucción que se experimenta regularmente [1].

Por otra parte, algunos países cuentan con valiosos recursos minerales y naturales, por lo que suelen existir industrias dedicadas a la extracción y manufactura para el aprovechamiento de estos. Tales procesos, al representar una fracción importante en la

economía, suelen realizarse de manera intensiva, por lo que son grandes consumidores del recurso energético [13].

Si bien es cierto que el crecimiento del sector construcción es beneficioso en términos socioeconómicos, en aspectos ambientales, representa un problema actualmente. De acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) [1], para el 2019, los edificios consumieron cerca del 24% del consumo de la energía final de Latinoamérica y alrededor del 21% de las emisiones de CO₂, provienen de procesos relacionados con el sector construcción.

2.1.3 Industria de la construcción en Costa Rica

En los últimos años, el sector construcción ha experimentado una recesión económica considerable en el territorio costarricense. De acuerdo con la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC), para el año 2019, la economía en esta industria decayó en un 8,3%, lo cual se vio influenciado por una disminución en la producción del sector privado, producto de la ausencia de confianza tanto por parte de los inversionistas como de los consumidores. Aunado a ello, el sector público llevó a cabo una menor cantidad de proyectos en las áreas de infraestructura vial, hospitalaria, de agua y saneamiento [15].

Esta situación empeoró para el año 2020, donde se experimentó un decrecimiento del 10,5% como consecuencia de la pandemia por COVID-19, la cual impactó notablemente sobre la economía nacional. Ejemplo de ello, son la cantidad de metros cuadrados tramitados que se solicitaron para el año 2020 comparados con los del 2019. Se estima que para el 2020, fueron alrededor de 5 652 255 m², lo que se traduce a un 25,9% menos de la cantidad del 2019 [15].

No obstante, se pronosticó que para el año 2021, el sector construcción aumentaría en un 2,1%, y para el 2022 en un 4,4%, pues se prevé una mejora en el crecimiento de la infraestructura pública, especialmente vial y la relacionada con el recurso hídrico. Bajo esa misma tendencia, se espera que las obras privadas incrementen a medida que los inversionistas recobren la confianza económica [15].

Con base en datos estimados por el Banco Central de Costa Rica (BCCR), para el periodo 2021-2022, el aporte al PIB por parte de la industria de la construcción será del 3,9% [15]. La Figura 2.1.3.1. muestra las proyecciones mencionadas.

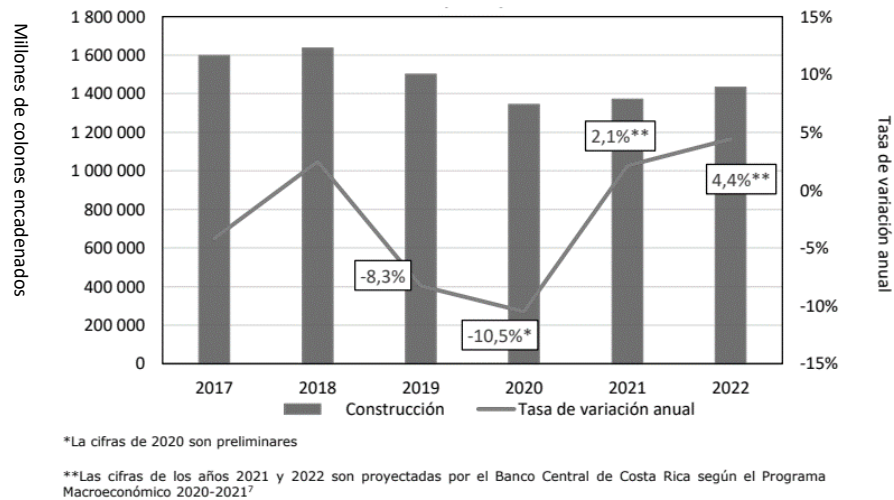


Figura 2.1.3.1. PIB Construcción a precios constantes en niveles de millones de colones encadenados y tasas de variación anual para el periodo 2017-2022.
Fuente: CCC [15].

Ahora bien, en cuanto al tipo de construcciones que se tramitaron ante el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA) durante el 2019, se destaca la categoría de vivienda, industria, comercio, oficinas, entre otros. En el Cuadro 2.1.3.1, se detallan los m² tramitados por tipo de edificación.

Cuadro 2.1.3.1. Área de construcción tramitada ante el CFIA por tipo de edificación para el año 2019.

Categoría	m ² tramitados	Subcategoría	m ² tramitados
Vivienda	3 508 209	Vivienda unifamiliar	2 915 039
		Condominios	539 170
Industria	672 912	Bodegas	665 554
		Edificios industriales	7 358
Comercio	2 207 199	Edificios comerciales	1 961 218
		Hoteles	245 981
Oficinas	667 782	Oficinas comerciales	511 423
		Oficinas institucionales	156 359
Otros	568 827	Edificios institucionales	119 784
		Salud	91 362
		Sitios de reunión pública	357 681
Total	7 624 929	Total	7 624 929

Fuente: Adaptado de CCC [15].

2.2 RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN

De acuerdo con la Ley para la Gestión Integral de Residuos N° 8839 de Costa Rica, un residuo corresponde a “un material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él, y que puede o debe ser valorizado o tratado responsablemente o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados” [16].

De modo que, es posible definir a los residuos de la construcción como los materiales de construcción, mejora de sitio y otros residuos sólidos producto de las operaciones de construcción, remodelación, renovación o reparación, incluyendo empaques. Se excluyen de esta definición, los residuos de construcción producto de la limpieza del terreno [17].

De manera concreta, se puede decir que los residuos de la construcción y demolición (RCD), corresponden a residuos sólidos inertes, los cuales poseen gran cantidad y complejidad en su composición, por lo que no es posible considerarlos como residuos ordinarios urbanos (tanto domiciliario como comercial) [18],[19]. Estos se encuentran constituidos principalmente por tierra, materiales granulares, piedras, desechos de concreto, plástico, madera, yesos, vidrio, acero de refuerzo, cartones, entre otros [19]. Otros autores, además de los residuos mencionados, incluyen como RCD al asfalto, tablas de gypsum y techo herrumbrado [20].

Los RCD son considerados de gran volumen en comparación a otros tipos de residuos y su composición a menudo es única debido a que depende de las técnicas de construcción, tipos de edificios, países, actores (los cuales van desde grandes compañías hasta hogares), entre otros. A pesar de ello, se han hecho esfuerzos para poder clasificarlos [21-24].

2.2.1 Clasificación de los residuos de la construcción

El análisis para determinar la composición de los residuos, es importante para el manejo adecuado de los mismos [24], por lo que algunos países desarrollados han realizado una clasificación de estos residuos en su territorio. En el Cuadro 2.2.1.1, se detallan los residuos categorizados según país.

Cuadro 2.2.1.1. Resumen de categorías para los residuos de la construcción según país.

Categoría	Unión Europea	Inglaterra	Estados Unidos
Asfalto	x	x	x
Tierra	x	x	x
Trabajo eléctrico			x
Aislantes	x	x	x
Ladrillo y concreto	x	x	x
Acero	x	x	x
Cemento		x	
Pintura		x	x
Papel			x
Petróleo		x	x
Techos			x
Vinil			x
Gypsum	x		x
Madera	x	x	x
Madera contaminada			x
Gomas y empastes		x	
Diversos			x

Fuente: Adaptado de Luangcharoenrat et al. [24].

En Costa Rica, según la Comisión Verde de la CCC, los RCD se pueden clasificar como residuos valorizables y no valorizables. Así mismo, se pueden clasificar en ordinarios y peligrosos. Con respecto a los ordinarios, están compuestos por metales (tuberías de acero, marcos y cielo raso de aluminio), bolsas de cemento (empaque), cable eléctrico, cartón, cerámica, cobre (tuberías), concreto, concreto armado (concreto con piezas de hierro), estereofón, herramientas (equipo de trabajo), hierro, ladrillos, láminas corrugadas (material corrugado de zinc), latón y bronce (elementos de cerrajería), madera (mezclada y limpia), material aislante, material vegetal (tierra, material de remoción de tierras), melamina, papel, plástico (empaque), residuos de piedras naturales, mármol y granito, residuos de Policloruro de Vinilo (PVC), residuos de yeso, mortero de pega, repello, fragua, vestuario (zapatos, ropa, cascos) y vidrio [25].

En cuanto a los residuos peligrosos identificados corresponden a: ácidos, disolventes, detergentes, aditivos para el concreto, desencofrantes, envases de aceites, lubricantes, líquidos de frenos, combustibles, envases metálicos y plásticos de pintura, madera tratada con compuestos químicos, pintura, residuos de asbestos, residuos de asfalto, residuos de fibra de vidrio, residuos de paredes livianas (gypsum), residuos de soldadura, silicón y otros selladores, suelo contaminado, trapos, brochas y otros utensilios que contienen productos químicos utilizados para limpieza de superficies y equipos y tubos fluorescentes [25].

2.2.2 Cantidad de generación según tipo de residuo

El crecimiento urbano acelerado y los procesos de reconstrucción de las ciudades han sido los responsables de uno de los flujos de residuos más grandes a nivel mundial. De acuerdo con algunos estudios, se ha estimado que los RCD representan entre el 30-40% del total de residuos generados [26].

La cuantificación de estos residuos es clave para su adecuada gestión y para lograr la sostenibilidad en el sector construcción. Así mismo, la identificación de las causas generación, el establecimiento de estrategias para la valorización y disposición, y la determinación de su valor en el mercado, son aspectos de gran importancia [26], los cuales se abordarán con mayor profundidad en apartados posteriores.

Generación de residuos de la construcción a nivel mundial

En esta sección, se abordarán tres casos de estudio realizados en algunas regiones del mundo, en las cuales se determinó, la cantidad de RCD generados de acuerdo con su clasificación.

- *Estados Unidos (USA, por sus siglas en inglés):*

La cantidad de RCD generados en USA a partir de estimaciones realizadas para el año 2018 por la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), se puede apreciar en el Cuadro 2.2.2.1. En el caso de la categoría de “otros”, esta se refiere a RCD producidos en actividades de comunicación, energía, transporte, alcantarillado, eliminación de desechos, suministro de agua, conservación, desarrollo e infraestructura de manufactura [27].

Cuadro 2.2.2.1. Cantidad de generación de RCD en USA para el 2018 (en millones de toneladas).

RCD	Edificios	Carreteras y puentes	Otros
Concreto	102,0	168,3	134,9
Productos de madera	39,5	0,0	1,3
Yeso y panel de yeso	15,2	0,0	0,0
Acero	4,7	0,0	0,0
Ladrillos y tejas de arcilla	12,3	0,0	0,0
Tejas de asfalto	15,1	0,0	0,0
Concreto asfáltico	0,0	107,0	0,0
Total	188,8	275,3	136,2

Fuente: EPA [27].

Un año más tarde y a menor escala, Bakchan y Faust [28], realizaron un estudio para cuantificar la cantidad de RCD generados durante la construcción de un edificio universitario en Texas, USA. En esta investigación, se consideró como cantidad de RCD, al peso de materiales durante el proceso de construcción antes de ser reciclados y dispuestos finalmente.

De tal estudio, se determinó que los residuos generados en mayor cantidad fueron el concreto (48,5%), madera (40,7%), no valorizable (7,1%), metales (2,1%), papel/cartón (1,2%), plástico (0,3%) y otros (0,1%). Cabe destacar que, la composición porcentual tiende a variar en proyectos de tipo no residencial, ya que se encuentra condicionado a factores como ubicación geográfica, técnicas estructurales y constructivas [28].

Así mismo, se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en el estudio y valores reportados en la literatura, los cuales se pueden observar en el Cuadro 2.2.2.2.

Cuadro 2.2.2.2. Porcentaje de composición de RCD en algunas regiones del mundo.

Tipo de edificación	Localización geográfica	Porcentaje de composición (%)							
		Concreto	Albañilería (bloques de cemento, ladrillos y cemento de albañilería)	Madera	Tablero, gypsum y yeso	Metales	Techado de asfalto	Plástico	Papel/cartón
<i>Residencial y no residencial</i>									
Bakshan et al. [29]	Líbano	23,00	17,44	11,50	-	3,30	-	-	-
Bersgdal et al. [21]	Noruega	45,80		13,67	6,25	1,32	-	4,50	
Kofoworola y Gheewala [30]	Tailandia	46,00		14,00	6,00	1,00	2,00	5,00	
Martínez et al. [31]	España	29,30	-	5,40	3,60	8,80	-	3,80	3,40
Sandler [32]	USA	40,00-50,00	1,00-5,00	20,00-30,00	5,00-15,00	1,00-5,00	1,00-10,00	1,00-5,00	-
Zhao et al. [33]	Chongqing, China	14,00	23,00-29,00	15,00	-	2,50	-	-	4,00
<i>No residencial (general)</i>									
Cochran et al. [34]	Florida, USA	64,00	-	10,00	11,00	3,00	-	-	1,00
<i>No residencial (Institucional)</i>									
Begum et al. [35]	Malasia	65,80	1,60	5,00	-	1,00	0,20	0,05	
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [36]	Portland, Oregon, USA	-	-	20,50	-	-	-	-	19,30
<i>Intervalo total</i>		14,00-65,80	1,00-46,00	5,00-30,00	3,60-15,00	1,00-8,80	0,20-10,00	0,05-5,00	0,05-19,30
Bakchan y Faust [28]	Texas, USA	48,50		40,70	-	2,10	-	0,30	1,20

Adicionalmente, se determinó la tasa de generación de estos residuos (WGR_i , por sus siglas en inglés o IGR, índice de generación de residuos), la cual representa la cantidad de residuos por metro cuadrado de área de construcción. Las categorías de residuos con mayor tasa de generación fueron: concreto, madera, metales y papel/cartón, con tasas equivalentes a $33,61 \text{ kg m}^{-2}$, $28,21 \text{ kg m}^{-2}$, $1,27 \text{ kg m}^{-2}$ y $0,82 \text{ kg m}^{-2}$, respectivamente [28].

- *China:*

En este caso, se analizó la producción de RCD en diversas regiones del país y se determinó que, la cantidad de estos residuos fue alrededor de 2,36 billones de toneladas entre el 2003-2013, donde de ese valor, el 97% correspondió únicamente a residuos por demoliciones y el 3% a construcciones [18]. En el Cuadro 2.2.2.3, se detallan las tasas de generación de acuerdo con la categoría de RCD producidos en China.

Cuadro 2.2.2.3. Tasa de producción de RCD en kg m^{-2} generados en China.

Categoría	WGR_C (kg m^{-2})	WGR_D (kg m^{-2})
Metal	3,53	97,93
Concreto	18,03	674,69
Mortero	1,45	109,96
Ladrillo/block	1,75	308,90
Cerámica	-	146,72
Madera	6,35	26,01
Otros (vidrio, plástico, aislantes, mezcla de fragmentos)	3,11	54,37
Total	34,21	1 360,22

WGR_C : Tasa de producción de residuos de la construcción.

WGR_D : Tasa de producción de residuos de la demolición.

Fuente: Adaptado de Zheng et al. [18].

Es posible inferir que, al igual que el caso anterior, en el proceso constructivo los residuos que más se generan corresponden al concreto, metal, madera, entre otros.

- *Bangladesh:*

La industria de la construcción ha crecido de forma acelerada en Bangladesh, lo cual se ha visto reflejado en la rápida expansión que han tenido las zonas urbanas en este país. De acuerdo con estimaciones realizadas por el Banco Mundial para el periodo comprendido entre el 2000-2010, Bangladesh fue el más rápido entre los países del sur de Asia en migrar a la urbanización, con un aumento del 28% en el desarrollo de zonas urbanas [26].

Consecuencia de lo anterior, en una investigación realizada para la cuantificación de los RCD en Dhaka (capital de Bangladesh), se determinó que, para el año 2016, fueron

producidas 1,28 millones de toneladas de este tipo de residuos. Así mismo, las tasas de generación para la fase de construcción y demolición fueron de 63,74 kg m⁻² y 1 615 kg m⁻², respectivamente [26]. De manera más detallada, en el Cuadro 2.2.2.4., se indican las tasas de generación de RCD acorde al tipo de residuo.

Cuadro 2.2.2.4. Tasas de generación de RCD en la ciudad de Dhaka, Bangladesh.

Residuo	WGR (kg m⁻²)
Concreto	235,37
Ladrillo	83,06
Mortero	35,97
Metal	33,13
Madera	13,03
Otros (vidrio, cerámica, plástico, aluminio, cobre y fragmentos mezclados)	21,05

Fuente: Adaptado de Islam et al. [26].

Generación de residuos de la construcción en América Latina

A nivel latinoamericano tal como se ha analizado anteriormente, la industria de la construcción favorece tanto de manera directa como indirecta el desarrollo de los países. No obstante, así como en otras regiones del mundo, América Latina genera un alto volumen de RCD. De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Asociación Internacional de Residuos Sólidos (UNEP- ISWA, por sus siglas en inglés) [37], en esta región, el control y reportes sobre estos residuos no se realizan con regularidad. A pesar de ello, algunos países se han comprometido a cuantificar los RCD generados en su territorio. A continuación, se describen dos casos:

- *Colombia:*

En Colombia, la industria de la construcción se ha posicionado de manera activa. En efecto, su relevancia en los temas de aporte a la economía, generación de empleo, política pública relacionada con vivienda, así como su importante relación con el sector comercial e industrial, no han hecho más que consolidar la industria de la construcción como un eje central para la inversión estatal y privada [38].

Como se ha visto, producto del crecimiento acelerado del sector, se han generado mayor cantidad de RCD. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [39], en el territorio colombiano son generadas 22 millones de toneladas de RCD por año, lo

cual representa un 40% de los residuos totales que se producen en el país. Así mismo, la literatura ha reportado que cerca del 20% de los insumos requeridos, son desperdiciados.

La problemática de la generación de los RCD en las ciudades de Colombia tiende a ser semejante, no obstante, se dice que dicha tendencia se encuentra condicionada a la cantidad de habitantes de cada ciudad, por lo que, para el caso de Medellín, Cali y Bogotá, las cuales tienen más de dos millones de habitantes, la situación se complica aún más [40].

Sin embargo, en las regiones donde la población no es mucha, también se está evidenciando la rápida urbanización y con ello, la generación de RCD [40]. Tal es el caso de la ciudad de Villavencio, donde las construcciones de tipo residencial generan aproximadamente $0,144 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ de RCD y los edificios de tipo comercial, producen alrededor de $0,080 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ de RCD [41]. Así mismo, en un estudio realizado por Suárez et al. [42], se determinaron los tipos de residuos generados por algunas empresas constructoras. En la Figura 2.2.2.1, es posible observar el porcentaje de RCD obtenido en ese último estudio según categoría.

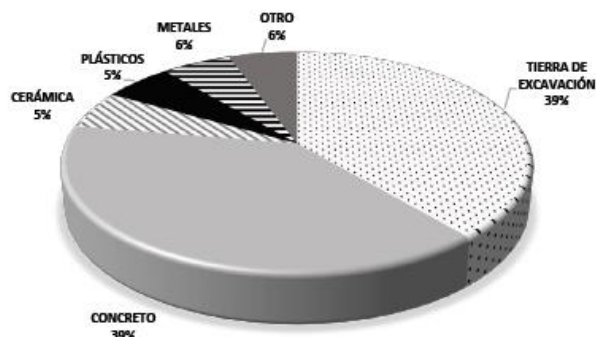


Figura 2.2.2.1. Porcentaje de RCD generados por empresas constructoras consultadas en la ciudad de Villavencio, Colombia.

Fuente: Suárez et al. [42].

Por otro lado, en un estudio realizado en Barranquilla, se comprobó que la media de producción de RCD es de $48,2 \text{ m}^3$ por semana [43]. En la Figura 2.2.2.2, se muestra la composición porcentual de RCD generados en esta ciudad.

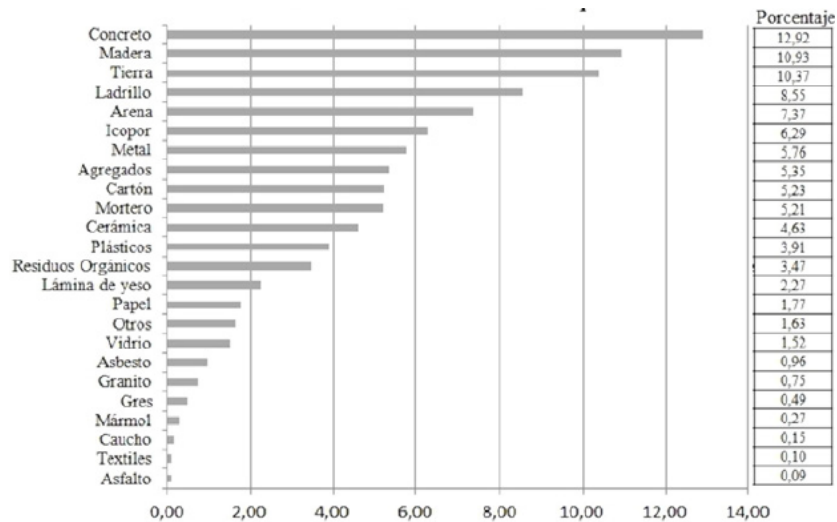


Figura 2.2.2.2. Generación de RCD semanal en la ciudad de barranquilla en porcentaje.
Fuente: Pacheco et al. [43].

- *México:*

En México, la industria de la construcción es considerada la sexta industria o sector que más contribuye al valor agregado de la producción nacional y es la cuarta que más empleo genera. Es importante destacar que, a su vez, es el sector que contrata mayormente mano de obra no calificada. Así mismo, de acuerdo con la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), el sector impacta positivamente en la producción nacional por medio de 63 de las 79 ramas de actividades productivas, ya que, por ejemplo, requiere insumos de otras industrias como la metalúrgica, cementera, maderera, entre otros [44].

Por otra parte, producto de sus actividades productivas y la utilización de materias primas, la CMIC elaboró un plan para el manejo adecuado de los RCD, donde se cuantificaron 6 millones de toneladas de este tipo de residuos [44], las cuales, en términos de composición, se detallan en el Cuadro 2.2.2.5.

Cuadro 2.2.2.5. Clasificación y estimación de RCD en México para el año 2011.

Grupo	Subproducto	Incidencia (%)	Participación (Miles ton)
Material de excavación	Material para relleno	39	2 381
Concreto	-Concreto: bases y concretos hidráulicos, adocretos, adopastos, bordillos, postes de cemento, arena, morteros	24	1 482
	-Asfalto: carpetas asfálticas	0,3	15
Elementos mezclados, prefabricados y pétreos	Piedra, bloques, ladrillos, mortero, adoquines, mampostería, entre otros	24	1 456
Otros	Yeso, madera, cerámica, plástico, metales, lámina, vidrios, papel y cartón	12	746
Residuos sólidos urbanos	Residuos sólidos urbanos		
Residuos orgánicos producto del despalme	Hojas, ramas, troncos y raíces		
Total		100	6 080

Fuente: Adaptado de CMIC [44].

Aunado a la cuantificación de RCD, se proyectaron dos escenarios para el periodo 2014-2018. El primero de ellos, correspondió al tendencial, donde se previó un aumento del sector construcción del 3,5%, el cual produciría un estimado de 9,2 millones de toneladas en el año 2018. El segundo escenario, fue el pronosticado por la CMIC, donde se estimó un crecimiento de la industria del 5,0%, que generaría para el año 2018, alrededor de 9,9 millones de toneladas de RCD [44].

Generación de residuos de la construcción en Costa Rica

En Costa Rica, los estudios acerca de la generación de RCD son limitados. De acuerdo con Ramírez [45] y Villalobos [46], se estima que el índice de generación de este tipo de residuos por área, va desde los 300 a 700 kg m⁻². Posteriormente, en una investigación realizada por Leandro [19], se analizaron tres proyectos constructivos (dos de tipo residencial y uno comercial), donde el índice de generación promedio fue de 100 kg m⁻² [19].

De forma similar, en dos investigaciones realizadas por van Twillert [47] y Abarca et al. [48], en las cuales se llevaron a cabo visitas de campo, cuestionarios y entrevistas a empresas constructoras, se determinó que los residuos que más se producen se pueden

clasificar en dos categorías principales: madera (limpia y mezclada con cemento) y metales (tuberías para suministro de agua, láminas onduladas de techo de zinc y hierro reforzado).

Una de las limitantes en común de estos estudios, corresponde a la cuantificación exacta de los RCD generados, ya que no fue posible obtenerla debido a que las empresas constructoras no documentan tal información pues no forma parte de un requisito legal [49]. A pesar de lo anterior, fue posible determinar la cantidad de generación por unidad de área constructiva para los distintos proyectos analizados. En el Cuadro 2.2.2.6, se detalla más al respecto.

Cuadro 2.2.2.6. Generación de RCD por proyecto constructivo.

Proyecto	Área (m ²)	Residuos (m ³)	Número de camiones	kg	kg m ⁻²
1	100	24	4	43 200	168
2	195	36	3	64 800	129
3	1 504	15	3	27 000	7
4	83	6	1	10 800	50
5	1 000	100	8	180 000	70

Fuente: van Twillert [47], Abarca et al. [48].

Finalmente, con base en los resultados de ambos estudios, se determinó que el índice de generación fue de 100 kg m⁻². Este valor, se encuentra por encima de los índices de generación reportados en la literatura para el caso de los países desarrollados [49]. En la Figura 2.2.2.3, se amplían los RCD generados según las empresas que participaron en el estudio.

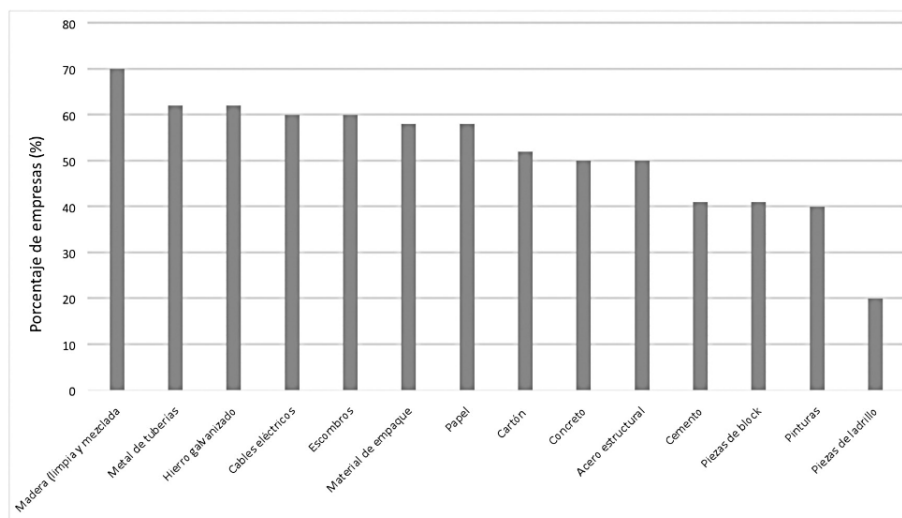


Figura 2.2.2.3. Residuos de la construcción reportados por las empresas participantes.

Fuente: van Twillert [47], Abarca et al. [48].

En la práctica, es común que los residuos sean mezclados, por lo que, de acuerdo con lo reportado, solamente el 50% de las empresas participantes (en la medida de lo posible), los separan. Dentro de los residuos que más suelen separarse, se destacan la madera, metales y materiales mezclados [50].

Así mismo, en un estudio más reciente realizado por Angulo [51], se analizaron dos casos de proyectos constructivos de tipo domiciliario por medio de visitas de campo, en los cuales se determinó la cantidad de generación de RCD empleando las buenas prácticas establecidas en la Guía Manejo Eficiente de Materiales de Construcción [25].

El primer proyecto se ubica en Santa Ana, San José, Costa Rica y consiste en una vivienda de 353 m². El segundo, corresponde a una vivienda ubicada en San Carlos, Alajuela, Costa Rica, con un área de 88 m². En ambos casos, se determinó la cantidad de RCD producidos específicamente en las fases de obra gris y acabados [51].

En la Figura 2.2.2.4, se muestran los porcentajes de generación obtenidos para cada residuo tipo no peligroso producido en el proyecto de Santa Ana. Es importante aclarar que, esta investigación se limitará a mostrar los RCD no peligrosos de ambos casos, sin embargo, en el estudio se encuentran disponibles los datos relacionados con los RCD de tipo peligroso.

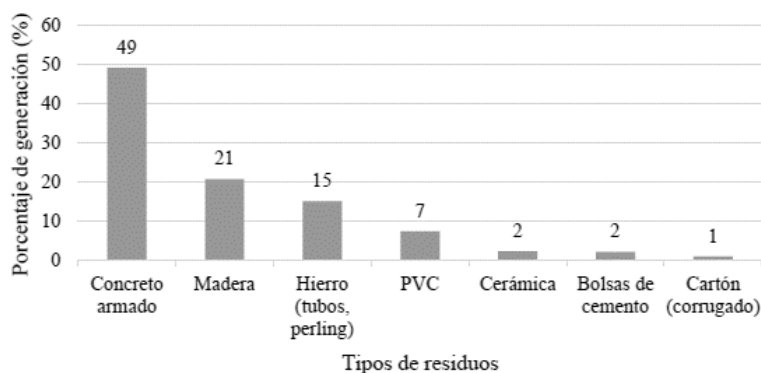


Figura 2.2.2.4. Porcentaje de generación de residuos no peligrosos en la obra de Santa Ana, San José, Costa Rica. Fuente: Angulo [51].

De acuerdo con Angulo [51], en la obra realizada en Santa Ana la mayoría de los residuos no peligrosos generados, corresponden al concreto armado (49%), el cual a la fecha no se recicla en Costa Rica. Así mismo, se produjo considerablemente madera limpia (21%) y hierro (15%). En el caso de este último material sí se recicla, pero los residuos de madera si no son manipulados adecuadamente, la reutilización se dificulta y en la actualidad no se

han detectado empresas recicladoras de madera. Para el segundo caso, en la Figura 2.2.2.5, se detallan los porcentajes de generación de RCD no peligrosos [51].

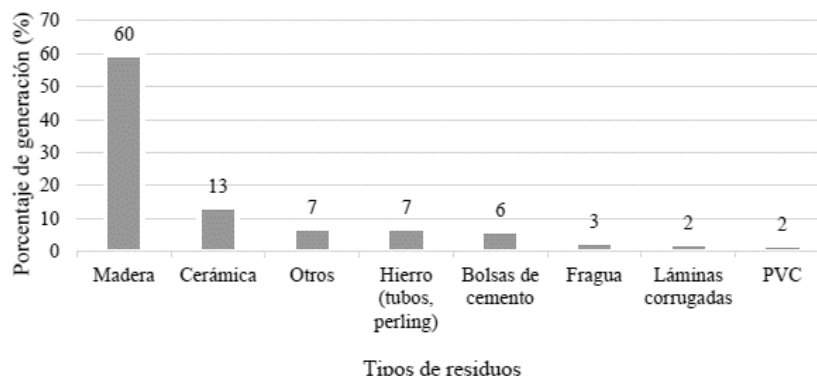


Figura 2.2.2.5. Porcentaje de generación de residuos no peligrosos en la obra de San Carlos.
Fuente: Angulo [51].

A partir de lo anterior, en la investigación se determinaron los índices de generación para ambos casos, los cuales se muestran en el Cuadro 2.2.2.7. Uno de los aspectos más relevantes de esta investigación, es que, en el proyecto localizado en San Carlos, los colaboradores implementaron en su mayoría la guía anteriormente mencionada, por lo que sí hubo una reducción de RCD generados [51].

Cuadro 2.2.2.7. Generación de RCD de dos proyectos constructivos de tipo domiciliar.

Ubicación geográfica	Área (m ²)	Cantidad de RCD (kg)	Índice de generación (kg m ⁻²)
Santa Ana, San José, Costa Rica	353,00	13 838,14	32,20
San Carlos, Alajuela, Costa Rica	88,00	902,78	10,26

Fuente: Angulo [51].

2.3 GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN

La gestión integral de residuos, de acuerdo con la Ley para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) N° 8839 de Costa Rica, corresponde a un “conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final [16]. Esta ley, establece la jerarquía mostrada en la Figura 2.3.1 para llevar a cabo la GIRS:

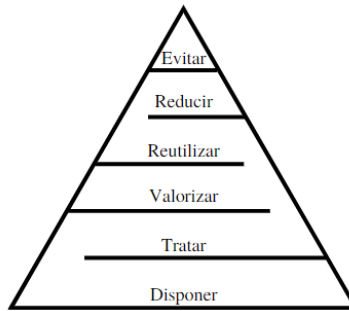


Figura 2.3.1. Jerarquización para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS).
Fuente: Adaptado de Asamblea Legislativa [16].

Así pues, de acuerdo con Napier [52], la gestión de RCD corresponde a una práctica destinada al reciclaje y reutilización de recursos limitados y agotados, de una forma sostenible. En los proyectos constructivos, los residuos que se generan deben ser la menor cantidad posible y, en caso de que se produzcan, debido al manejo inadecuado, rotura, planificación ineficiente, contaminación o errores durante el proceso, deben gestionarse adecuadamente con el fin de poderse aprovechar como otros productos, por medio de la recuperación, reutilización o reciclaje [53].

No obstante, de acuerdo con Dalla [54], dado que la gestión de los RCD es considerada como una actividad complementaria en la construcción, no es común que se practique, monitoree o evalúe, lo que repercute negativamente en la optimización de los procesos, por lo que se suelen obtener resultados deficientes que no cumplen con la legislación aplicable existente en los países.

En ese sentido, producto de la gestión inadecuada de los RCD, los costos del proyecto asociados a la incineración y vertido tienden a aumentar [53]. Por lo tanto, al evitar disponer estos residuos en rellenos sanitarios, se reducen los costos de recolección, operación y monitoreo de gas y lixiviados. Es importante destacar que, si bien es cierto los rellenos sanitarios no son la solución ambiental más eficiente, su impacto sería menor si los RCD dejaran de disponerse en estos sitios [55].

Otro aspecto ambiental importante que se debe considerar, es que se ha determinado que los RCD no son siempre inertes, ya que, con las lluvias se genera lixiviado que puede afectar la calidad de agua subterránea debido a las sustancias químicas que lo componen. Así mismo, cuando en un relleno sanitario se disponen láminas o paneles de yeso, las bacterias son capaces de transformar el sulfato en sulfuro de hidrógeno, el cual se caracteriza por tener

un olor desagradable, generar la muerte en altas concentraciones y producir daños crónicos a la salud [55].

Así pues, la alta generación de los RCD resulta un problema a la vez que representa un vacío para la ciencia. Por lo anterior, es de suma relevancia el desarrollo e implementación de herramientas para gestionar y minimizar el impacto ambiental que representan estos residuos, sin entorpecer los procesos y la economía [56]. Gestionar adecuadamente los RCD tanto ordinarios como peligrosos, puede representar un gran aporte a la sostenibilidad, calidad de vida y a la industria de la construcción, pues estimula la demanda de materiales reciclados [57].

En consecuencia, la EPA ha desarrollado distintos procedimientos para los proyectos de construcción y demolición, esto con el fin de implementar buenas prácticas en sitio y con ello, lograr la minimización y control de los RCD de una manera eficiente. Así mismo, controlar efectivamente la gestión de RCD al evitar la disposición en rellenos sanitarios, ayuda a conservar la vida útil de diseño del sitio, disminuye el impacto ambiental relacionado con la producción de nuevos materiales, genera empleos y como ya se mencionó, los costos del proyecto se reducen [53].

2.3.1 Gestión de los residuos de la construcción en el mundo y Latinoamérica

En algunos países, como es el caso de Estados Unidos, se estableció el Plan de Gestión de Residuos de la Construcción (CWMP, por sus siglas en inglés), el cual pretende evitar en la medida de lo posible la disposición de los RCD en un relleno sanitario. Como consecuencia, las organizaciones deben presentar el plan para la gestión de estos residuos, donde se incluya un programa de reciclaje o reutilización, con el fin de desviar un mínimo del 95% (en peso) de RCD que iban a disponerse en relleno sanitario [17].

Adicionalmente, la EPA realiza evaluaciones a partir de las tendencias de generación y gestión de materiales. A manera de ejemplo, para el año 2018, de un total de 600 millones de toneladas, el 52% de los RCD fue utilizado como agregado, 24% fueron dispuestos en relleno sanitario, 22% para uso de productos manufacturados, 1% utilizados como combustible y menor al 1%, para enmienda de suelo (excepto compostaje), compostaje y mulch [27]. En el Cuadro 2.3.1.1, se detallan la cantidad de RCD y su destino como una fracción de la cantidad total producida para el año en cuestión.

Cuadro 2.3.1.1. Gestión de RCD y destino para el año 2018 (en millones de toneladas).

Tipo de RCD	Relleno sanitario	Compost y mulch	Productos manufacturados	Agregados, otros	Combustible	Enmienda de suelo	Total, próximo uso
Concreto	71,2	0,0	32,8	301,2	0,0	0,0	334,0
Madera	29,6	2,5	1,2	0,0	7,5	0,0	11,2
Paneles de yeso	13,2	0,0	0,2	0,0	0,0	1,9	2,1
Metal	1,1	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	3,6
Ladrillo y tejas de arcilla	10,8	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	1,5
Tejas de asfalto	13,0	0,0	2,0	0,1	0,02	0,0	2,1
Concreto asfáltico	4,9	0,0	91,8	10,3	0,0	0,0	102,1
Total	143,8	2,5	131,6	313,1	7,5	1,9	456,6

Fuente: Adaptado de EPA [27].

Tal como se muestra en el cuadro anterior, el uso en productos manufacturados representó el segundo uso principal para los residuos de concreto asfáltico y metales. Además, el agregado fue el principal uso de los residuos de concreto y en el caso de los rellenos sanitarios, representaron el principal destino para la madera, tejas de asfalto, paneles de yeso, ladrillos y tejas de arcilla [27].

Bajo esa misma tendencia, para los países de la Unión Europea existe legislación esencial para la gestión de los RCD, la cual corresponde a la Directiva Marco para Residuos, en ella se definen los conceptos claves relacionados con la gestión de estos residuos. Así mismo, instó a los países miembros a alcanzar el objetivo de que para el 2020, se recuperaran el 70% de los RCD [58].

Adicionalmente, en el Plan de Acción de Economía Circular (CEAP, por sus siglas en inglés), se establecen propuestas para transformar la economía lineal en circular, por medio de tomar en consideración las materias primas secundarias, así como la conservación del valor que tienen los residuos al finalizar su vida útil, a través de la reutilización y el reciclaje [58].

Los esfuerzos realizados en la Unión Europea han sido notorios, ya que para el año 2018, la tasa de recuperación de residuos minerales de construcción y demolición preparados para la recuperación, reutilización, reciclaje y operaciones de relleno fue del 88%. Cabe destacar que, para estas estimaciones no se consideraron los residuos peligrosos [59].

Uno de los países miembros que ha evidenciado el compromiso por gestionar adecuadamente los RCD, es Alemania. De acuerdo con la Oficina Federal de Estadística (DESTATIS, por sus siglas en alemán) [60], entre el 2015-2016 se logró reciclar el 88% de estos residuos. En el Cuadro 2.3.1.2, se detallan los RCD gestionados en Alemania para año 2016.

Cuadro 2.3.1.2. Cantidad de RCD gestionados en Alemania en año 2016.

Tipo de RCD	2016 (en 10 ³ Mg*)			
	Total	Eliminado ^a	Reciclado ^b	Reciclado (%)
RCD	222 776	25 648	197 128	88
Residuos peligrosos	8 211	3 724	4 486	50
Residuos no peligrosos de los cuales:	214 565	21 924	192 642	89
Suelo original, piedras y material de dragado	127 644	18 970	108 673	85
Residuos peligrosos	2 488	1 545	943	38
Residuos no peligrosos	125 156	17 425	107 731	86
Concreto, losa y cerámica	59 205	4 083	55 122	93
Material con asfalto	19 513	1 400	18 113	92
Otros	16 414	1 194	15 219	84

^a Relleno sanitario e incineración (sin recuperación de energía).

^b Incineración (con recuperación de energía) y reciclaje/ reuso del material.

*Un Mg equivale a 1000 kg.

Fuente: Adaptado de DESTATIS [60].

Por otra parte, en la región latinoamericana, concretamente en Brasil, producto de la gestión inadecuada de los RCD, suele ser común el vertido ilegal en zonas con mucha pendiente, cuerpos de agua y lugares públicos. Es por eso que, en el año 2002, la Resolución 307 del Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y la Ley Federal N° 12 305, establecieron el manejo y monitoreo adecuado de los RCD, instando a los gobiernos locales de Brasil a incluir en sus planes municipales la gestión de los RCD con el año 2004 como límite [61-64].

Producto de la legislación y compromisos en cuanto a la gestión adecuada de los RCD, en la actualidad existen empresas del sector construcción en Brasil, las cuales están introduciendo e implementando un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) basado en las normas internacionales ISO 14 000, con el propósito de controlar los aspectos ambientales, dentro de los que se destacan los relacionados con la generación de RCD [61-63].

Así mismo, existen varias organizaciones brasileñas relacionadas con los RCD, a saber: la Asociación Brasileña para el Reciclaje de Residuos de la Construcción y Demolición

(ABRECON) y la Asociación Brasileña de Empresas de Limpieza Pública de Residuos Especiales (ABRELPE). Esta última organización, determinó que para el periodo 2015-2017, se recolectó un flujo considerable de RCD, el cual representa un 63% de los residuos sólidos municipales recolectados en el país [65-67].

Para el año 2015, la media anual de RCD que fueron recibidos en los centros de reciclaje y las áreas de relleno sanitario inerte, correspondió a 3,6 millones de Mg [68] y el total recaudado en Brasil fue de 45,2 millones de Mg [66]. Al comparar estas cantidades, se determinó que solamente cerca del 8% de RCD se logran recuperar al año para reciclaje o fueron dispuestos en un relleno sanitario inerte, mientras que, el 92% restante, no se almacena para un aprovechamiento futuro [64].

2.3.2 Gestión de los residuos de la construcción en Costa Rica

En Costa Rica, el proceso de separación en el origen de los RCD no es una práctica común, de hecho, se puede considerar nula. La alta generación de escombros tiende a ser dispuesta (en el peor de los escenarios) en vertederos ilegales o en terrenos baldíos cercanos al área de construcción donde fueron generados. También, suelen disponerse en rellenos sanitarios, donde se emplean como material de cobertura. Tal es el caso del relleno sanitario de Garabito, localizado en Puntarenas, donde la industria de la construcción es activa, por lo que llegó a recibir entre cinco y siete toneladas diarias de RCD [69]. Del mismo modo, en el Parque Técnico Ambiental (PTA) creado por Entreprises Berthier International (EBI), localizado en La Carpio, se cuentan con celdas que son utilizadas únicamente para disponer escombros que, a su vez, son empleados para construir caminos en el PTA [69].

En un estudio realizado por Abarca et al. [70], donde se consultó a 30 empresas constructoras, se determinó que solamente el 13% contaban con un plan para el manejo de residuos, 13% poseían tanto plan como administrador para el manejo de sus residuos y, el 74%, no contaban con ninguno de los dos. Lo anterior, es reflejo de que el tema de gestión de RCD no ha sido concientizado por parte de las empresas del sector [70]. De acuerdo con estos autores, algunas de las razones del porqué no se está dando una gestión adecuada de los RCD son las siguientes:

- El valor económico de los proyectos de construcción no muestra el costo por el daño ambiental producto del gran consumo de recursos naturales, contaminación del aire, agua o suelo, así como la disposición de residuos peligrosos.
- A las empresas constructoras no les interesa implementar buenas prácticas ambientales, ya que se prioriza la ganancia económica.
- Las empresas no cuentan con el conocimiento suficiente sobre la normativa del sector construcción ni para gestionar adecuadamente los RCD por medio de la elaboración de planes.
- En el presupuesto del proyecto, se contempla entre un 10-15% extra catalogado como escombros, por lo que las empresas disminuyen la necesidad de ahorrar materiales.
- Consideran insuficientes los esfuerzos por reducir los residuos.
- Las empresas no desarrollan ni implementan planes para el manejo de RCD ya que, no existe legislación nacional de acatamiento obligatorio en este tema en específico y el cliente no suele solicitarlo.

Este último motivo es de suma importancia, ya que, si bien es cierto el país cuenta con la Ley N° 8839 y otras relacionadas con la gestión de residuos, la operación y fiscalización de estas es deficiente por parte del gobierno [70]. Así mismo, en la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible para 2018-2030, se instituyen siete áreas para lograr la sostenibilidad, las cuales son: agroalimentación, construcción, turismo, compras públicas y promoción de la prevención, reciclaje y recuperación de residuos. No obstante, para el caso de los RCD, el país no posee estrategia alguna [71].

Si bien es cierto que el país carece de normativa específica para la gestión de los RCD, se han hecho una serie de esfuerzos público-privados para avanzar en el tema. Por ejemplo, antes de emitirse la Ley N° 8839, se desarrollaron iniciativas para emplear los residuos de concreto para estabilizar el suelo en los rellenos sanitarios [69].

Del mismo modo, la empresa Geocycle S.A., la cual pertenece a Holcim Costa Rica S.A., ofrece sus servicios ambientales para la gestión de los RCD, tanto ordinarios como peligrosos. Estos servicios comprenden la identificación de las corrientes de generación, análisis y caracterización de riesgos asociados, acopio, transporte, acondicionamiento y disposición final adecuada [69].

Esta empresa gestiona RCD como madera, concreto, metales, escombros, cartón, llantas, hules, plásticos, yeso, estereofón, equipo de protección personal, textiles, residuos eléctricos, asfaltos y residuos peligrosos como solventes, hidrocarburos, pinturas, aditivos para el cemento, tierras contaminadas entre otros. Resulta importante destacar que, el problema derivado de la disposición de los RCD en rellenos sanitarios es el gran volumen requerido, por lo que la capacidad y vida útil del sitio disminuyen [69].

Otros esfuerzos realizados en el país provienen de la CCC, el CFIA y el Consejo de Desarrollo Inmobiliario [69]. También, el Ministerio de Salud de Costa Rica ha destacado en el Plan Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos 2016-2021, específicamente en el ámbito legal, de investigación y desarrollo tecnológico, la importancia de incluir actividades para el diseño e implementación de instrumentos legales para aquellos residuos que no cuentan con una regulación específica, tal como los RCD. Así mismo, sugiere la elaboración de una metodología para el diagnóstico de residuos según su clasificación (tóxicos, electrónicos, hospitalarios, industriales, de la construcción, del turismo, radiactivos, entre otros) [72].

2.4 VALORIZACIÓN

Anteriormente, se analizó la jerarquización para la GIRS, con la cual se pretende evitar la generación de residuos como escenario deseable. Sin embargo, en caso de que no sea posible evitar la producción del residuo, se debe procurar reducirlo, reutilizarlo, separarlo o valorizarlo con base en sus características, antes de ser tratado o dispuesto finalmente [73].

Específicamente, de acuerdo con la Ley para la Gestión Integral de Residuos de Costa Rica, la valorización corresponde a un “conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor de los residuos para los procesos productivos, la protección de la salud y el ambiente”. La valorización se puede llevar a cabo por medio del reciclaje, co-procesamiento, reensamblaje u otro procedimiento técnico que permita la recuperación del material y su aprovechamiento energético. Se debe dar prioridad a la recuperación de materiales sobre el aprovechamiento energético, según criterios técnicos [16]. A continuación, se detallan con mayor profundidad el reciclaje y el co-procesamiento.

- *Reciclaje:*

El reciclaje se define como “la transformación de los residuos por medio de distintos procesos de valorización, los cuales permiten restituir su valor económico y energético, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución implique un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud y el ambiente” [16].

De acuerdo con la EPA [74], algunos de los beneficios ambientales que se pueden obtener al practicar el reciclaje, corresponden a la disminución de residuos destinados a disponerse en relleno sanitario o ser llevados a combustión, conservación de los recursos naturales (por ejemplo, agua, madera y minerales) y menor impacto ambiental asociado con la extracción de materias primas. Otros de los beneficios del reciclaje se relacionan con la conservación de la vida útil del relleno sanitario, menores costos de material a largo plazo y por medio del desarrollo de nuevos mercados para los RCD, se pueden obtener ingresos nuevos o adicionales [75].

Según el Reporte de Información Económica del Reciclaje (REI, por sus siglas en inglés), en USA, para el año 2012 se generaron 526 millones de toneladas métricas de productos reciclados. Así mismo, produjo 681 000 empleos, \$37,8 mil millones en salarios y \$5,5 mil millones en ingresos fiscales. De manera concreta, los residuos de metales ferrosos, RCD y metales no ferrosos, respectivamente, fueron los que mayor impacto económico de los bienes reciclados produjeron para ese mismo año [76].

Por lo general, el proceso de reciclaje incluye actividades como recolección de materiales, separación, limpieza u otro procesamiento, transformación del residuo en un producto comercial, distribución, almacenamiento, prestación de servicios y transporte entre cada una de las etapas [77]. En cada una de esas actividades, se da el involucramiento de distintos actores. Sin embargo, existen tres partes interesadas principales en todo el proceso de reciclaje de RCD, las cuales son el generador de los residuos (tanto propietarios como contratistas), el reciclador o empresas recicladoras y el gobierno [78], [79].

- *Coprocesamiento:*

De acuerdo con el Reglamento para el Co-procesamiento y Gestión de Residuos en Hornos Cementeros N° 40557-S de Costa Rica, el co-procesamiento corresponde al “uso de residuos adecuados en los procesos de fabricación con el propósito de recuperar energía y

recursos; y reducir, en consecuencia, el uso de combustibles y materias primas convencionales mediante su sustitución” [80].

Se puede definir a los residuos empleados en el co-procesamiento como co-procesables y corresponden a aquellos que, por sus características físico-químicas, son aptos para ser usados como combustible o materias primas alternas en un horno de cemento de forma segura, sin impacto negativo en la calidad del producto y las emisiones al ambiente [80]. Así mismo, suelen llamarse combustibles y materias primas alternativas (AFR, por sus siglas en inglés) [81].

Como toda actividad productiva, el co-procesamiento debe procurar la sostenibilidad, por lo que, debe cumplir algunos principios que están basados en la jerarquización para la GIRS, calidad del producto (por ejemplo, cemento y concreto), conducta ambiental y las condiciones locales [82]. De manera general, según Holcim y la Agencia Alemana para el Desarrollo (GIZ, por sus siglas en alemán) [81], los principios del co-procesamiento en horno cementero, son los siguientes:

- a. El co-procesamiento respeta la jerarquización de residuos.
- b. Se deben evitar las emisiones adicionales y el impacto negativo en la salud del ser humano.
- c. La calidad del producto de cemento permanece sin modificación.
- d. Las compañías comprometidas con el co-procesamiento deben estar capacitadas.
- e. La implementación del co-procesamiento tiene que considerar las circunstancias nacionales.

Concretamente, el co-procesamiento en la industria cementera se puede realizar por distintos puntos de alimentación para agregar los AFR. Por lo general, estos puntos corresponden al quemador principal en el extremo de salida del horno rotatorio, la chimenea interior de alimentación de la cámara de transición en el extremo de entrada del horno rotatorio (para combustible en grandes cantidades), los quemadores secundarios al tubo ascendente, los quemadores de precalcínación al precalcínador, en la chimenea interior de alimentación al precalcínador (para combustible en grandes cantidades) y en la válvula de la zona media del horno rotatorio en caso de hornos largos de proceso húmedo o seco (para combustible en grandes cantidades) [81].

Cuando se lleva a cabo el co-procesamiento en los hornos rotatorios de las cementeras, se obtienen beneficios como disminución del consumo de combustibles fósiles y materias primas, no se requiere la instalación de un nuevo incinerador, entre otras. Dado que las emisiones provenientes de hornos rotatorios son específicas tanto del proceso como del material de entrada, es clave considerar la implementación de un sistema de control y verificación de los AFR que ingresan. Es importante destacar que el co-procesamiento no se limita únicamente a sustituir un combustible por residuos, sino que, también posibilita la recuperación de materiales valiosos [81].

Como se ha analizado anteriormente, la gestión integral de los residuos generados, así como de los materiales reciclados, puede representar grandes beneficios para lograr la sostenibilidad y mejorar la calidad de vida [57]. En ese sentido, con base en los casos expuestos en cuanto a generación, la presente investigación se enfocará en abordar aspectos importantes sobre la valorización y barreras para el aprovechamiento de cuatro materiales, los cuales corresponden al concreto, madera, metales y empaques cementicios (sacos de papel Kraft).

2.4.1 Valorización de residuos de la construcción en el mundo y América Latina

Concreto

El concreto corresponde a una mezcla de cemento, agua y agregados de distinto diámetro (por ejemplo, arena, roca triturada o grava) [83]. Específicamente, el cemento es un polvo finalmente molido, conformado por materiales como piedra caliza, tiza, yeso, arcilla y arena [84]. Existen diversos tipos de cemento, no obstante, se destacan: Portland, cenizas volantes silíceas, cenizas volantes calcáreas, de escoria y humo de sílice [85].

Una vez obtenida la mezcla, la cual tiene una consistencia plástica, se puede moldear de distintas formas, hasta que fragua y se convierte en una masa sólida con capacidad para sostener grandes cargas y resistir efectos climáticos, fuego, deterioro, entre otros [83]. Comúnmente, las edificaciones o estructuras suelen construirse en concreto armado o pretensado. El concreto armado está constituido por una estructura de concreto y un refuerzo como barras de acero o alambres en forma de malla. Por su parte, el concreto pretensado, es sometido a compresión, donde esta fuerza se aplica tensionando los tendones (como

alambres, barras de acero o torones) antes de ser unidos al concreto sólido, al cual se le va a transferir la fuerza de compresión [83].

Cuando el concreto ha cumplido su función en algún proyecto constructivo, puede ser aprovechado por medio del reciclaje, lo cual representa una gran oportunidad para reducir el consumo de recursos naturales y emisiones de CO₂ asociados a este material [86]. De manera general, el proceso de reciclaje de concreto consiste en la trituración, clasificación y cribado mediante el cual se producen áridos [87]. Varios autores indican que, si bien este método suele emplearse comúnmente en diversos países, produce un material de baja calidad, por lo que sus aplicaciones se limitan a jardinería, base para carreteras, pavimentos, drenajes, entre otros [88].

Sin embargo, países como Japón, el cual ha asumido un compromiso importante con respecto al reciclaje del concreto, ha logrado reciclar el 98% de este residuo al emplearlo como base para la construcción de carreteras y material de relleno [89], y, en ciertas ocasiones, para fines estructurales [90], [91]. Aunado a ello, este país ha desarrollado nuevas tecnologías o métodos como lo son el calentamiento y trituración, rectificado de tornillos, pulido mecánico y concentración por gravedad para mejorar la calidad del concreto reciclado y con ello, cumplir los estándares de calidad establecidos para el concreto virgen [88].

Bajo esa misma tendencia, en USA los residuos de concreto elaborado a partir del cemento Portland (PCC, por sus siglas en inglés), una vez triturados, suelen aprovecharse como reemplazo de la piedra de construcción para vías y edificios [55]. Así mismo, se ha iniciado el uso de este tipo de residuo como agregado en PCC nuevo o pavimentos, no obstante, las especificaciones de uso son limitadas. Otras de sus aplicaciones comunes se asocian con el Riprap (técnica donde se coloca una capa de piedras de tamaño apropiado para la protección y estabilización de suelos erosionados [92]), pendientes sujetas a filtraciones, áreas con mala estructura del suelo, material de relleno y arrecifes artificiales [55].

En otras regiones como Europa, donde el concreto representa cerca del 80% de los RCD y un tercio de los flujos de residuos sólidos controlados [93], se ha desarrollado una iniciativa denominada Tecnologías Avanzadas para la Producción de Cemento y Áridos Limpios a partir de RCD (C2CA, por sus siglas en inglés) [86]. Este proyecto consistió en el reciclaje in situ del concreto, por medio de tecnología inteligente la cual combina demolición, pulido suave en un molino autógeno y una clasificación en seco denominada ADR (Advance

Dry Recovery) [94]. Según la Comisión Europea [86], algunos de los beneficios económicos que volvieron atractivo el proyecto C2CA, fueron los siguientes:

- Baja demanda energética.
- Posibilidad de procesamiento in situ (sin costo de transporte).
- La posibilidad de utilizar en gran medida las mismas instalaciones que se requieren para la producción de concreto primario.
- Reducción considerable de residuos de concreto a disponer.

Para determinar factibilidad económica y ambiental del proyecto C2CA, se realizó un estudio de caso donde se evidenció que cuando se lleva a cabo una demolición correctamente diseñada, equipada y realizada en los Países Bajos, su costo es solamente un 15% mayor al asociado con la demolición tradicional. A su vez, el capital es compensado por el valor de la calidad de material recuperado [86].

Por otro lado, en el caso de Medellín (Colombia), el uso de Concreto con Agregados Reciclados (CAR), se dificulta debido al bajo costo de los recursos naturales para elaborar el concreto, la disposición controlada de RCD y el desconocimiento de características relativas al desempeño del concreto, como por ejemplo resistencia y durabilidad [95]. Así mismo, en un estudio realizado por Bedoya y Dzul [95] en la ciudad colombiana, donde se elaboró un concreto empleando residuos de concreto y mampostería, uno de los aspectos importantes que se llegó a concluir, fue que los agregados obtenidos del reciclaje de escombros, si bien es cierto varían con respecto a algunas características, se podrían emplear en la construcción de tipo no estructural.

Madera

La madera corresponde a un material orgánico y renovable, el cual proviene del tronco de los árboles y tiene como propósito facilitar el crecimiento y mantenimiento del elemento vegetal. Este material, está compuesto por celulosa y lignina, las cuales forman el esqueleto de los organismos vegetales y aportan dureza y rigidez, respectivamente. Comprender acerca de la naturaleza de este material, así como de sus propiedades y comportamiento, resulta esencial para emplearlo de forma correcta [96].

Generalmente, en las construcciones se emplean productos elaborados a partir de la madera como la madera dimensional, madera contrachapada, tableros de fibra orientada

(OSB, por sus siglas en inglés), tableros de fibra, postes, entre otros. En ciertos casos, en los sitios donde se realizan estos productos, tienden a utilizar como materia prima los residuos de madera recuperados, debido su potencial de reutilización [55].

Adicionalmente, muchos de los productos son reciclados para emplearlos como combustible en plantas de energía e instalaciones industriales, mantillo para jardines, compostaje, lecho para animales, pulpa para papel, entre otros. Según sea el mercado meta, las empresas recicladoras separan la madera de acuerdo con la calidad requerida [55], [97-99].

Por lo general, los residuos de madera suelen llevarse a incineración, debido a su alto poder calórico, no obstante, puede ser transformados por medio del reciclaje [100]. Para que los residuos de madera puedan reciclarse, estos deben contener la mínima cantidad de impurezas, tanto físicas como químicas. Las físicas pueden ser restos de materiales como textiles, metales, plásticos, suelo e inertes (concreto, ladrillo, vidrio, entre otros) [101-103].

En el continente europeo, aproximadamente 33,7 mil m³ de productos de madera se convirtieron en desechos en el año 2010, de los cuales el 46% fueron reciclados y el 51% se incineraron [104], [105]. Es importante destacar que, el uso que se les da a los residuos de madera no es la misma en todos los países, lo cual está condicionado a las empresas del sector [106].

En el caso de Costa Rica, una de las investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de los residuos de madera, consistía en la fabricación de pellets. De 410 kg de residuos de este material, solamente se logró obtener un 33% de pellets y el porcentaje restante, fue madera contaminada con cemento, clavos, pérdida de humedad durante el proceso de secado y tamaño inadecuado para ser el producto deseado [107].

Metales

En el sector construcción, los metales son comúnmente utilizados debido a sus propiedades específicas. Son el material por excelencia para estructuras, refuerzos, revestimientos, techos, marcos de ventanas, plomería, equipos de calefacción entre otros. Tres de las propiedades de este material lo vuelven indispensable para la industria de la construcción, las cuales corresponden a la alta resistencia para soportar cargas con menor cantidad de material, alta rigidez y durabilidad [108].

Existen dos grupos de residuos metálicos, los cuales corresponden a férricos y no férricos. El primer grupo se encuentra constituido principalmente por hierro, acero y residuos de fundido. Tienen un gran valor en el mercado del reciclaje, ya que, con su transformación, logran un ahorro de energía equivalente al 62% y son los que más se reciclan [109].

Entre ellos se destacan los compuestos de hierro, principalmente los compuestos de acero (hierro con menos de 2% de carbono) y los compuestos en fundición (hierro con menos de 6% de carbono). Es importante destacar, que el hierro es el material más reciclado a nivel mundial, inclusive más que el aluminio, el plástico y el vidrio sumados [109].

El alto potencial del acero para ser reciclado se debe principalmente a que no pierde significativamente su calidad, pues se conserva durante la transformación a pesar de las limitaciones de rendimiento. Por cada tonelada reciclada de residuos de acero, se obtiene un ahorro de tonelada y media de este material [109].

Por otra parte, el grupo de metales no férricos está constituido por magnesio, plomo, cobre, zinc, estaño, níquel y aluminio, siendo este último el que más se recicla. Entre mayor cantidad de veces pase por el proceso de reciclaje, menor será su consumo energético. Así pues, se requieren 15 kWh kg⁻¹ de aluminio la primera vez que se recicla, 4 kWh kg⁻¹ de aluminio la cuarta vez que se utiliza y 2 kWh kg⁻¹ de aluminio la décima vez. El alto valor económico de estos metales, radica principalmente en que su extracción es compleja y representan un buen ahorro de materias primas [109].

Uno de los usos actuales de los residuos del acero y aluminio, es que son empleados como materia prima en acerías, para fabricar el acero en bruto y para elaborar productos como lingotes, desbastes, entre otros [77]. En la actualidad, más del 95% de los residuos de metales, son recuperados al final de la vida útil de una construcción. Lo anterior, se debe en gran medida al alto valor de mercado que tienen los metales, ya que, proporciona ahorros energéticos que rondan entre el 60 y 95% [108].

En USA, el reciclaje de chatarra representa un sector comercial importante y una buena parte de ese material, es recuperado de los proyectos constructivos. De acuerdo con Townsend [55], muchos de los metales de RCD suelen disponerse antes de la demolición y el reciclaje, excepto aquellos metales que son seleccionados por su valor en el mercado. Así mismo, cuando el metal se encuentra mezclado con otros RCD, se emplean equipos magnéticos para separarlos.

Tanto el comercio de la chatarra como el del reciclaje de los metales, se encuentran bien posicionados en el mercado [55]. Dentro de los principales beneficios que provee el reciclaje de metales, se encuentran los siguientes [110]:

- Sustitución de materias primas de tipo primario: Por ejemplo, en Europa, continente donde se produce solamente cerca del 3% de la materia prima, la minería urbana brinda la posibilidad de reciclar más, en especial los metales más críticos, por lo que se reduce la dependencia a importar materiales metálicos claves en la economía de la Unión Europea.
- Reducción del impacto ambiental como las emisiones de CO₂: Con el reciclaje de metales, se obtiene un ahorro energético equivalente a 20 veces la energía requerida para la fabricación de metales. Así mismo, se reduce la contaminación del agua, suelo, aire y biosfera.
- Se evita el vertido e incineración de metales que además de representar una pérdida importante de material valioso, impacta negativamente en el ambiente.

Empaques cementicios (papel Kraft)

Otro de los residuos problemáticos en las obras civiles, corresponden a los empaques cementicios. Por ejemplo, para el año 2010, en Brasil fueron utilizados 920 millones empaques para cemento de 50 kg [111]. Estos empaques suelen producirse a partir de papel Kraft, el cual está compuesto por fibras de la pulpa de madera de *Pinus sp.* Una vez utilizado el cemento, este tipo de empaque suele quemarse o disponerse de forma inadecuada en el área de construcción, lo cual repercute de manera negativa en el ambiente [112].

Una limitante que presenta este residuo es que se le tiende a impregnar significativamente el cemento, por lo que no se puede reciclar en fibras de celulosa [113]. Como resultado, se han desarrollado alternativas experimentales para su aprovechamiento. Por ejemplo, en un estudio se fabricaron ladrillos a partir de suelo arcilloso, agua, cemento, savia de aloe y empaque para cemento de papel Kraft. A partir de las pruebas realizadas, una de las conclusiones más interesantes fue que lograron determinar que si bien el ladrillo no se desmoronaba, sí había una deformación tras la compresión [114].

Por otro lado, años más tarde en otro estudio se utilizó este tipo de empaque en dos formas: triturado y en lámina, con el fin de agregarse este residuo en diversas cantidades en peso como refuerzo para la fabricación de compuestos poliméricos de poliéster insaturado

[113]. De este experimento se obtuvo que a medida que se incrementaba la cantidad del residuo, la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad aumentaban cuando se agregaba el residuo triturado, sin embargo, la flexión sí sufrió una disminución. En el caso del residuo convertido en láminas, se aumentó la flexión, pero el módulo de flexión no varió [113].

De igual forma, los empaques cementicios también han sido empleados en otra investigación para la elaboración de tableros de partículas aglomeradas con resina de poliuretano a base de aceite de ricino. De acuerdo con los resultados obtenidos para este caso, se determinó que los empaques contienen un alto contenido de cemento y baja pulpa de lignina. Así mismo, se concluyó que, al incrementar la densidad, las propiedades físicas disminuyeron, pero las mecánicas experimentaron un incremento, por lo que se considera el empaque de papel Kraft para cemento como una alternativa para la elaboración de tableros particulados [112].

Finalmente, en un estudio elaborado en China, se desarrolló un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para tres tipos de empaques para cemento, a saber: bolsa de papel Kraft, bolsa tejida de plástico laminado (hecha de polipropileno (PP) y un revestimiento) y bolsa compuesta de papel y plástico (hecha del PP, un revestimiento y papel Kraft). A partir del ACV, se determinó que el valor del Potencial de Calentamiento Global (GWP 100, por sus siglas en inglés) en la fase de gestión del residuo, es alto para los empaques que contienen PP, sin embargo, para el empaque de papel Kraft, no fue el caso, por lo que se concluyó que este tipo de empaque genera un menor impacto ambiental al finalizar su vida útil [115].

2.5 BARRERAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN

En el Cuadro 2.5.1, se muestran las principales barreras para la valorización de RCD encontradas por diversos autores. Para una mayor comprensión, se han agrupado en cinco criterios los cuales son: técnico, económico, social, ambiental y legal. Así mismo, es importante destacar que, como ya se mencionó, debido al alto valor que tienen los metales en el mercado del reciclaje, las barreras para su valorización son prácticamente inexistentes, tal como sucede con el acero [116].

Cuadro 2.5.1. Barreras para la valorización de RCD de acuerdo con algunos criterios.

Criterio	RCD	Ubicación geográfica	Barrera	Fuente
Técnico	Concreto	Unión Europea	Deficiencia en las investigaciones de alternativas para el reciclaje del concreto que permitan cubrir la demanda futura para su aprovechamiento en carreteras	Comisión Europea [117]
Técnico	Concreto	Unión Europea	Ineficiencia en separación en la fuente disminuye la calidad del residuo, aumenta su contaminación y dificulta el reciclaje	Comisión Europea [117]
Técnico	Concreto	Unión Europea	Las construcciones no suelen diseñarse pensando en el final de su vida útil ni en los RCD que va a generar	Comisión Europea [117]
Técnico	Concreto	Unión Europea	En los sistemas de construcción ecológica de algunos países europeos (por ejemplo, Certificado Alemán de Construcción Sostenible, HQE - Haute Qualité Environnementale en Francia, BREEAM - Método de Evaluación Ambiental BRE en el Reino Unido), no se incluyen criterios como reutilización y reciclaje del concreto	Comisión Europea [117]
Técnico	Concreto	Canadá	Contaminantes residuales reducen la resistencia a la compresión del agregado alrededor de un 25%	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Madera	Canadá	Gestión no adecuada de la clasificación en sitio, particularmente en el caso de productos de madera preservada	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Madera	Canadá	Desconocimiento sobre los tratamientos para facilitar la reutilización y reciclaje de la madera preservada	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Madera	Canadá	No se cuenta con infraestructura para la recolección, transporte, almacenamiento y preparación para la madera preservada o no tratada	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Metales (acero)	Japón	Mezcla de acero con otros metales reduce la tasa de recuperación	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Madera	Noruega	Residuos de madera contaminados con pegamentos, pintura barniz, impregnación y metales	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Concreto	Noruega	El concreto contaminado se suele considerar como contaminado cuando no se puede eliminar la capa de pintura, por lo que se dispone en rellenos sanitarios o vertederos especiales	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Concreto	Noruega	En ocasiones, las empresas constructoras no cuentan con equipo para cortar el concreto y separarlo de las barras de refuerzo	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Concreto	Noruega	Los nuevos proyectos de carreteras consideran de baja calidad el concreto reciclado, a pesar de que se ha demostrado lo contrario	Nakajima y Russell [116]
Técnico	Empaque Kraft	-	En las fibras del papel se suele impregnar cemento, lo que hace imposible el reciclaje convencional del papel	Laredo dos Reis et al. [113]

Continuación Cuadro 2.5.1.

criterio	RCD	Ubicación geográfica	Barrera	Fuente
Económico	Concreto	Unión Europea	Problemas de financiamiento para la investigación de nuevas alternativas para optimizar las opciones existentes (en términos de consumo energético, eficiencia y costos)	Comisión Europea [117]
Económico	Concreto	Canadá	Se considera que, por ser un producto reciclado, su calidad es menor y debe tener un precio más bajo	Nakajima y Russell [116]
Económico	General	-	Ausencia de financiamiento para implementar la economía circular en la gestión de RCD	Mittal y Sangwan [118]
Económico	General	-	Preferencia a gestionar el costo y el tiempo de los proyectos constructivos en lugar de los RCD	Hossain et al. [119], Abba et al. [120]
Económico	General	-	Métodos de construcción tradicionales	Crawford et al. [121], Yuan et al. [122]
Económico	General	-	El costo de la construcción no refleja el costo ambiental	Nakajima y Russell [116], Abarca et al. [4]
Económico	General	-	Falta de tiempo para la separación de los RCD	Crawford et al. [121], Abarca et al. [4]
Económico	General	-	Presupuesto limitado para la separación de materiales	Crawford et al. [121]
Económico	General	-	Ausencia de requisitos contractuales para la reutilización de materiales	Crawford et al. [121]
Económico	General	-	Renuencia para separar, reutilizar y reciclar materiales con un valor económico bajo o difíciles de aprovechar	Teo y Loosemore [123]
Económico	General	-	Perspectiva de que las actividades para disminuir los RCD no son rentables	Teo y Loosemore [123]
Económico	General	-	Beneficios económicos desiguales, lo que ofrece pocos incentivos para los operarios	Teo y Loosemore [123]
Económico	Madera	Canadá	Se considera que la infraestructura para gestionar la madera es costosa de diseñar, implementar y velar por el cumplimiento	Nakajima y Russell [116]
Económico	Concreto	Japón	Es más costoso y requiere más energía producir áridos a partir de concreto reciclado que a partir de materias primas vírgenes	Nakajima y Russell [116]
Económico	Concreto	Noruega	Suele ser complicado vender el agregado reciclado debido a los costos asociados al procesamiento en sitio, transporte y almacenamiento. Por lo que se prefiere material virgen	Nakajima y Russell [116]
Económico	Concreto	USA	Las plantas recicladoras no siempre se localizan cerca de los sitios de generación y suelen cobrar por el procesamiento, por eso se suele enviar a relleno sanitario o vertedero	Nakajima y Russell [116]
Social	General	-	Falta de literatura con base empírica sobre las barreras	Ranta et al.; Li y Yu; Ritzén y Sandström [124-126]
Social	General	-	Compromiso individual no desarrollado	Mittal y Sangwan [118], Veleva et al. [127]
Social	General	-	Actitud de los constructores	Crawford et al. [121]
Social	General	-	Preferencia de los usuarios por nuevos materiales sobre los reusados o reciclados	Mittal y Sangwan [118], Ranta et al. [124]

Continuación Cuadro 2.5.1

Criterio	RCD	Ubicación geográfica	Barrera	Fuente
Social	General	-	Falta de compromiso para migrar hacia la economía circular en cuanto a RCD	Mittal y Sangwan [118], Veleva et al. [127]
Social	General	-	Cultura de la industria de la construcción	Crawford et al. [121]
Social	General	-	La prioridad es el beneficio económico y no los aspectos ambientales	Crawford et al. [121], Abarca et al. [4]
Social	General	-	Gestión inefectiva de los RCD	Nakajima y Russell [116]
Social	General	-	Ausencia de un mercado de reciclaje bien desarrollado	Nakajima y Russell [116], Yuan et al. [122]
Social	General	-	Los usuarios de las construcciones no participan en el proceso de diseño	Osmani y Villoria-Sáez [128]
Social	General	-	Baja demanda de edificios sostenibles por parte de los clientes	Kuijsters [129]
Social	General	-	Dificultad para modificar las prácticas laborales de mano de obra	Yuan et al. [122]
Social	General	-	Creencia de que los esfuerzos no serán suficientes para eliminar los RCD completamente	Abarca et al. [4]
Ambiental	Concreto	Unión Europea	Deficiencias en la planificación, diseño, renovación y deconstrucción, dificultan el objetivo de "vertido cero" de concreto	Comisión Europea [117]
Ambiental	General	-	Ineficacia en procesos de desmantelamiento, clasificación, transporte y recuperación de RCD	Nakajima y Russell [116], Crawford et al. [121], Dumlao-Tan y Halog [130]
Ambiental	General	-	La reducción de RCD no recibe suficiente atención en la planificación y diseño de las construcciones	Kuijsters [129], Dumlao-Tan y Halog [130]
Ambiental	General	-	Uso limitado de materiales reciclables en la construcción	Dumlao-Tan y Halog [130]
Ambiental	General	-	No se emplean métodos amigables con el ambiente en los procesos de construcción y demolición	Ranta et al. [124], Veleva et al. [127], Singh y Ordonez [131], Lee et al. [132]
Ambiental	General	-	Debido a la falta de incentivos, se prefiere disponer en relleno sanitario o vertedero, que clasificar in situ	Hossain et al. [119], Ranta et al. [124], Esa et al. [133]
Ambiental	General	-	Falta de responsabilidad del productor de los materiales de construcción	Li y Yu [125], Ritzén y Sandström [126]
Ambiental	General	-	Complejidad de transformación a una economía circular en la gestión de RCD	Ritzén y Sandström [126],[128]
Ambiental	General	-	Desconocimiento y falta de concientización relacionados con la gestión de RCD	Crawford et al. [121], Ranta et al. [124], Ritzén y Sandström [126]

Continuación Cuadro 2.5.1

Criterio	RCD	Ubicación geográfica	Barrera	Fuente
Ambiental	General	-	No existen beneficios para clasificar los materiales de embalaje	Crawford et al. [121]
Ambiental	General	-	Falta de integración de la gestión sostenible de RCD	Ritzén y Sandström [126]
Ambiental	General	-	Incertidumbre al avanzar hacia la economía circular en la gestión de RCD	Mittal y Sangwan [118], Ritzén y Sandström [126]
Ambiental	General	-	Se asume que la generación de residuos es inevitable y que no es posible reducirla	Crawford et al. [121]
Ambiental	General	-	Diseño de las construcciones no emplea materiales de tamaño estandarizado	Crawford et al. [121]
Ambiental	General	-	Falta de certeza sobre la situación de los RCD	Nakajima y Russell [116], Crawford et al. [121]
Legal	Concreto	Unión Europea	No existe reglamentación que prohíba la disposición de este residuo en vertederos o rellenos sanitarios, por lo que el fomento a reciclarlo es menor	Comisión Europea [117]
Legal	Concreto	Unión Europea	Deficiencias en certificaciones que demuestren que el concreto reciclado cumple con estándares y que puede cumplir con las mismas propiedades de las materias vírgenes (en esta región se cuenta con las normas del Comité Europeo de Normalización (CEN))	Comisión Europea [117]
Legal	General	-	Normativa inadecuada para la gestión de RCD, así como ausencia de supervisión	Nakajima y Russell [116], Mittal y Sangwan [118], Abba et al.; Crawford et al.; Yuan et al. [120-122], Ranta et al. [124], Li y Yu [125], Osmani y Villoria-Sáez [128]
Legal	General	-	Ausencia de metas, objetivos y visiones nacionales claras en el tema de la gestión de RCD	Veleva et al. [127], Esa et al. [133], Yong [134]
Legal	General	-	Falta de reportes estandarizados y datos accesibles relacionados con la reducción de RCD	Abarca et al. [4], Veleva et al. [127]
Legal	General	-	Falta de incentivo financiero	Crawford et al. [121]
Legal	General	-	Falta de coordinación entre partes interesadas	Kuijsters [129]
Legal	General	-	Inconsistencias entre distintas partes gubernamentales	Kuijsters [129]
Legal	General	-	Ausencia de normas de la industria o estándares de desempeño para la gestión de residuos	Teo y Loosmore [123]

Continuación Cuadro 2.5.1

Criterio	RCD	Ubicación geográfica	Barrera	Fuente
Legal	General	-	Las responsabilidades individuales en términos de gestión de residuos están mal definidas	Teo y Loosmore [123]
Legal	Madera	Canadá	No hay legislación que impida el vertido de la madera (por ejemplo, para la fecha del estudio, la madera preservada se considera residuo no peligroso)	Nakajima y Russell [116]
Legal	Madera	Japón	No se cumple la política de reciclaje, pues se prefiere aprovechar la madera como recurso energético antes de reciclar	Nakajima y Russell [116]

3 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente apartado, se detallan los procedimientos que permitieron realizar esta investigación. Lo anterior, a partir del análisis de la situación actual de la valorización de cuatro residuos ordinarios de la construcción, identificación de barreras que se experimentan a nivel nacional e internacional y medidas propuestas, con el fin de fomentar la valorización de los residuos estudiados.

3.1 LUGAR DE ESTUDIO

Para llevar a cabo este estudio, se consultaron 30 empresas constructoras, 2 productoras de cemento, 25 gestores de residuos, 2 centros de acopio, 9 transformadores de residuos, 3 distribuidores de materiales de construcción, localizados en diferentes zonas del territorio nacional. Así mismo, se incluyó en este estudio, una consulta realizada al departamento de Planificación de Gestión Integral de Residuos del Ministerio de Salud.

3.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA VALORIZACIÓN DEL CONCRETO, MADERA, METALES Y EMPAQUES DE MATERIALES CEMENTICIOS

3.2.1 REVISIÓN DE LITERATURA

El análisis para determinar la situación actual de los residuos del concreto, madera, metales y empaques de materiales cementicios (papel Kraft), se llevó a cabo por medio de una revisión de literatura, en la cual se investigó sobre el contexto mundial del sector construcción (en términos económicos y ambientales), gestión y barreras que experimenta a nivel mundial, con respecto a la valorización de los residuos mencionados anteriormente. Específicamente, en el caso de las barreras o limitaciones indicadas por diversos autores, se clasificaron en las siguientes categorías: técnica, económica, ambiental, social y legal.

3.2.2 ELABORACIÓN DE LOS CUESTIONARIOS

Con base en las barreras para la valorización encontradas en la literatura, tanto para los residuos de la construcción en general como para los residuos que se abordaron en esta investigación, fueron elaborados los cuestionarios según tipo de actor involucrado. Dado que

Abarca et al. [4], validaron algunas de las barreras que se experimentan en Costa Rica, estas no formaron parte del proceso de elaboración de estas herramientas.

De manera más específica, los cuestionarios se realizaron para identificar las barreras que experimenta la industria de la construcción con respecto a la valorización del concreto, madera, metales y empaques de materiales cementicios (cemento, morteros, repellos, entre otros). Se formularon preguntas de respuesta binomial (sí/no) y respuesta corta, mismas que se encuentran comprendidas en tres secciones: información general de la empresa, valorización de los residuos de la construcción y barreras adicionales que ha experimentado de forma individual.

Estos cuestionarios fueron validados y aplicados por medio de correo electrónico y llamada telefónica. El proceso de validación consistió en consultar a al menos dos expertos por cada tipo de actor, y, de acuerdo con las recomendaciones obtenidas, se adecuaron y aplicaron. A continuación, se describe el procedimiento que se llevó a cabo según participantes:

- **Empresas constructoras:**

El cuestionario semiestructurado destinado a los generadores de residuos de la construcción o bien, empresas constructoras, constó de 30 preguntas en total. En general, el cuestionario se encuentra conformado por los siguientes apartados:

- Información general.
- Preguntas relacionadas con la valorización de los residuos de la construcción:
 - Barreras técnicas, económicas, sociales, ambientales y legales.
- Otras preguntas con respecto a barreras adicionales que enfrenta la empresa para la valorización de los RCD.

En el Apéndice 1, se presenta el cuestionario aplicado a empresas constructoras.

- **Gestores de residuos y centros de acopio:**

Se realizaron y aplicaron tres cuestionarios semiestructurados para los gestores y centros de acopio según el tipo de residuo: madera, metales y concreto. Para obtener la información y contactos de empresas encargadas de gestionar y acopiar RCD, se consultó la Guía de Manejo Eficiente de Materiales de la construcción [25] y el listado de gestores autorizados disponible en la página web del Ministerio de Salud [135]. De manera general, los cuestionarios se encuentran constituidos por los siguientes apartados:

- Información general.
- Barreras (técnicas, económicas, ambientales, legales; según gestor de residuos o centro de acopio).
- Otras preguntas con respecto a las barreras adicionales que enfrenta las empresas gestoras de residuos y centros de acopio.

Los cuestionarios se presentan en los Apéndices 2, 3 y 4.

- **Transformadores de residuos:**

Se aplicó únicamente un cuestionario para todas las empresas transformadoras de los residuos estudiados. El cuestionario consta, de manera general, de las siguientes secciones:

- Información general.
- Preguntas relacionadas con respecto a la valorización de los residuos de la construcción:
 - Barreras (técnicas, económicas, ambientales, legales; según residuo que transforma).
- Barreras adicionales que enfrenta la empresa para la valorización.

En el Apéndice 5, se presenta el cuestionario.

- **Productores de cemento:**

Se aplicó el cuestionario a dos empresas productoras de cemento. De manera general, la herramienta utilizada se encuentra conformada por las siguientes secciones:

- Información general.
- Valorización de los residuos de la construcción.

En el Apéndice 6, se muestra el cuestionario aplicado a estas empresas.

- **Distribuidores de materiales de construcción:**

Se contactó a tres grandes empresas dedicadas a la distribución y comercialización de materiales de construcción en el país. De manera general, el cuestionario se encuentra constituido por estas secciones:

- Información general.
- Valorización de residuos de la construcción.

En el Apéndice 7, se presenta el cuestionario enviado a empresas distribuidoras.

- **Gobierno:**

Para este caso, se contactó al departamento de coordinación de Planificación de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Ministerio de Salud. El cuestionario enviado, constó de dos secciones: información general y valorización de residuos de la construcción (barreras legales, ambientales y sociales). En el Apéndice 8, se encuentra el cuestionario respectivo.

3.3 IDENTIFICAR LAS BARRERAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS

Para la identificación de las barreras que enfrenta la valorización de los residuos en estudio, se recopiló la información obtenida a partir de los cuestionarios semiestructurados. En total, fueron recibidas 10 respuestas por parte de empresas constructoras, 11 de gestores de residuos (5 de madera, 3 de metales y 3 de concreto), 2 de empresas productoras de cemento, 6 transformadores de residuos y 1 centro de acopio. Adicionalmente, se recibió una respuesta por parte del Ministerio de Salud y una empresa dedicada a la distribución de materiales de construcción.

Con base en lo anterior, se identificaron cuáles de las barreras descritas en la literatura, son aplicables al sector construcción del país. Esto se realizó de manera individual según tipo de actor y de acuerdo con el tipo de barrera.

3.4 PROPONER ALTERNATIVAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS

Una vez obtenidas las barreras que afectan actualmente a cada actor del sector construcción, se propusieron medidas para el aprovechamiento de los residuos en estudio. Tales medidas fueron formuladas a partir de entrevistas y sugerencias por parte de algunos actores, así como de la revisión de literatura.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en esta investigación, los cuales no reflejan de manera estandarizada la realidad nacional en cuanto a los residuos estudiados, debido a que la cantidad de respuestas recibidas no lo permiten. No obstante, se brinda una perspectiva individual sobre cada uno de los actores involucrados.

4.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA VALORIZACIÓN DEL CONCRETO, MADERA, METALES Y EMPAQUES CEMENTICIOS

4.1.1 Empresas constructoras

- **Casos de estudio:**

Se obtuvo en total 10 respuestas por parte de las empresas constructoras distribuidas en todo el país. Debido a que la mayoría de estas empresas decidieron que su información (nombre, persona y correo que responde el cuestionario) fuese confidencial, en el Cuadro 4.1.1.1, se muestra únicamente el orden en el que fue procesada su respuesta, provincia a la que pertenece, región socioeconómica, zona (urbana o rural) y tamaño de la empresa.

Cuadro 4.1.1.1. Datos de empresas constructoras participantes para determinar la situación actual de la valorización de los residuos estudiados.

Empresa	Provincia	Región socioeconómica	Zona	Tipo de empresa
1	San José	Central	Urbana	Grande
2	San José	Central	Urbana	Pequeña
3	Alajuela	Huetar Norte	Rural	Pequeña
4	Alajuela	Huetar Norte	Rural	Pequeña
5	San José	Central	Urbana	Grande
6	San José	Central	Urbana	Grande
7	San José	Central	Urbana	Pequeña
8	San José	Central	Urbana	Grande
9	Alajuela	Huetar Norte	Rural	Pequeña
10	Cartago	Central	Urbana	Pequeña

Tal como se puede apreciar en el Cuadro 4.1.1.1, un 70% de las empresas corresponden a empresas localizadas en la región socioeconómica Central. Así mismo, la mayoría de las que respondieron el cuestionario son pequeñas (6) y grandes (4), respectivamente.

- **Separación de residuos de la construcción**

Con respecto a la separación de los residuos de la construcción estudiados (concreto, madera, metales y empaques cementicios), tal como se muestra en la Figura 4.1.1.1, solamente cuatro empresas separan el concreto, y de ellas, tres reutilizan este material dentro del mismo proyecto. Así mismo, solamente una lo entrega a Berthier EBI de Costa Rica S.A., mientras que el resto de las empresas no separa este residuo.

En cuanto a los residuos de madera, se obtuvo que un 90% separa este material, y, de ese porcentaje, 56% lo reutiliza dentro del mismo proyecto. En algunos casos, la madera que ya ha cumplido su uso dentro del proyecto constructivo, se regala a personas que lo soliciten, o bien, dependiendo de la actividad y usos que se le dé a la madera, se emplea como formaleta dentro del mismo proyecto o se envía a otros proyectos si se encuentra en buen estado.

Por otra parte, cerca del 70% de las empresas constructoras separan y reutilizan dentro del mismo proyecto los sacos o empaques de materiales cementicios. Del porcentaje restante, solamente una empresa contrata a un gestor autorizado y las demás, envían este residuo a relleno sanitario.

Ahora bien, con respecto a la separación de metales en el área de proyecto, el 90% de las empresas lo hacen, principalmente con el acero, hierro y aluminio. De ese porcentaje, un 44% contrata a un gestor autorizado, mientras que el resto, separa para utilizar dentro del mismo proyecto u otro, ya sea para la elaboración de rótulos, mejoras, entre otros.

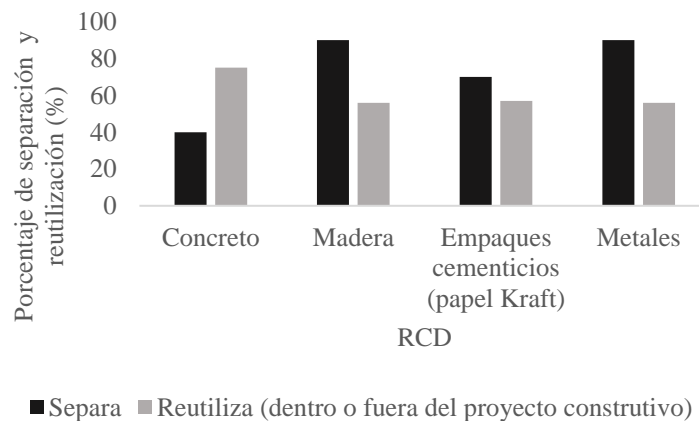


Figura 4.1.1.1. Porcentaje de empresas participantes constructoras que separan o reutilizan algunos residuos de la construcción y/o demolición (RCD).

4.1.2 Productores de cemento

Se obtuvo respuesta de dos empresas productoras de cemento, Holcim Costa Rica S.A. y CEMEX Costa Rica S.A. Ambas empresas, comprenden su responsabilidad como productores y actualmente, reciben empaques cementicios para ser aprovechados como combustible alternativo en los hornos cementeros.

En el caso de CEMEX Costa Rica, realiza de manera continua campañas de recolección de este tipo de residuos, donde participan de manera más activa los clientes industriales, debido a que las licitaciones públicas tienen como requisito, la gestión adecuada de los residuos de la construcción.

Adicionalmente, posee alianzas con algunos de los clientes, ya que implementan la práctica de descarga de producto y recolección de empaques. Por otro lado, en cuanto a los clientes de menor escala, por ejemplo, ferreterías, se han hecho esfuerzos por llevar a cabo esta práctica, sin embargo, se ha fracasado a pesar de contar con la disponibilidad y tecnología.

4.1.3 Gestores autorizados de residuos sólidos

- **Gestores de concreto**

Se obtuvo respuesta de tres gestores de concreto. Uno de ellos, corresponde a una de las empresas constructoras participantes. Esta empresa, cuenta con los permisos para transportar y disponer en un relleno sanitario privado los residuos de concreto. Así mismo, maximiza el uso de concreto, por lo que el residuo es poco y en el caso de los proyectos de naves industriales, el cliente se encarga de los residuos producidos.

Así mismo, otra empresa gestora de este material clasifica este residuo en dos categorías: limpio o contaminado. En el caso del limpio, suele emplearse como material de cobertura en relleno sanitario, mientras que el contaminado, solamente es dispuesto en un sitio del relleno. En el caso de la tercera empresa, considera que cuando el concreto no se encuentra separado adecuadamente, se requiere más mano de obra y por lo tanto el costo de gestionarlo aumenta, por lo que se prefiere enviar a relleno sanitario.

- **Gestores de madera**

Se obtuvo respuesta de cinco gestores de madera, distribuidos en distintas zonas del país. En el Cuadro 4.1.3.1, se presenta la información general de cada una de las empresas.

Cuadro 4.1.3.1. Empresas participantes gestoras de madera.

Empresa	Provincia	Región socioeconómica	Zona	Residuos que gestiona
1	San José	Central	Urbana	Residuos ordinarios y madera
2	Alajuela	Huetar Norte	Rural	Residuos madereros, leña y aserrín
3	Alajuela	Huetar Norte	Rural	Ordinarios, especiales y peligrosos
4	San José	Central	Urbana	Polipropileno, papel, plástico, cartón, madera y aluminio
5	Alajuela	Huetar Norte	Urbana	Madera, co-procesables

La primera empresa gestora, indicó que actualmente no gestiona ni recicla residuos madereros, sino que se dedican a la gestión de residuos ordinarios y especiales, como llantas y electrónicos, entre otros. Con respecto a la segunda empresa, produce pellets a partir de biomasa (leña, astillas de madera, aserrín, árboles de plantaciones, cascarilla de arroz y tarimas desechas).

Por otro lado, el tercer gestor, si bien recupera madera de algunas empresas constructoras, su enfoque de trabajo se basa en la gestión de residuos peligrosos y no tradicionales (especiales). No obstante, en los casos que recolectan madera, su calidad es analizada y se evalúa si se puede co-procesar o bien, enviar a rellano sanitario.

Con respecto a la cuarta empresa, esta se encarga de recolectar residuos, no obstante, no han tenido proyectos con madera de formaleta de construcciones. A pesar de lo anterior, si se les ofreciera madera, podrían recolectar, transportar y transformar este residuo, ya sea como abono o para co-procesamiento, dependiendo de su calidad.

Finalmente, la quinta empresa recolecta, transporta, tritura y mezcla los residuos madereros, cuyo destino es el co-procesamiento. Así mismo, esta empresa es la única recicladora de neumáticos en todo el territorio nacional.

- **Gestores de metales**

Se contactó a distintas empresas gestoras de metales, por medio de llamada telefónica y correo electrónico. En total, respondieron tres gestores, localizados en distintas zonas del país, tal como se muestra en el cuadro 4.1.3.2.

Cuadro 4.1.3.2. Empresas gestoras participantes de metales.

Empresa	Provincia	Región socioeconómica	Zona	Residuos que gestiona
1	Alajuela	Huetar Norte	Rural	Metales, baterías, radiadores, acero inoxidable y cartón
2	San José	Central	Urbana	Metales
3	San José	Central	Urbana	Papel, cobre, aluminio, no tradicionales, entre otros

De manera más específica, el primer gestor de metales se dedica a la compra de metales como cobre, aluminio, bronce, acero inoxidable y chatarra. Estos residuos, posteriormente son exportados al continente asiático. Por su parte, la segunda empresa, recolecta, transporta y exporta todo tipo de metales reciclables. La tercera empresa, compra los residuos ya indicados (Cuadro 4.1.3.2).

- **Gestores de empaques o sacos cementicios**

En cuanto a los residuos de empaques cementicios, actualmente no se identificó ninguna empresa que ofrezca el servicio de gestión, solamente transformación, lo cual se analizará posteriormente. Por lo tanto, no se aplicó ningún formulario asociado a gestores de este residuo.

4.1.4 Centros de acopio

De los centros de acopio consultados, algunos han dejado de funcionar y otros, estuvieron indispuestos en participar en este estudio. Por lo tanto, no se logró obtener la perspectiva actual de estos actores.

4.1.5 Empresas transformadoras de residuos

En cuanto a las empresas transformadoras, tal como se ha analizado anteriormente, existen algunas que además de gestionar los residuos, los transforman, ya sea mediante co-procesamiento o reciclaje. En el caso de los residuos de madera, se encontraron empresas dedicadas al co-procesamiento y transformación en pellets para emplearlos como biocombustible.

Así mismo, en el caso de los empaques cementicios, son empleados como combustible alternativo en los hornos cementeros. Por su parte, los residuos de concreto se utilizan cierto porcentaje como agregado.

Finalmente, se consultó a una empresa transformadora de metales, la cual indicó que solamente recibe aluminio y hierro. Esta empresa, se dedica a la fabricación de coladeras para piso y azotea, tapas de registro, rodillos para soporte de tubería y trampas de grasa.

4.1.6 Distribuidores de materiales de construcción

De las tres empresas consultadas, solamente se obtuvo respuesta del Colono Construcción. Según esta empresa, actualmente no participa de manera directa en el proceso de recuperación de los residuos de empaques cementicios. Sin embargo, comprende su responsabilidad como distribuidor, ya que considera que las empresas deben contribuir ambiental y socialmente.

Adicionalmente, cree que es importante el recibir capacitaciones o charlas sobre el manejo adecuado de los residuos de la construcción. Así mismo, la empresa está de acuerdo con que de existir algún incentivo o exoneración por recolectar y almacenar los empaques cementicios, realizarían estas actividades y se podría llevar a cabo en los próximos meses.

Por otro lado, el Colono está dispuesto a crear alianzas con los productores de cemento, para desarrollar un sistema de recolección de empaques cementicios, ya que en algún momento han conversado sobre este tema.

4.1.7 Gobierno

Tal como se mencionó en la revisión de literatura, actualmente en Costa Rica no existe legislación que prohíba el vertido de madera o concreto en rellenos sanitarios. Por lo anterior, se consultó a la coordinadora de Planificación de Gestión Integral de Residuos del Ministerio de Salud que si de existir un reglamento para regular esta situación, consideraría que se estaría fomentando la recuperación de esos materiales en los sitios de construcción para ser reciclados. Su respuesta fue afirmativa, y de ser así, se indicaría en la legislación cómo proceder o dónde disponer estos residuos.

Adicionalmente, la coordinadora considera que el gobierno sí se encuentra comprometido en cuanto a la creación de legislación que promueva la transición de una

economía lineal a circular de los RCD, puesto que ha sido compleja. También, reconoce que la perspectiva del manejo de estos residuos no es clara tanto del sector público como privado de la construcción, sin embargo, es evidente que el manejo no es el adecuado.

4.2 BARRERAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS

Las barreras o limitaciones que experimentan los distintos actores involucrados en el sector construcción, fueron identificadas a partir de los cuestionarios aplicados. En los siguientes apartados, se encuentran tales barreras para cada tipo de actor.

4.2.1 Empresas constructoras

- Barreras técnicas

Residuos de concreto

A continuación, se presentan las barreras técnicas que experimentan las empresas constructoras con respecto a los residuos de concreto en Costa Rica. Cabe destacar que, en su mayoría, coinciden con las reportadas en la literatura:

1. Durante los procesos de diseño y planificación del proyecto constructivo, no se considera la cantidad de residuo de concreto que se va a producir: De acuerdo con los expertos, esto se debe en gran medida a que los diseñadores suelen enfocarse en el producto final y no en el proceso que este conlleva, ausencia de legislación, y, además, aunque se defina un porcentaje asociado a la generación de este material, se desconoce con exactitud la cantidad. Adicionalmente, se considera un material con un costo elevado por lo que pocas veces suele desperdiciarse.
2. Pocas empresas de las encuestadas cuentan con equipo adecuado para separar las varillas o barras de refuerzo del concreto.
3. Creencia de que los residuos de concreto son de baja calidad: Esta barrera se asocia con la disminución de la resistencia del concreto tras la compresión del concreto una vez convertido en residuo. Un 80% de las empresas constructoras entrevistadas comparte esta afirmación, ya que se dice que el concreto reciclado al estar en contacto con agua o si se almacena en lugares contaminados, sus propiedades se alteran.

4. Adicionalmente, cuando el concreto se encuentra contaminado con otro tipo de residuo (por ejemplo, pintura), la mayoría de las empresas optan por la disposición final: Esto se debe a que su reciclaje se asocia con un alto costo de procesamiento y, a menudo, es difícil que este sea aceptado por los clientes.
5. Costos asociados a la recolección y reutilización del concreto disminuyen la posibilidad de aprovechamiento.
6. Solamente en ciertos casos (cinco empresas constructoras), incluyen en la planificación de sus proyectos, criterios de sostenibilidad asociados con la recuperación del concreto para su reutilización o reciclaje. No obstante, cuatro empresas indicaron que, para una empresa pequeña, es complicado certificar sus proyectos como sostenibles. Así mismo, si bien se planifica para generar la menor cantidad de residuos posibles, a veces resulta imposible y si el residuo no está fresco, se debe descartar.
7. En las capacitaciones o charlas de construcción sostenible, en pocas o nulas ocasiones se aborda el tema del reciclaje del concreto.

Estas barreras, coinciden con las reportadas en la literatura ya que el reciclaje del concreto se ve entorpecido debido a la duración de los proyectos, deficiencias en conocimientos técnicos sobre el reciclaje del concreto, ausencia de programas nacionales, falta de regulaciones integrales, mayor costo del proyecto, baja demanda y rentabilidad del concreto reciclado y aumento de los costos asociados al transporte, entre otros [136].

Así mismo, cabe destacar que los resultados concuerdan con lo reportado por Badraddin et al. [136], ya que, por ejemplo, para las PYMES, el costo del proyecto representa una limitación importante, mientras que, para las grandes empresas esto no es una barrera para incluir la gestión de los RCD en su presupuesto.

Residuos de madera

Con respecto a los residuos de madera, la principal barrera técnica para las empresas constructoras es que cuando se encuentra contaminada con residuos de pintura, pegamento, barniz, entre otros, este residuo tiende a ser desechado. No obstante, las empresas suelen reutilizar la madera de embalaje, además de aprovechar hasta en tres ocasiones la formaleta. Así mismo, una empresa realiza la práctica de limpiar los residuos de madera y almacenarlos

en un lugar seco para emplearlos en otros proyectos, con el fin de alargar su vida útil en el proyecto.

- Barreras económicas

Las barreras económicas que experimentan las empresas constructoras en Costa Rica son las siguientes:

1. Creencia de que el agregado (concreto) reciclado es de baja calidad, por lo que su precio debe ser menor.
2. No se asigna un presupuesto para la separación de los RCD dentro de la fase de planificación del proyecto: No se tiene interés en destinar recursos, los clientes no pagan los costos asociados a tal proceso, y, además, las certificaciones de disposición final adecuada se traducen en un gasto extra dentro del presupuesto.

- Barreras sociales

A continuación, se enlistan las barreras sociales que experimentan las empresas constructoras en cuanto a la valorización de los RCD en Costa Rica:

1. Los clientes y diseñadores prefieren materiales nuevos que reciclados: Existe desconfianza con respecto a la calidad de los materiales reciclados (pocos estudios técnicos que den valor a los materiales) y se cree que son más difíciles para trabajar.
2. Ausencia de estudios técnicos que den valor al material reciclado.
3. Falta de compromiso por parte de las empresas constructoras en cuanto al reciclaje o reutilización de los residuos que genera: Las empresas suelen limitarse a las especificaciones del cliente, además si el proyecto permite o no el reciclaje o reutilización y desde luego, si esto supone un costo considerable.

- Barreras ambientales

A continuación, se detallan las barreras ambientales aplicables a las empresas constructoras consultadas:

1. Deficiencia en cuanto a la planificación, diseño, renovación y deconstrucción del proyecto en general, dificulta la reducción de la cantidad de residuos de concreto generado.
2. Creencia de que es imposible reducir la cantidad de residuos de concreto generados: Debido a que el tiempo utilizado para este fin no es considerado en los presupuestos, se considera una pérdida (de tiempo y capital) para la empresa.

3. Las obras son muy distintas entre sí por lo que no siempre se logra la reutilización.
 4. Ausencia de incentivos o exoneraciones que fomenten la separación de los residuos estudiados.
 5. Educación y concientización ambiental deficiente, específicamente sobre el manejo adecuado de los residuos de la construcción, pues este ha sido un tema poco abordado.
 6. No se emplean métodos amigables con el ambiente en los procesos de construcción y demolición: Especialmente en las demoliciones, los residuos no son separados y se disponen en el mejor de los casos en rellenos sanitarios.
- Barreras legales

Con respecto a las barreras legales, estas se enlistan a continuación:

1. Ausencia de una certificación que demuestre que el agregado (concreto) reciclado cumple con los estándares de calidad del concreto fabricado a partir de agregados nuevos o naturales: Esto provoca inseguridad en cuanto al uso del agregado reciclado en los proyectos constructivos.
2. Falta reglamentación nacional en cuanto a la prohibición del vertido de residuos de la construcción en relleno sanitario, lo reduce el compromiso de las empresas por recuperar los residuos de la construcción para reciclaje o como recurso energético: No obstante, una de las empresas consultadas considera que una legislación de este tipo no es conveniente, ya que encarecería la construcción, fomenta la disposición final, en lugar de buscar alternativas para el aprovechamiento de este residuo.

- Barreras adicionales

Además de las barreras que formaron parte del cuestionario a empresas constructoras, se consultó mediante una pregunta abierta cuáles son las barreras adicionales que experimenta cada empresa en cuanto al manejo adecuado de los RCD. A continuación, se describen cada una de ellas:

1. Ausencia de gestores-receptores formales de residuos, esto para que hagan un manejo responsable, con estándares de calidad, de modo que puedan dar garantías de re-uso de los subproductos.

2. Poca o nula incorporación de los materiales reciclados en los requerimientos de los clientes y diseñadores.
3. La oferta y demanda de materiales reciclados es insostenible.
4. Ausencia de un profesional exclusivo en los proyectos constructivos para el manejo adecuado de los residuos generados.
5. Difícil acceso a los proyectos, largas distancias se traducen en altos costos y tiempo en los cuales no se va a incurrir.
6. Costo por materiales reciclados puede ser superior al de desecharlos y usar materiales nuevos.
7. Altos costos de materia prima, mano de obra, cargas sociales, entre otros, dificulta asignar un presupuesto al tema ambiental.
8. Relación deficiente con entes reguladores (por ejemplo, con la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA) y el Ministerio de Salud).

Tal como se menciona en la literatura, las principales barreras de las empresas constructoras en cuanto al reciclaje (concreto especialmente), son de carácter técnico, económico, ambiental y legal [136].

4.2.2 Gestores de residuos sólidos

Gestores de concreto

- Barreras técnicas

De acuerdo con los tres gestores de residuos de concreto existentes en el país, los desafíos técnicos que experimentan son los siguientes:

1. Residuos de concreto contaminado con otros residuos (por ejemplo, pintura), se prefiere enviar a relleno sanitario o disponerlo en otro sitio que reciclarlo o reutilizarlo.
2. Ineficiencia de separación en la fuente disminuye la calidad del residuo, aumenta su contaminación y dificulta el reciclaje: Separación deficiente implica más mano de obra, por lo que los costos operativos aumentan. Por lo anterior, es que las empresas suelen preferir disponer en relleno sanitario.

- Barreras económicas

A continuación, se enlistan las barreras económicas que experimentan los gestores de concreto:

1. Suele ser complicado vender el agregado (concreto) reciclado debido a los costos asociados al procesamiento en sitio, transporte y almacenamiento, por lo que se prefiere material natural o nuevo.
2. Es complejo pasar de una economía lineal a una circular en el tema de los residuos de concreto de la construcción en el país: Una de las empresas gestoras indicó que esto se dificulta aún más para las pequeñas y medianas empresas.

- Barreras ambientales

Con respecto a las barreras ambientales que indican los gestores de concreto, corresponden a:

1. Falta de responsabilidad de los productores y distribuidores de los materiales de construcción.
2. Falta de conocimiento y educación ambiental en cuanto al manejo adecuado de los residuos de la construcción.

- Barreras legales

En cuanto a las barreras legales, se indica principalmente la ausencia de regulación nacional que prohíba la disposición final del concreto en relleno sanitario u otros sitios, lo que da como resultado una reducción en su tasa de recuperación para reciclaje. Según los gestores de concreto, si bien existen algunos criterios o normas, estos no brindan la información clara sobre cómo proceder de manera adecuada.

- Barreras adicionales

En el caso de las barreras adicionales que forman parte del quehacer de los gestores de concreto, se enlistan a continuación:

1. Falta de consenso generador-gestor, especialmente por las especificaciones que indica el gestor para recibir los residuos de concreto.
2. Dificultad para acceder a alternativas de financiamiento para la investigación de nuevas alternativas que permitan optimizar las opciones existentes (en términos de consumo energético, eficiencia y costos).

3. Competencia desleal: Suelen existir gestores informales, los cuales disponen los residuos de concreto de manera inadecuada a un menor costo.
4. Entes relacionados con el sector construcción no realizan esfuerzos en el tema del reciclaje del concreto.

Gestores de madera

- Barreras técnicas

A partir del procesamiento de resultados, se enlistan las barreras técnicas que competen a las empresas gestoras de madera proveniente de las construcciones:

1. Altos costos de recolección, transporte, almacenamiento y preparación: Estos costos no suelen ser contemplados en los presupuestos de las construcciones, además, en ocasiones, suelen ser piezas de volúmenes y longitudes considerablemente grandes.
2. Presencia de otros residuos en la madera, como lo son los clavos: El equipo de trituración se ve afectado con este tipo de residuos.
3. La formaleta al dejarla al aire libre se humedece y se convierte en un material inservible.

Con respecto a la madera que se encuentra contaminada con residuos de pintura, pegamento, barniz, entre otros, de acuerdo con los gestores, no representa una barrera, siempre y cuando este residuo sea transformado en energía mediante el co-procesamiento.

- Barreras económicas

A continuación, se detallan las barreras económicas que experimentan los gestores de residuos de madera de la construcción:

1. Falta de apoyo de entidades financieras para acceder a créditos.
2. Altos costos operativos (recolección, transporte, almacenamiento, preparación): Falta de recurso financiero para adquirir maquinaria y equipo adecuado para gestionar la madera.

- Barreras legales:

En cuanto a las barreras legales de los gestores de madera, son las siguientes:

1. Valorización de la madera en Costa Rica se reduce al co-procesamiento.
2. Se prefieren utilizar los residuos de madera como recurso energético.

Un aspecto importante para considerar, según una de las empresas gestoras de madera, es que no se considera como barrera el hecho que no exista una reglamentación específica para la gestión de los RCD, siempre y cuando se aplique y cumpla con la Ley N° 8839.

- Barreras adicionales

Además de las barreras consultadas en el cuestionario, los gestores de madera consideran como limitantes los siguientes aspectos:

1. Pago de salarios y cargas sociales altas.
2. Flujo de materiales no constantes: Las empresas constructoras entregan poca cantidad, en ocasiones solamente para mantener el certificado que indica una buena gestión de residuos.
3. Falta de fiscalización de la normativa vigente.
4. Falta de incentivos gubernamentales para la transformación de materiales.

Gestores de metales

- Barreras técnicas

Tal como se analizó en la situación actual de la valorización de los metales, sus barreras son pocas, no obstante, como barrera técnica que se experimenta a nivel nacional con respecto a la gestión de los metales, es que cuando se encuentran mezclados, se dificulta su separación, reciclaje y venta.

- Barreras económicas

En cuanto a las barreras económicas, los gestores de metales coinciden en que la ausencia de financiamiento para una adecuada gestión de los metales en el país, es el principal y más grande obstáculo, el cual se asocia directamente con la tramitología compleja.

- Barrera adicional

Adicionalmente, los gestores de metales indican que un desafío es la variación de los precios de los metales, ya que nunca son constantes.

Tal como fue posible analizar tanto en la revisión de literatura como en las respuestas obtenidas, los metales tienen un gran mercado, por lo sus precios tienen a ser altos. De hecho, de acuerdo con lo reportado por Islam et al. [26], el potencial de reventa de este residuo de

la construcción es bastante alto en países como China y Bangladesh, siendo este cerca de los \$500 por tonelada en este último país.

Gestores de empaques cementicios

Actualmente, no se han identificado gestores de empaques o sacos cementicios, por lo que no se elaboró ni aplicó cuestionario alguno para este caso.

4.2.3 Centros de acopio

Tal como se comentó en el apartado de perspectiva actual, no fue posible obtener respuesta de centros de acopio dedicados a acopiar los residuos de la construcción en estudio. Por lo tanto, no se determinaron las barreras que experimentan estos actores en cuanto a la valorización de los RCD.

4.2.4 Transformadores de residuos sólidos

Se consultó a la empresa CEMEX de Costa Rica, la cual, actualmente transforma los residuos de concreto, madera y empaques cementicios. Además de las barreras que experimenta cada material para su transformación, CEMEX indica dos limitantes en general: Poco o nulo financiamiento para llevar a cabo un buen manejo de residuos de la construcción y el costo del transporte desde el punto de generación hasta la planta cementera, desmotiva a realizar una gestión adecuada.

Concreto

En cuanto a los residuos de concreto, CEMEX concuerda con una de las barreras técnicas reportadas en la literatura, esta corresponde a la ineficiencia en la fuente de separación, la cual disminuye la calidad del residuo, aumenta su contaminación y dificulta su reciclaje. Esto, porque el proceso de reciclaje requiere que el concreto no contenga otros residuos, por ejemplo, hierro.

Por otro lado, en cuanto a las barreras ambientales, CEMEX coincide en que tanto la ausencia de reglamentación que prohíba la disposición del concreto en vertederos o rellenos sanitarios como el costo de transporte de este material a las cementeras, desmotiva a las empresas constructoras, por lo que se reduce su capacidad de recuperación.

Madera

Tal como se analizó anteriormente, existen en el país empresas que, como parte de su servicio de gestión de los residuos madereros, los transforman y en ese proceso, presentan algunos retos. Aunado a ello, las dos empresas productoras de cemento, aprovechan la madera como recurso energético. Específicamente, de acuerdo con CEMEX, durante la transformación de este material se presentan las siguientes barreras:

1. Poca infraestructura para la recolección, transporte, almacenamiento y preparación de la madera.
2. Se considera que la infraestructura para gestionar la madera es costosa de diseñar, implementar y velar por su cumplimiento: Los procesos de trituración son costosos, así como el transporte para procesar este residuo.
3. Ausencia de legislación que impida el vertido de la madera en relleno sanitario o vertedero controlado (por ejemplo, para la fecha del estudio, la madera preservada se considera residuo no peligroso).

Metales

Se obtuvo respuesta de una empresa transformadora de aluminio y bronce. Esta indica que una de las barreras ambientales es el desconocimiento y falta de educación ambiental. Por otro lado, en cuanto a los desafíos técnicos, se indica que cuando los metales se encuentran mezclados, dificulta el proceso de transformación. Lo anterior, se debe a que, si bien es cierto estos materiales durante su recepción son inspeccionados, en algunos casos pueden pasar mezclados y entrar al crisol para su fundición, por lo que hay que extraerlos debido a las diferentes temperaturas de fundición de los metales.

Así mismo, una de las barreras adicionales de carácter legal que vive esta empresa, son los procesos complicados en cuanto a trámites, impuestos, facturación electrónica, códigos CAByS (Catálogos de Bienes y Servicios), entre otros. La complejidad y lentitud de estas gestiones, demanda mucho tiempo, lo cual se traduce en costos.

Empaques cementicios

En cuanto a los empaques o sacos cementicios, CEMEX concuerda con la literatura en cuanto a dos barreras técnicas y ambientales. La primera de ellas, es que los empaques cementicios no se pueden reciclar de manera convencional, lo cual dificulta que las recicladoras lo reciban, no obstante, se aprovecha en el co-procesamiento. Con respecto a la limitante ambiental, es que existen pocos o nulos beneficios económicos por clasificar los materiales de embalaje.

4.2.5 Distribuidores de materiales de construcción

En el caso de las empresas distribuidoras, no se les consultó sobre barreras, sino que, tal como se comentó anteriormente, se analizó principalmente su perspectiva actual sobre su responsabilidad extendida, posibilidad de crear alianzas con proveedores y sistemas de recolección de RCD, especialmente, de los empaques cementicios.

4.2.6 Gobierno

De acuerdo con la Coordinación de Planificación de Gestión Integral de Residuos del Ministerio de Salud, las barreras que percibe la oficina son las siguientes:

- Barreras legales:

La principal barrera legal que el sector gobierno afirma, es la ausencia de legislación que prohíba el vertido de residuos como concreto o madera a relleno sanitario, y que, como consecuencia de esto, la tasa de recuperación en los sitios de construcción de estos materiales es baja.

- Barreras sociales:

La Coordinación de Planificación de Gestión Integral de Residuos, indica que sí existe compromiso por parte del gobierno en cuanto a la creación de leyes o reglamentos que promuevan la economía circular de los RCD. No obstante, considera que uno de los retos, es la gestión inefectiva de estos residuos por parte del sector público y privado de la construcción.

- Barreras ambientales:

A continuación, se enlistan las barreras ambientales que el sector gobierno indica que se experimentan en cuanto a la valorización de los residuos de la construcción en Costa Rica:

1. La transición de economía lineal a circular ha sido compleja.
2. Falta de conocimiento y educación ambiental en cuanto a la gestión adecuada de los residuos de la construcción.
3. La perspectiva sobre el manejo de los residuos de la construcción no es clara.
4. Ausencia de un reglamento que regule no solo la disposición final, sino también el tratamiento de los residuos generados durante los proyectos de construcción y demolición.

4.3 MEDIDAS PARA LA VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ESTUDIADOS

A continuación, se presentan las medidas propuestas para la valorización de los residuos de concreto, madera, metales y empaques cementicios, así como los RCD en general. Tales medidas, fueron elaboradas a partir de las barreras que experimentan los distintos actores del sector construcción, de la revisión de literatura y, desde luego, tomando en consideración las recomendaciones o comentarios de los involucrados en este estudio.

4.3.1 Medidas técnicas

Cuadro 4.3.1.1. Medidas técnicas propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
Concreto	Durante los procesos de diseño y planificación del proyecto constructivo, no se considera la cantidad de residuo de concreto que se va a producir	Empresas constructoras	<p>Capacitar a los ingenieros y arquitectos para diseñar y adquirir el material necesario, así como a los colaboradores en obra para reducir la generación de residuos de concreto</p> <p>Fomentar el uso de la Guía de Manejo Eficiente de Residuos de la Construcción durante los procesos de diseño y planificación de los proyectos constructivos</p>
Concreto	En ocasiones, las empresas constructoras no cuentan con equipo para cortar el concreto y separarlo de las barras de refuerzo o varillas	Empresas constructoras	<p>Emplear, en la medida de lo posible, maquinaria o herramientas disponibles para ejecutar esta actividad</p> <p>Solicitar a las empresas gestoras de concreto que efectúen esta actividad de separación</p>
Concreto	Creencia de que los residuos de concreto son de baja calidad	Empresas constructoras	<p>Realizar más investigaciones que demuestren que el agregado reciclado se puede emplear en otros proyectos alternativos a los estructurales o viales, tal como se analizó en la revisión de literatura</p> <p>Capacitar a los ingenieros y arquitectos sobre alternativas para el aprovechamiento de residuos de concreto</p>
Concreto	El concreto se suele considerar como contaminado cuando no se puede eliminar la capa de pintura, por lo que se dispone en rellenos sanitarios o vertederos especiales	Empresas constructoras, gestores	<p>Concientizar a las empresas constructoras y gestores para que no desechen el concreto con pintura, ya que los productores de cemento lo pueden reciclar</p> <p>Fomentar las alianzas entre empresas constructoras, gestores y transformadores de este residuo</p>
Concreto	Costos asociados a la recolección y reutilización del concreto disminuyen la posibilidad de aprovechamiento	Empresas constructoras	<p>Establecer campañas de recolección, o bien, puntos de encuentro entre empresa constructora- gestor- transformador, para disminuir los costos</p> <p>Crear alianzas entre empresas constructoras con rutas en común, para hacer una “gestión compartida” y con ello reducir el costo por recolección</p>
Metales	Mezcla de metales entorpece el proceso de fundición*	Transformadoras	<p>Solicitar al generador que los metales se entreguen estrictamente separados</p> <p>Realizar la inspección de recibo de metales de manera más rigurosa, para disminuir la mezcla de los mismos</p>

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción.

Continuación Cuadro 4.3.1.1

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
Concreto	No se suele incluir en la planificación de sus proyectos, criterios de sostenibilidad para la reutilización y reciclaje del concreto	Empresas constructoras	Capacitar a los ingenieros y arquitectos, sobre criterios de sostenibilidad enfocados en gestión de residuos de la construcción Incentivar la reutilización y reciclaje del concreto por medio de exoneraciones o incentivos por la buena gestión de este residuo
Concreto	En las capacitaciones o charlas de construcción sostenible, en pocas o nulas ocasiones se aborda el tema del reciclaje del concreto*	Empresas constructoras	Proponer a la CCC, CFIA u otro ente del sector, para que incluya cursos, capacitaciones y charlas sobre gestión de los residuos (especialmente sobre la reutilización y reciclaje del concreto) Ofrecer certificados de participación para dar valor agregado a la empresa por su compromiso ambiental
Concreto	Ineficiencia de separación en la fuente disminuye la calidad del residuo, aumenta su contaminación y dificulta el reciclaje	Gestores, transformadores	Fomentar la separación de los residuos de la construcción, mostrándole a las empresas constructoras las ventajas de realizar tal actividad Capacitar a los colaboradores en obra sobre buenas prácticas para el manejo de residuos de la construcción
Madera	Cuando la madera se encuentra contaminada con residuos de pintura, pegamento, barniz, entre otros, este residuo tiende a ser desechado	Empresas constructoras	Concientizar a las empresas constructoras para que no desechen la madera, ya que si bien es cierto no se puede reciclar, se puede emplear como combustible alternativo Crear alianzas entre empresas constructoras y cementeras para el co-procesamiento de la madera que contiene pintura, barniz, entre otros
General	Ausencia de gestores-receptores formales de residuos, esto para que hagan un manejo responsable, con estándares de calidad, de modo que puedan dar garantías a de re-uso de los subproductos*	Empresas constructoras	Facilitar información a las empresas constructoras sobre los gestores autorizados existentes para la gestión de sus residuos Fomentar la emisión de certificados por la reutilización de materiales de construcción
General	Poca o nula incorporación de los materiales reciclados en los requerimientos de los clientes y diseñadores*	Empresas constructoras	Realizar estudios pertinentes que demuestren que los materiales reciclados cumplen con los estándares de calidad de los materiales nuevos Concientizar tanto a diseñadores como a clientes sobre las alternativas y ventajas de emplear materiales reciclados en los proyectos constructivos
General	Difícil acceso a los proyectos, largas distancias se traducen en altos costos y tiempo en los cuales no se va a incurrir*	Empresas constructoras	Desarrollar alianzas con gestores para establecer un punto de recolección intermedio Asignar un porcentaje del presupuesto a la gestión de los RCD

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción.

Continuación Cuadro 4.3.1.1

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
Madera	Altos costos de recolección, transporte, almacenamiento y preparación de la madera	Gestores	Consultar al sector gobierno sobre exoneraciones o incentivos para los gestores de residuos de la construcción Alianzas entre empresas constructoras y gestores para la gestión adecuada de los residuos madereros
Madera	Presencia de clavos en la madera	Gestores, transformadores	Implementar, como buena práctica en los sitios de construcción, retirar (en la medida de lo posible), los clavos de los residuos de madera Definir un protocolo de inspección para verificar que la madera no contenga clavos y con ello, evitar el daño de las trituradoras
Madera	Formaleta expuesta al aire y húmeda, se vuelve inservible	Gestores	Definir un área dentro del sitio de construcción para el almacenamiento de la madera, que cumpla con las condiciones de humedad requeridas Capacitar a todo el personal de los proyectos constructivos sobre las buenas prácticas para almacenar los residuos de formaleta y otros residuos madereros
General	Flujo de materiales no constantes*	Gestores	Alianzas entre empresas constructoras para gestionar de manera compartida sus residuos y así, entregar de manera más constante y en mayor cantidad los RCD
General	Ausencia de un profesional exclusivo en los proyectos constructivos para el manejo adecuado de los residuos generados*	Empresas constructoras	Capacitar a todo el personal (según escolaridad), sobre el manejo adecuado de los residuos producidos en el área de proyecto Asignar a un responsable para velar por el cumplimiento de las buenas prácticas para el manejo de los RCD
Metales	Metales mezclados dificulta su separación, reciclaje y venta	Gestores	Capacitar al personal en obras para la correcta separación en la fuente de los residuos de metal
Madera	Infraestructura para la recolección, transporte, almacenamiento y preparación para la madera	Transformadores	Mediante el sector gobierno, facilitar la adquisición de infraestructura para la adecuada gestión de la madera
Empaques cementicios (papel Kraft)	En las fibras del papel Kraft se suele impregnar cemento, lo que hace imposible el reciclaje convencional del papel, lo cual dificulta que las recicladoras lo reciban	Transformadores	Capacitar al personal de las construcciones para la recuperación en la fuente de los empaques cementicios Dar a conocer a las empresas constructoras sobre la transformación de estos empaques, por parte de Holcim y CEMEX Fomentar el principio de responsabilidad extendida al productor en las cementeras, específicamente en cuanto a su responsabilidad por recolectar estos residuos, ya sea en los proyectos o en puntos de recolección

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción.

4.3.2 Medidas económicas

Cuadro 4.3.2.1. Medidas económicas propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
Concreto	Creencia de que el agregado (concreto) reciclado es de baja calidad, por lo que su precio debe ser menor	Empresas constructoras	Capacitar a las empresas constructoras sobre las alternativas de uso del agregado reciclado sobre sus beneficios económicos y ambientales
General	No se asigna un presupuesto para la separación de los RCD dentro de la fase de planificación del proyecto	Empresas constructoras	En lugar de asignar un porcentaje extra dentro del presupuesto por desperdicio de material, asignarlo para la adecuada gestión de los residuos producidos
General	Creencia de que la oferta y la demanda de materiales reciclados no es rentable*	Empresas constructoras	Crear un mercado de materiales reciclados entre el mismo sector construcción Concientizar a los distintos actores sobre la importancia de aprovechar los RCD y sus ventajas
General	Creencia de que el costo por materiales reciclados puede ser superior al costo por desecharlos y utilizar materiales nuevos*	Empresas constructoras	Concientizar a las empresas constructoras sobre su responsabilidad ambiental Inculcar a las empresas constructoras el beneficio ambiental y económico de emplear materiales reciclados
General	Altos costos de materia prima, mano de obra, cargas sociales, entre otros, dificulta asignar un presupuesto al tema ambiental*	Empresas constructoras	Fomentar mediante incentivos, exoneraciones o certificados ambientales, así como asumir los costos por la adecuada gestión de los RCD Concientizar a los empresarios sobre las ventajas competitivas que representa dar una buena gestión a sus residuos
Concreto	Suele ser complicado vender el agregado (concreto) reciclado debido a los costos asociados al procesamiento en sitio, transporte y almacenamiento, por lo que se prefiere material natural o nuevo	Gestores	Crear alianzas entre los gestores-empresas productoras para el aprovechamiento de este material y compartir costos de su gestión
Concreto	Es complejo pasar de una economía lineal a una circular en el tema de los residuos de concreto de la construcción en el país, especialmente en PYMES	Gestores, gobierno	Solicitar al gobierno la implementación de bonos verdes para las empresas gestoras de este residuo y otros Capacitar a las PYMES gestoras sobre la circularidad y su rol importante en el mercado
Concreto, metales, madera	Dificultad para acceder a opciones de financiamiento	Gestores	Solicitar al sector bancario (público y privado), la apertura de créditos verdes más accesibles para las empresas gestoras

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción.

Continuación Cuadro 4.3.2.1

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
Madera	Altos costos operativos (recolección, transporte, almacenamiento y preparación) *	Gestores	Solicitar al gobierno exoneraciones o incentivos para la gestión de los residuos madereros Capacitar a las empresas gestoras sobre educación financiera y estrategias para mejorar la administración de sus recursos
Madera	Pago de salarios y cargas sociales altos*	Gestores	Reducir las cargas sociales del sector
Metales	Variación de los precios de los metales, nunca se mantienen*	Gestores	Promover la transformación y comercialización nacional de los metales, por medio de facilidades financieras para la adquisición de equipo e infraestructura que se requieran
General	Poco o nulo financiamiento para llevar a cabo un buen manejo de residuos de la construcción	Transformadores	Créditos verdes o alternativas más accesibles para las empresas transformadoras
Madera	Se considera que la infraestructura para gestionar la madera es costosa de diseñar, implementar y velar por su cumplimiento	Transformadores	Promover más alternativas de financiamiento para las empresas transformadoras de madera
Concreto, madera y empaques cementicios	El costo del transporte desde el punto de generación hasta las cementeras no motiva a realizar la gestión*	Transformadores	Concientizar a las empresas productoras de cemento, sobre su responsabilidad como productor y que ese costo de recolección sea compartido con el generador

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción.

4.3.3 Medidas ambientales

Cuadro 4.3.3.1. Medidas ambientales propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
Concreto	Deficiencia en cuanto a la planificación, diseño, renovación y deconstrucción del proyecto en general, dificulta la reducción de la cantidad de residuos de concreto generado	Empresas constructoras	Incluir en las distintas fases o etapas del proyecto constructivo, criterios para la gestión adecuada de los residuos de concreto producidos Establecer indicadores para medir el desempeño ambiental en cuanto a la generación de este residuo
Concreto	Creencia de que es imposible reducir la cantidad de residuos de concreto generados	Empresas constructoras	Concientizar a las empresas constructoras en cuanto a la generación de los residuos de concreto
General	Las obras son muy distintas entre sí por lo que no siempre se logra la reutilización*	Empresas constructoras	Gestionar estos residuos responsablemente, aunque por las características de los proyectos, sea complicado su reutilización Realizar alianzas entre empresas para que se recupere el residuo de una empresa y pueda ser reutilizado por otra
Concreto, madera, metales y empaques cementicios	Ausencia de incentivos o exoneraciones que fomenten la separación de los residuos estudiados	Empresas constructoras	Solicitar al sector gobierno que desarrolle incentivos o exoneraciones por una buena gestión de los RCD
General	Educación y concientización ambiental deficiente, específicamente sobre el manejo adecuado de los residuos de la construcción	Empresas constructoras, gestores, transformadores	Concientizar y capacitar a los actores involucrados del sector construcción, sobre el manejo adecuado de los residuos
General	No se emplean métodos amigables con el ambiente en los procesos de construcción y demolición	Empresas constructoras	Mediante entes reguladores del sector construcción, instruir a los colaboradores de distinta escolaridad, sobre mejores prácticas para realizar proyectos de menor impacto ambiental posible
Concreto	Falta de responsabilidad de los productores y distribuidores de los materiales de construcción	Gestores	Concientizar mediante charlas o capacitaciones, a los productores de cemento y distribuidores, en cuanto a responsabilidad extendida
Concreto, Madera	Ausencia de reglamentación que prohíba la disposición de este residuo en vertederos o rellenos sanitarios	Transformadores	Cumplimiento de la Ley N°8839 para aprovechar mediante el reciclaje los residuos de concreto y madera en lugar de disponerlos Desarrollar una herramienta para el adecuado manejo de estos residuos, donde se incluya sus opciones de aprovechamiento
Empaques cementicios	Pocos o nulos beneficios económicos por clasificar los materiales de embalaje	Transformadores	Concientizar a los distintos actores sobre la clasificación de los residuos de embalaje, puesto esto va más allá de un beneficio económico
General	Falta de certeza sobre la situación de los RCD	Gobierno	Desarrollar más investigaciones que permitan mostrar la situación actual de los residuos de la construcción en el país y con base en ello, implementar un plan de acción que permita mejorar la gestión de estos residuos

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción.

4.3.4 Medidas sociales

Cuadro 4.3.4.1. Medidas sociales propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
General	Preferencia de los clientes y diseñadores por materiales nuevos que por los reciclados	Empresas constructoras	<p>Concientizar a los clientes y diseñadores en cuanto al uso de materiales reciclados en los proyectos, siempre y cuando no se comprometa la calidad del proyecto</p> <p>Incorporar dentro los planes de estudios universitarios temas asociados a la construcción sostenible, donde se considere la integración de materiales reciclados en las obras</p>
General	Ausencia de estudios técnicos que den valor al material reciclado*	Empresas constructoras	Incentivar a universidades y otros centros de investigación para investigar sobre las características técnicas de los RCD reciclados
General	Falta de compromiso por parte de las empresas constructoras en cuanto al reciclaje o reutilización de los residuos que genera	Empresas constructoras	<p>Capacitar y concientizar a las empresas constructores sobre la importancia de separar sus residuos para su valorización y las ventajas (económicas, sociales y ambientales) que esto implica</p> <p>Identificar a los gestores informales para capacitarlos en cuanto a la adecuada gestión de los RCD</p>
Concreto	Competencia desleal*	Gestores	Capacitar a las empresas constructoras para que no entreguen los residuos de concreto a gestores informales que solo disponen el concreto en lugares de manera irresponsable. Así mismo, facultarlas para que soliciten un certificado de gestión autorizado por el Ministerio de Salud
Concreto	Ingenieros y arquitectos reacios a utilizar materiales reciclados*	Gestores	<p>Promover mediante el CFIA y la CCC, el uso de materiales reciclados, siempre y cuando cumplan criterios establecidos por tales entes</p> <p>Incluir dentro de los programas de estudios universitarios temas asociados con la gestión adecuada y aprovechamiento de los RCD dentro de los proyectos constructivos</p>
General	Gestión inefectiva de los RCD	Gobierno	Desarrollar una estrategia que involucre a todos los actores estudiados, con el fin de mejorar la gestión de los RCD

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción.

4.3.5 Medidas legales

Cuadro 4.3.5.1. Medidas legales propuestas para la valorización de algunos residuos de la construcción.

Residuo	Barrera	Actor (es)	Medida (s)
Concreto	Ausencia de una certificación que demuestre que el agregado (concreto) reciclado cumple con los estándares de calidad del concreto fabricado a partir de agregados nuevos o naturales	Empresas constructoras	Efectuar estudios para analizar la calidad del agregado reciclado y estandarizar su composición para que cumpla con los criterios de calidad y normatividad técnica del concreto nuevo
General	Falta reglamentación nacional en cuanto a la prohibición del vertido de residuos de la construcción en relleno sanitario, reduce el compromiso de las empresas por recuperar los residuos de la construcción para reciclaje o como recurso energético	Empresas constructoras, gobierno, transformadores	Desarrollar un reglamento específico para la gestión adecuada de los RCD
General	Relación deficiente entre empresas constructoras y entes reguladores	Empresas constructoras	Instruir a las empresas constructoras en cuanto a la tramitología asociada a regulaciones ambientales, para evitar inconformidades con los entes reguladores Solicitar mayor disponibilidad e información a los entes reguladores, en cuanto a los trámites que competen a las empresas constructoras
Madera	Incumplimiento de la política de reciclaje, pues se prefiere aprovechar la madera como recurso energético que reciclarla	Gestores	Investigar sobre más alternativas de valorización asociadas al reciclaje de la madera, para que, como última alternativa, sea co- procesada o enviada a disposición final
Madera	Falta de fiscalización de las normas vigentes	Gestores	Mayor compromiso por parte del sector gobierno para velar por la normativa vigente, relacionada con la gestión de residuos sólidos
Madera	Falta de incentivos gubernamentales para la transformación de materiales	Gestores	Solicitar al gobierno incentivos o exoneraciones que beneficien la transformación de los RCD, específicamente de la madera
Metales	Complejidad en cuanto a tramitología, formularios, impuestos, facturación electrónica, códigos CAByS, entre otros*	Transformadores	Capacitar a las empresas transformadoras en cuanto a los procesos de tramitología para reducir inconformidades durante los procesos de gestión Solicitar mayor flexibilidad al gobierno en cuanto a los trámites que deben realizar los transformadores de residuos

*Barrera adicional indicada por los actores del sector construcción

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones obtenidas en este estudio. Cabe destacar que, tal como se indicó para el caso de los resultados, las conclusiones no es posible generalizarlas a los distintos actores involucrados, esto debido a que, las respuestas recibidas no lo permiten y no reflejan la situación nacional en sí, sino, de algunas regiones y situaciones individuales. Dicho esto, se concluye lo siguiente:

- En general, las empresas constructoras analizadas, separan sus residuos para su aprovechamiento en sus propios proyectos.
- Las cementeras Holcim y CEMEX, aprovechan los residuos de madera y empaques cementicios como combustibles alternativos, se desconoce la cantidad que se co-procesa. Así mismo, recuperan los residuos de concreto para incorporarlos al proceso de fabricación de cemento.
- Los gestores de residuos sólidos que reciben materiales, logran valorizar principalmente los metales, y en menor medida madera, siempre y cuando venga limpia. En el caso de los residuos concreticios, estos son dispuestos en relleno sanitario.
- Con respecto al sector gobierno, actualmente no existe una reglamentación específica para los residuos de la construcción, a pesar de que la Ley N°8839 indica en su Transitorio 1 que el Poder Ejecutivo la reglamentará dentro del término de seis meses, contado a partir de la fecha de su publicación, la cual fue en el 2010, pero la falta de reglamentación no impedirá que esta se aplique.
- La única empresa distribuidora participante, actualmente no se encuentra involucrada en la cadena de recuperación de residuos de la construcción y demolición.
- En el caso de los centros de acopio, se determina que, a la fecha, no se han identificado lugares donde se acopie concreto, empaques cementicios ni madera.
- Las empresas constructoras experimentan principalmente barreras de carácter técnico, ambiental y económico, en gran medida asociadas a la falta de capacitación, estudios técnicos y asignación de un presupuesto a la gestión de sus residuos.
- De manera general, las empresas gestoras y transformadoras de los RCD, presentan desafíos técnicos y económicos, asociados a la infraestructura para la gestión y

transformación, así como problemas de financiamiento. No fue posible conocer la perspectiva de la situación actual y barreras que experimentan los centros de acopio.

- Con respecto al gobierno, su principal barrera reside en la poca claridad sobre la situación actual de los residuos de la construcción y demolición, así como la ausencia de reglamentación específica.
- Las medidas propuestas radican principalmente en mayor capacitación por parte de los actores del sector construcción, estudios técnicos, alianzas entre partes interesadas y mayor flexibilidad en cuanto al acceso a financiamiento, así como el desarrollo de reglamentación específica para la adecuada gestión de los RCD.

5.2 RECOMENDACIONES

- Promover investigaciones que involucren a mayor cantidad de actores del sector construcción, así como estudios interdisciplinarios entre los sectores ambiental y construcción, para analizar los residuos estudiados y conocer si cumplen con los estándares de calidad de los materiales nuevos.
- Identificar la situación actual y barreras para la valorización de otros residuos de la construcción, ya que este estudio se limitó únicamente a cuatro de ellos que se suelen generar en mayor cantidad.
- Promover alianzas público-privadas entre las distintas partes interesadas del sector de la construcción.
- A las empresas productoras de cemento, se les recomienda fomentar una estrategia de Responsabilidad Extendida al Productor, en coordinación con las municipalidades y distribuidores, para que manejen de manera adecuada los residuos de los materiales que colocan en el mercado.
- El Ministerio de Salud elabore y difunda un reglamento sobre residuos de la construcción y demolición, que guíe al sector construcción en cuanto a la gestión adecuada de sus residuos.
- Las municipalidades podrían formular un reglamento de gestión de residuos de la construcción y demolición, debido a la ausencia de uno nacional.

6 REFERENCIAS

- [1] International Energy Agency, “GlobalABC Regional Roadmap for Buildings and Construction in Latin America 2020-2050: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector”, 2020. [Online]. Available: https://globalabc.org/sites/default/files/inline-files/2.GlobalABC_Regional_Roadmap_for_Buildings_and_Construction_in_Latin_America_2020-2050.pdf
- [2] R. Stasiak, M. Potkány, “Construction Costs Analysis And Its Importance To The Economy”, Business Economics and Management 2015 Conference. *Elsevier*, 2015. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115015981>
- [3] G. Ofori, “New Perspective on Construction in Developing Countries”, *Spon Press*, London, UK, 2012.
- [4] L. Abarca, G. Maas, H. van Twillert, “Barriers and motivations for construction waste reduction practices in Costa Rica”, *Resources*, 2017, 6, 69.
- [5] L. Abarca, “A Construction Waste Generation Model for Developing Countries”, Ph.D. Thesis, *Eindhoven University of Technology*, Eindhoven, the Netherlands, 2014.
- [6] M. Del Río, P. Gracia, I. Salto, “Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered”, 2010. [Online]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242x09103841>
- [7] International Labour Organization, “Developing the construction industry for employment intensive infrastructure investments”, 2007. [Online]. Available: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_policy/---invest/documents/publication/wcms_734235.pdf
- [8] W. Yu, S. Cheng, W. Ho, Y. Chang, “Measuring the Sustainability of Construction Projects throughout Their Lifecycle: A Taiwan Lesson”, *Sustainability*, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su10051523>
- [9] Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo, “Reglamento de Construcciones”, *La Gaceta*, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/3479>
- [10] Parlamento Europeo, “Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el

- sector de la construcción”, 2014.
- [11] International Monetary Fund (IMF), “IMF DataMapper – GDP”, 2019. [Online]. Available:
<https://www.imf.org/external/datamapper/NGDPD@WEO/OEMDC/ADVEC/WEOWORLD/WHQ/WEQ/EUQ/EEQ/APQ>
- [12] M. Fay, L. Andres, C. Fox, U. Narloch, S. Straub, M. Slawson, “Rethinking Infrastructure in Latin America and the Caribbean”, 2017. [Online]. Available:
<https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26390/114110-REVISED-PUBLIC-RethinkingInfrastructureFull.pdf>
- [13] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), “Latin American Economic Outlook 2019: Development in Transition”, Paris, 2019. [Online]. Available:
<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/g2g9ff18en.pdf?expires=1621311612&id=id&accname=guest&checksum=304787EDC4F8CAF93050568099E519AF>
- [14] The World Bank, “Data: Population Living in Slums (% of urban population”, 2014b. [Online]. Available:
<https://data.worldbank.org/indicator/EN.POP.SLUM.UR.ZS?view=map>
- [15] Cámara Costarricense de la Construcción, “Informe Económico del Sector Construcción”, 2020. [En línea]. Disponible en:
<https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/10214>
- [16] Asamblea Legislativa, “Ley para la Gestión Integral de Residuos N° 8839”, *Sistema Costarricense de Información Jurídica*, 2010. [En línea]. Disponible en:
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=68300&nValor3=118677¶m2=1&strTipM=TC&IResultado=6&strSim=simp
- [17] United States Environmental Protection Agency, “Construction Waste Management”, 2007. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/017419.pdf>
- [18] L. Zheng, H. Wu, H. Zhang, H. Duan, J. Wang, W. Jiang, B. Dong, G. Liu, J. Zuo, Q. Song, “Characterizing the generation and flows of construction and demolition waste in

- China”, *Construction and Building Materials*, 136, 405–413, 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.055>
- [19] A. Leandro, “Manejo de los Desechos en la Construcción”, 2007. [En línea]. Disponible en: [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/492/Informe final Manejo de Desechos en la construcci](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/492/Informe%20final%20Manejo%20de%20Desechos%20en%20la%20construcci%20n%20Etapa%20II.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [20] Franklin Associates, “Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the United States”, 2016. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/charact_bulding_related_cd.pdf
- [21] H. Bergsdal, R.E. Bohne, H. Brattebø, “Projection of construction and demolition waste in Norway”, *J. Ind. Ecol*, 2007, 11 (3).
- [22] JRC, “Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C&D) Waste Management. A Practical Guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA)”, European Commission Joint Research Centre e Institute for Environment and Sustainability, 2011. [Online]. Available: <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/assessment/publications#w>
- [23] V. Monier, M. Hestin, M. Trarieux, S. Mimid, L. Domröose, M. Van Acoleyen, P. Hjerp, S. Mudgal, “Study on the Management of Construction and Demolition Waste in the EU”, 2011. [Online]. Available: http://www.eu-smr.eu/cdw/docs/BIO_Construction%20and%20Demolition%20Waste_Final%20report_09022011.pdf
- [24] C. Luangcharoenrat, S. Intrachotoo, V. Peansupap, W. Sutthinarakorn, “Factors Influencing Construction Waste Generation in Building Construction: Thailand’s Perspective”, *Sustainability*, 11(13), 3638, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su11133638>
- [25] L. Abarca, A. G. Leandro, “Guía para el manejo eficiente de materiales de construcción”, Cámara Costarricense de la Construcción e Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2016. [En línea]. Disponible en:http://archivo.construccion.co.cr/descargas/GUIA_MANEJO_MATERIALES_CONSTRUCCION.pdf
- [26] R. Islam, T. Nazifa, A. Yuniarto, A.S.M. Shanawaz, S. Salmiati, S. Shahid, “An

- empirical study of construction and demolition waste generation and implication of recycling”, *Waste Management*, 95, 10–21, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.049>
- [27] United States Environmental Protection Agency, “Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet Assessing Trends in Materials Generation and Management in the United States”, 2020. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2021-01/documents/2018_ff_fact_sheet_dec_2020_fnl_508.pdf
- [28] A. Bakchan, K.M. Faust, “Construction waste generation estimates of institutional building projects: Leveraging waste hauling tickets”, *Waste Management*, 2019, 87, 301–312. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.02>
- [29] A. Bakshan, I. Srour, G. Chehab, M. El-Fadel, 2015 “A field based methodology for estimating waste generation rates at various stages of construction projects”, *Resour. Conserv. Recycl*, 2015, 100, 70–80.
- [30] O.F. Kofoworola, S.H. Gheewala, “Estimation of construction waste generation and management in Thailand”, *Waste Manag*, 2009, 29, 731–738.
- [31] I. Martínez Lage, F. Martínez, C.V. Herrero, J.L.P. Ordóñez, “Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain)”, *Waste Manag*. 2010, 30, 636–645.
- [32] K. Sandler, “Analyzing what’s recyclable in C&D debris”, *Biocycle*, 2003, 44, 51–54.
- [33] W. Zhao, R.B. Leefink, V.S. Rotter, “Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China-the case of Chongqing”, *Resour. Conserv. Recycl*, 2010, 54, 377–389, 2010.
- [34] K. Cochran, T. Townsend, D. Reinhart, H. Heck, “Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: case study for Florida. US”, *Waste Manag*, 2007, 27, 921–931.
- [35] R.A. Begum, C. Siwar, J.J. Pereira, A.H. Jaafar, “A benefit-cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimisation: the case of Malaysia”, *Resour. Conserv. Recycl*, 2006, 48, 86–98.
- [36] United States Environmental Protection Agency, “Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States. Report No. EPA530-R-98-010”,

- US Environmental Protection Agency - Municipal and Industrial Solid Waste Division, Office of Solid Waste, 1998. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/charact_bulding_related_cd.pdf
- [37] UNEP-ISWA, “Global Waste Management Outlook, 2015.
- [38] CAMACOL & SENA, “Proyecto de investigación del sector de la construcción de edificación en Colombia”, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://camacol.co/sites/default/files/documentos/Proyecto%20Investigativo%20del%20Sector%20de%20la%20Construccion.pdf>
- [39] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros”, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- [40] R. Robayo, P. Matthey, Y. Silva, D. Burgos, S. Delvasto, “Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento”, *Tecnura*. 2015. Vol. 19, N° 44, pp. 157-170, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a1237.SDA>
- [41] M. Varela, J. Rodríguez, “Estimación de generación y composición de residuos de construcción en la ciudad de Villavicencio, V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324686282_ESTIMACION_DE_GENERACION_Y_COMPOSICION_DE_RESIDUOS_DE_CONSTRUCCION_EN_LA_CIUADAD_DE_VILLAVICENCIO
- [42] S. Suárez, C. Betancourt, J. Molina, L. Mahecha, “La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión”, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>
- [43] C. Pacheco, L. G. Fuentes, E.H. Sánchez, H. A. Rondón, “Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión”, Universidad del Norte, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/852/85252030015.pdf>

- [44] Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, “Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición”, 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>
- [45] M. Ramírez, “Impacto físico y financiero de la generación de desechos sólidos en la construcción de dos proyectos hoteleros”, Tesis Lic., Universidad de Costa Rica, 1995.
- [46] A.J. Villalobos, “Estudio de Generación de Desechos en la Construcción de Viviendas de Mampostería”, Tesis Lic., Universidad de Costa Rica, 1995.
- [47] H. van Twillert, “Costa Rican Construction Sector Waste Management Assessment”, M. Sc. Eindhoven University of Technology, 2007.
- [48] L. Abarca, F.M. Scheublin, E.L.C. van Egmond-de Wilde de Ligny, A.J.D. Lambert, “Sustainable Construction: Towards a strategic approach to construction material management for waste reduction”, 10th PhD symposium of the Research School Integral Design Structures, Delft: Technische Universiteit, 2008a. [Online]. Available: www.osbouw.nl/phd_projects_2008/Abarca_2008.pdf.
- [49] L. Abarca, A.G. Leandro, “Situación actual de la gestión de los materiales de la construcción en Costa Rica”, *Revista Tecnología en Marcha*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18845/tm.v29i4.3042>
- [50] L. Abarca, “Nivel de importancia de las causas de generación de residuos en la construcción en Costa Rica”, *Revista Tecnología en Marcha*, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3417>
- [51] J.P. Angulo, “Buenas prácticas para el manejo de materiales de la construcción y su impacto económico”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2019. [En línea]. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11162/buenas_pr%C3%A1cticas_para_manejo_materiales.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [52] T. Napier, “Construction Waste Management”, WBDG, National Institute of Building Sciences, 17 Oct. 2016. [Online]. Available: www.wbdg.org/resources/construction-waste-management
- [53] A. Alwadhanani, “Potential Benefits from Practices in Construction Waste Material

- Controls”, West Virginia University, 2020. [Online]. Available: <https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=8991&context=etd>
- [54] C. Dalla, “Proposta de sistema informatizado de monitoramento e controle da gestão de resíduos sólidos de construção civil para empresas construtoras”, Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
- [55] T. G. Townsend, “Benefits of construction and demolition debris recycling in the United States”, Construction & Demolition Recycling Association, 2017. [Online]. Available: https://cdrecycling.org/site/assets/files/1050/cdra_benefits_of_cd_recycling_final_revised_2017.pdf
- [56] C. Hatada De Lima, P. Presumido, C. Zanna, T. Dal Bosco, “Proposta e verificação de novo método para melhoria de índice de qualidade de segregação de resíduos da construção civil Proposal and verification of a new method for improving the quality index of construction waste segre”, *Revista de Engenharia Civil IMED*, 2020. [Em linha]. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2020.v7i1.3328>
- [57] Comisión Europea, “Protocolo de gestión de residuos de construcción y demolición en la UE, Comisión Europea (2016)”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://static.construible.es/media/2017/11/protocolo-gestion-residuos-construccion-demolicion-ue.pdf>
- [58] European Commission, “Development and implementation of initiatives fostering investment and innovation in construction and demolition waste recycling infrastructure”, 2018. [Online]. Available: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/3637d9db-1c3e-11e8-ac73-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-116393861>
- [59] European Commission, “Recovery rate of construction and demolition waste”, Statistics | Eurostat, 2021. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_wm040/default/line?lang=en
- [60] DESTATIS- Statistisches Bundesamt, “Environment waste balance”, Berlin, 2018. Accessed april, 2021. [Online]. Available: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/AbfallbilanzPDF_5321001.pdf?blob=publicationFile

- [61] Brasil, “Resolução CONAMA N° 469”, *Diário Oficial da União* 2015, Brasília, 2015.
- [62] Brasil, “Lei N° 12.305, *Diário Oficial da União* 2010, Brasília, 2010.
- [63] G. Rodríguez, F.J. Alegre, G. Martínez, “The contribution of environmental management systems to the management of construction and demolition waste: The case of the Autonomous Community of Madrid (Spain)” , *Resources, Conservation and Recycling*, 2007, v. 50, n. 3, p. 334-349.
- [64] K.R.A. Nunes, C.F. Mahler, “Comparison of construction and demolition waste management between Brazil, European Union and USA”, *Waste Management and Research*, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/0734242X20902814>
- [65] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015”, São Paulo, 2016. Accessed april, 2021. [Em linha]. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>
- [66] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016”, São Paulo, 2017. [Em linha]. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>
- [67] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017”, São Paulo, 2018. [Em linha]. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/panorama/>
- [68] Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, “Diagnóstico Anual de Resíduos Sólidos”, Brasília, 2015.
- [69] Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales, “Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción”, 2011. [En línea]. Disponible en: https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/guia_de_manejo_de_escombros.pdf
- [70] L. Abarca, A. G. Leandro, I. Hasbum, J. Solano, “Gestión de materiales de construcción en Costa Rica para reducción de residuos: barreras y motivaciones”, *Revista Tecnología en Marcha*, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18845/tm.v32i6.4230>
- [71] E. Mazur, “OECD Accession Review of Costa Rica in the Fields of Environment and Waste, Organisation for Economic Co-operation and Development”, 2020. [Online]. Available: <https://www.comex.go.cr/media/8084/env-epoc-2019-18-finalen.pdf>

- [72] Ministerio de Salud, “Plan Nacional para la Gestión de Residuos 2016-2021”, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politicas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>
- [73] Ministerio de Salud, “Política Nacional Para la Gestión Integral de Residuos 2010-2021”, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politicas-y-planes-en-salud/politicas-en-salud/1107-politica-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2010-2021/file>
- [74] United States Environmental Protection Agency, “Recycling Basics”, 2020. Accessed april, 2021. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/recycle/recycling-basics>
- [75] M. Ibrahim, “Estimating the sustainability returns of recycling construction waste from building projects”, *Sustainable Cities and Society*, 2016, 23, 78–93.[Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.03.005>
- [76] United States Environmental Protection Agency, “Recycling Economic Information (REI) Report”, 2020. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2020-11/documents/rei_report_508_compliant.pdf
- [77] United States Environmental Protection Agency, “Advancing Sustainable Materials Management: 2016 Recycling Economic Information (REI) Report”, 2016. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-05/documents/final_2016_rei_report.pdf
- [78] X. Duran, H. Lenihan, B. O’Regan, “A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling- the case of Ireland”, *Resour. Conserv. Recycl*, 2006, 46 (3), 302-320.
- [79] Z. Wu, A.T.W. Yu, L. Shen, “Investigating the determinants of contractor’s construction and demolition waste management behavior in Mainland China”, *Waste Manag*, 2017, 60, 290-300.
- [80] Poder Ejecutivo, “Reglamento para el co-procesamiento y gestión de residuos en hornos cementeros N° 40557-S”, Sistema Costarricense de Información Jurídica, 2018. [En línea]. Disponible en:

http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=84662&nValor3=0&strTipM=TC

- [81] Holcim Group Support Ltd, Agencia Alemana para el Desarrollo (GIZ), “Guía para el Co-Procesamiento de Residuos en la Producción de Cemento, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.ficem.org/boletines/boletines2014/coprocesamientofebrero2014/OTROS%20DOCUMENTOS%20DE%20INTERES/Guidelines%20GTZ-Holcim%20Espanol.pdf>
- [82] A. Jensen, “Potencial para la valorización energética de residuos urbanos en México, a través del coprocesamiento en hornos cementeros”, GIZ México, 2016. [En línea]. Disponible en: https://www.giz.de/en/downloads/giz2016-es-EnRes-Potencial_para_la_valorizacion_energetica.pdf
- [83] Cement & Concrete Association of New Zealand, “The New Zealand Guide to Construction”, 2010. [Online]. Available: https://cdn.ymaws.com/concretenz.org.nz/resource/resmgr/docs/ccanz/ccanz_tm35.pdf
- [84] United States Environmental Protection Agency, “Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from The Portland Cement Industry”, Office of Air and Radiation, 2010. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/cement.pdf>
- [85] S.P. Dunuweera, R.M.G. Rajapakse, “Cement Types, Composition, Uses and Advantages of Nanocement, Environmental Impact on Cement Production, and Possible Solutions”, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2018. [Online]. Available: <https://downloads.hindawi.com/journals/amse/2018/4158682.pdf>
- [86] European Commission, “Advanced Technologies for the Production of Cement and Clean Aggregates from Construction and Demolition Waste”, CORDIS EU research results, 2015. Accessed april, 2021. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/265189>
- [87] TC. Hansen, “The second RILEM state of the art report on recycled aggregates and recycled aggregate concrete”, *Materials and Structures*, 1986.
- [88] V. Tam, “Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries”, *Elsevier*, 2009. [Online]. Available:

- <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.015>
- [89] Ministry of Land Infrastructure and Transport, “Japan environment white paper”. Ministry of Land Infrastructure and Transport, Japanese Government, 2006.
- [90] Environmental Council of Concrete Organizations, “Recycled concrete and masonry”, Environmental Council of Concrete Organizations, Japan, 2006.
- [91] R. Tanaka, S. Miura, Y. O’Hagan, “Experimental study on the possibility of using permanently recycled concrete for reinforced concrete structures”, France: Centre National De Le Recherche´ Scientifique, France, 2006.
- [92] United States Environmental Protection Agency, “Guidance for Federal Land Management in the Chesapeake Bay Watershed”, 2010. [Online]. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/chesbay_chap07.pdf
- [93] C2CA, “Why focus on concrete?”, Accessed april, 2021. [Online]. Available: <http://www.c2ca.eu/activities/why-focus-on-concrete/>
- [94] S. Lotfi, M. Eggimann, E. Wagner, R. Mróz, J. Deja, “Performance of recycled aggregate concrete based on a new concrete recycling technology”, *Construction and Building Materials*, 2015, 95, 243–256. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.021>
- [95] C. Bedoya, L. Dzul, “El concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana”, *Revista Ingeniería en Construcción*, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v30n2/art02.pdf>
- [96] V. Dussan, M. Rincon, “Uso de la madera como materia prima de construcción para una solución de vivienda en un sector socioeconómico medio de la población en la ciudad de Villavicencio-Meta”, Universidad Cooperativa de Colombia, 2014. [En línea]. Disponible en: https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/14295/1/2014_uso_madera_materia.pdf
- [97] A. Dodoo, L. Gustavsson, R. Sathre, “Recycling of Lumber. Handbook of Recycling: State-of-the-art for Practitioners, Analysts, and Scientists”, *Elsevier Inc*, 2014. [Online]. Available: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-396459-5.00011-8>

- [98] Trada Technology and Enviros Consulting Ltd., “Options and Risk Assessment for Treated Wood Waste”, The Waste & Resources Action Programme (WRAP), Banbury (Oxon), ISBN No: 1-84405-177-3, 2005.
- [99] C.B. Vick, R.L. Geimer, J.E. Wood, “Flakeboards from recycled CCA-treated southern pine lumber”, *For. Prod. J.* 46 (11/12), 89–91, 1996.
- [100] A. Reichel, M. De Schoenmakere, J. Gillabel, J. Martin, Y. Hoogeveen, 2016, “Circular Economy in Europe Developing the Knowledge Base”, 2016. [Online]. Available: <http://doi.org/10.2800/51444>.
- [101] M. Edo, E. Björn, P.E. Persson, S. Jansson, 2015 “Assessment of chemical and material contamination in waste wood fuels - a case study ranging over nine years”, *Waste Manage.* 2015, 49, 311–319. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.048>
- [102] J. Krook, A. Mårtensson, M. Eklund, M., 2006. “Sources of heavy metal contamination in Swedish wood waste used for combustion”, *Waste Manage.* 2006, 26, 158–166. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.017>
- [103] Värmeforsk, “Report 1234: Bränslehandboken 2012 (The Fuel Handbook 2012)”, ISSN 1653-1248, 2012, pp. 442.
- [104] U. Mantau, U. Saal, K. Prins, F. Steierer, M. Lindner, H. Verkerk, J. Eggers, N. Leek, J. Oldenburger, A. Asikainen, P. Anttila, “EUwood - Real potential for changes in growth and use of EU forests, Final report, *EUwood*, 2010, 106p.
- [105] EPRS (European Parliamentary Research Service), “Understanding waste streams – Treatment of specific waste”, Briefing, 2015.
- [106] G. Faraca, A. Boldrin, T. Astrup, “Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling”, *Waste Management*, 2019, 87, 135–147. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31109513/>
- [107] M. Rivera, R. Moya, “Potential for pellet manufacturing with wood waste from construction in Costa Rica”, *Waste Management & Research*, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1177/0734242X19893022>
- [108] Metals for Buildings, “Metals for buildings”, Accessed april, 2021. [Online]. Available: <https://www.metalsforbuildings.eu/assets/pdf/bd5643ba39/MFB-leaflet-LR-EN.pdf>

- [109] Agencia de Residuos de Cataluña & Gremio de Recuperación de Cataluña, “Guía de Buenas Prácticas para el Reciclaje de Metales en Cataluña”, 2010. [En línea]. Disponible en:
http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/prevencio/guia_metals_ok.pdf
- [110] C. Hagelüken, “Recycling of (Critical) Metals: In Critical Metals Handbook”, Gunn, G., Ed.; Wiley: Oxford, UK, 2014.
- [111] Sindicato Nacional da Indústria do Cimento, “SNIC 2010 annual report”, 2010. [Online]. Available: <http://www.snic.org.br/>
- [112] J. Machado, D. De Luca, J. Mármol, J. De Carvalho, J. De Oliveira, J. Fiorelli, “Manufacture of particleboard based on cement bag and castor oil polyurethane resin”, *Construction and Building Materials*, 2015, 87, 8–15. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.03.114>
- [113] J. Laredo dos Reis, J. Cardoso, P. Ferreira, “Mechanical Properties of Recycled Kraft Paper Residue Polyester Composites”, *Materials Research*, 17(14): 888-892, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392014005000086>
- [114] A. Sousa, H. Lessa, I. Moreira, L. Amaral, L. Ferreira, M. Soares de Almeida Ramos, R. Santos, R. Costa, A. Viera da Silva, “Krafterra: Ecological Brick”, 2011. [Online]. Available: <https://revistas.unibh.br/dcet/article/download/355/184>
- [115] X. Ma, C. Li, B. Li, “Carbon Emissions of China’s Cement Packaging: Life Cycle Assessment”, *Sustainability*, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su11205554>
- [116] S. Nakajima, M. Russell, “Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials”, International Council for Research and Innovation in Building and Construction, 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/264671518_Barriers_for_Deconstruction_and_ReuseRecycling_of_Construction_Materials_in_Norway
- [117] European Commission, “Service Contract on Management of Construction and Demolition Waste-SR1”, Final Report Task 2, 2011.

- [118] V.K. Mittal, K.S. Sangwan, “Prioritizing barriers to green manufacturing: Environmental, social and economic perspectives, variety management in manufacturing” *Procedia CIRP*, 2014, 17, 559–564.
- [119] M.U. Hossain, Z. Wu, C.S. Poon, “Comparative environmental evaluation of construction waste management through different waste sorting systems in Hong Kong”, *Waste Manag*, 2017, 69, 325–335.
- [120] A. H. Abba, Z.Z. Noor, R.O. Yusuf, M.F.M.D. Din, M.A.A. Hassan, “Assessing environmental impacts of municipal solid waste of Johor by analytical hierarchy process”, *Resour. Conserv. Recycl*, 2014, 73, 188–196.
- [121] R.H. Crawford, D. Mathur, R. Gerritsen, “Barriers to improving the environmental performance of construction waste management in remote communities”, *Procedia Eng*, 2017, 196, 830–837.
- [122] H. Yuan, L. Shen, J. Wang, “Major obstacles to improving the performance of waste management in China’s construction industry”, *Facilities*, 2011, 29, 224–242.
- [123] M.M.M. Teo, M. Loosemore, “A theory of waste behavior in the construction industry”, *Constr. Manag. Econ*, 2001, 19, 741–751.
- [124] V. Ranta, L. Aarikka-Stenroos, P. Ritala, S.J. Mäkinen, “Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe”, *Resour. Conserv. Recycl*, 2018, 135, 70–82.
- [125] J. Li, K. Yu, “A study on legislative and policy tools for promoting the circular economic model for waste management in China”, *J. Mater. Cycles Waste Manag*, 2011, 13, 103–112.
- [126] S. Ritzén, G.Ö Sandström, “Barriers to the circular economy—integration of perspectives and domains”, *Procedia CIRP*, 2017, 64, 7–12.
- [127] V. Veleva, G. Bodking, S. Todorova, “The need for better measurement and employee engagement to advance a circular economy: Lessons from Biogen’s “ZeroWaste””, *J. Clean. Prod*, 2017, 154, 517–529.
- [128] M. Osmani, P. Villoria-Sáez, “Current and emerging construction waste management status, trends and approaches”. In *Waste*, 2nd ed.; T.M. Letcher, D.A. Vallero, Eds., Elsevier Inc, 2019; pp. 365–380.

- [129] A. Kuijsters, “Environmental Response of the Chilean Building Sector”, Master’s Thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2004.
- [130] M.L. Dumlao-Tan, A. Halog, “Chapter 2. Moving Toward a Circular Economy in SolidWaste Management. In Advances in Solid and Hazardous Waste Management: Concepts and Practices,” 1st ed.; S. Goel, Ed.; *Springer International Publishing*: New York, NY, USA, 2017; pp. 29–48.
- [131] J. Singh, J.; I. Ordonez, “Resource recovery from post-consumer waste: Important lessons for the upcoming circular economy”, *J. Clean. Prod.* 2016, 134, 342–353.
- [132] J. Lee, A.B. Pedersen, M. Thomsen, “Are the resource strategies for sustainable development sustainable? Downside of a zero waste society with circular resource flows”, *Environ. Technol. Innov.* 2014, 1, 46–54.
- [133] M.R. Esa, A. Halog, L. Rigamonti, “Developing strategies for managing construction and demolition wastes in Malaysia based on the concept of circular economy”, *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 2016, 19, 1144–1154.
- [134] D. Yong, “Plant location selection based on fuzzy TOPSIS”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2006, 28, 839–844.
- [135] Ministerio de Salud, “Listado de gestores de residuos aprobados”, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/gestores-de-residuos-ms>.
- [136] A. K. Badraddin, R.A. Rahman, S. Almutairi, M. Esa, “Main Challenges to Concrete Recycling in Practice”, *Sustainability*. 2021,13,11077. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su131911077>

APÉNDICE

Apéndice 1: Cuestionario aplicado a empresas constructoras

CUESTIONARIO PARA EMPRESAS CONSTRUCTORAS

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. El objetivo es identificar las barreras que experimenta el sector construcción en cuanto al aprovechamiento de cuatro residuos de la construcción (concreto, madera, metales, sacos de cemento y repellos).

Este sondeo cuenta con tres secciones y le tomará aproximadamente 10 minutos completarlo. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente. Si tiene una consulta o comentario, siéntase en la libertad de escribir al siguiente correo: nmdez96@gmail.com

Indicaciones:

Para cada una de las siguientes preguntas, favor responder la pregunta en caso de que esté de acuerdo con ello y marcar con X donde corresponda.

1. Información general

Nombre de la empresa:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

2. Valorización de los residuos de la construcción

El siguiente apartado consiste en brindar información acerca del manejo que la empresa le da al concreto, madera, metales y empaques de papel Kraft (cemento, morteros, repellos, entre otros). Adicionalmente, se muestran una serie de enunciados, donde se debe seleccionar con una equis (X) si se considera que es una barrera para el reciclaje de los residuos de la construcción ya mencionados.

2.1 Separación de residuos de la construcción

En el siguiente recuadro, por favor indicar si en el área de trabajo se realiza la separación de los siguientes residuos de la construcción. En caso de separarlos, indicar si su destino es para reciclaje o reutilización (dentro o en otro proyecto).

<i>Concreto</i>					
Separa	Sí	No	Para reciclaje	Para reutilización	
			¿A quién entrega? (Indicar contacto de ser posible)	Dentro del mismo proyecto	En otro proyecto
<i>Madera</i>					
	Sí	No	Para reciclaje	Para reutilización	

Separa			¿A quién entrega? (Indicar contacto de ser posible)	Dentro del mismo proyecto	En otro proyecto
Sacos de materiales cementicios (cemento, morteros, repellos) (papel Kraft)					
Separa	Sí	No	Para reciclaje	Para reutilización	
			¿A quién entrega? (Indicar contacto de ser posible)	Dentro del mismo proyecto	En otro proyecto
Metales					
Separa	Sí	No	Para reciclaje	Para reutilización	
			¿A quién entrega? (Indicar contacto de ser posible)	Dentro del mismo proyecto	En otro proyecto
Acero					
Hierro					
Aluminio					
Bronce					
Cobre					
Otro (indicar cuál):					

2.2 Barreras técnicas

A continuación, se le muestran una serie de barreras técnicas que experimenta el sector construcción a nivel internacional. Favor indicar si ha experimentado alguna (s) de ellas y en los casos donde corresponda, justificar su respuesta.

Barrera	Sí	No	Observaciones
2.2.1 En el proceso de diseño y planificación del proyecto constructivo, se toma en consideración la cantidad de residuos de concreto que se va a producir			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.2.2 Se cuenta con equipo para separar el concreto de las barras de refuerzo o varillas			
2.2.3 Creencia que los residuos de concreto son de baja calidad como para emplearlos en la construcción de carreteras u otros			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.2.4 Cuando los residuos de concreto se encuentran mezclados con otro tipo de residuos, su calidad disminuye, así como su resistencia a la compresión una vez que han sido reciclados			
2.2.5 Residuos de concreto contaminado con otros residuos (por ejemplo, pintura), se prefiere enviar a relleno sanitario o disponerlo en otro sitio que reciclarlo o reutilizarlo			
2.2.6 Para empresas de construcción sostenible: Se incluyen como criterios de sostenibilidad la			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

reutilización y reciclaje del concreto en la planificación de un proyecto			
2.2.7 Tiene conocimiento sobre algunas alternativas para facilitar la reutilización o reciclaje de la madera			En caso de que su respuesta sea sí, ¿Cuáles son esas alternativas?
2.2.8 La madera que se encuentra contaminada con residuos de pintura, pegamento, barniz, entre otros, se desecha			

2.3 Barreras económicas

A continuación, se le muestran una serie de barreras económicas que experimenta el sector construcción a nivel internacional. Favor indicar si ha experimentado alguna (s) de ellas y en los casos donde corresponda, justificar su respuesta.

Barrera	Sí	No	Observaciones
2.3.1 Se considera que el agregado (concreto) reciclado es de baja calidad por lo que su precio debe ser menor			
2.3.2 Se destina un presupuesto asociado a la separación de residuos de la construcción dentro de la fase de planificación del proyecto			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

2.4 Barreras sociales

A continuación, se le muestran una serie de barreras sociales que experimenta el sector construcción a nivel internacional. Favor indicar si ha experimentado alguna (s) de ellas y en los casos donde corresponda, justificar su respuesta.

Barrera	Sí	No	Observaciones
2.4.1 Preferencia de los clientes por los materiales nuevos que por los reciclados			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.4.2 Existe compromiso por parte de empresa en cuanto al reciclaje o reutilización de los residuos que genera			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.4.3 La empresa les da un manejo adecuado a los residuos dentro del área del proyecto			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

2.5 Barreras ambientales

A continuación, se le muestran una serie de barreras ambientales que experimenta el sector construcción a nivel internacional. Favor indicar si ha experimentado alguna (s) de ellas y en los casos donde corresponda, justificar su respuesta.

Barrera	Sí	No	Observaciones
2.5.1 Con una mejor planificación, diseño, renovación y deconstrucción del proyecto en general, es posible reducir la cantidad de residuos de concreto generados			
2.5.2 Los procesos de desarmado, clasificación, transporte y recuperación, son procesos eficientes en términos de generación de residuos de la construcción			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.5.3 De existir algún incentivo o exoneración por separar los residuos (concreto, madera, metales y bolsas de cemento), implementaría estas prácticas en sus proyectos)			
2.5.4 Es necesario que todos los involucrados del sector, construcción reciban educación ambiental en cuanto al buen manejo de los residuos de la construcción			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.5.5 Los procesos constructivos y de demolición, tienen un gran impacto negativo sobre el ambiente en cuanto a la generación de residuos de la construcción			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

2.6 Barreras legales

A continuación, se le muestran una serie de barreras legales que experimenta el sector construcción a nivel internacional. Favor indicar si ha experimentado alguna (s) de ellas y en los casos donde corresponda, justificar su respuesta.

Barrera	Sí	No	Observaciones
2.6.1 La existencia de una certificación que demuestre que el agregado (concreto) reciclado cumple con los estándares de calidad del concreto fabricado a partir de agregados nuevos o naturales, le brindaría mayor seguridad para emplearlo en los proyectos constructivos			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.6.2 Ausencia de reglamentación nacional en cuanto a la prohibición del vertido de residuos de la construcción en relleno sanitario reduce el compromiso de las empresas por recuperar los residuos de la construcción para reciclaje o como recurso energético			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

3. ¿Cuáles cree usted que son las principales barreras que enfrenta la empresa para el manejo adecuado de estos cuatro residuos (concreto, madera, metales y sacos (cemento, morteros, repellos u otros)), además de las ya indicadas? Puede incluir barreras financieras, técnicas, socio- culturales y de gestión desde la perspectiva de la empresa.

¡Muchas gracias por su tiempo!

Apéndice 2: Cuestionario aplicado a gestores/centros de acopio de metales

CUESTIONARIO GESTORES/CENTROS DE ACOPIO DE METALES

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. El objetivo es identificar las barreras que experimenta el sector construcción en cuanto al aprovechamiento de cuatro residuos de la construcción (concreto, madera, metales y bolsas de cemento).

Este sondeo cuenta con dos secciones y le tomará aproximadamente 5 minutos completarlo. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente. Si tiene una consulta o comentario, siéntase en la libertad de escribir al siguiente correo: nmdez96@gmail.com

Indicaciones:

Para cada una de las siguientes preguntas, favor responder la pregunta en caso de que esté de acuerdo con ello y marcar con X donde corresponda.

1. Información general

Nombre de la empresa:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

2. Favor indicar cuál(es) son barreras que se experimentan durante el manejo de los metales provenientes de las construcciones o demoliciones

Barrera	Sí	No	Observaciones
Técnicas			
2.1 Cuando los metales se encuentran mezclados, se dificulta:			
La separación			
Reciclaje			
Venta			
Otra (Especifique)			
Económicas			
2.2 Ausencia de financiamiento para una adecuada gestión de los metales en el país			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.3 Es complejo pasar de una economía lineal a una circular en el tema de los residuos de metales de la construcción en el país			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
Ambientales			

2.4 Falta de responsabilidad de los productores y distribuidores de los materiales de construcción			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.5 Falta de conocimiento y educación ambiental en cuanto al manejo adecuado de los residuos de la construcción			

3. ¿Cuáles cree usted que son las principales barreras que enfrenta la empresa para la gestión de este residuo, además de las ya indicadas? Puede incluir barreras financieras, técnicas, socio-culturales y de gestión desde la perspectiva de la empresa.

¡Muchas gracias por su tiempo!

Apéndice 3: Cuestionario aplicado a gestores/centros de acopio de madera

CUESTIONARIO GESTORES/CENTROS DE ACOPIO DE MADERA

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. El objetivo es identificar las barreras que experimenta el sector construcción en cuanto al aprovechamiento de cuatro residuos de la construcción (concreto, madera, metales y bolsas de cemento).

Este sondeo cuenta con dos secciones y le tomará aproximadamente 5 minutos completarlo. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente. Si tiene una consulta o comentario, siéntase en la libertad de escribir al siguiente correo: nmdez96@gmail.com

Indicaciones:

Para cada una de las siguientes preguntas, favor responder la pregunta en caso de que esté de acuerdo con ello y marcar con X donde corresponda.

1. Información general

Nombre de la empresa:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

2. Favor indicar cuál(es) son barreras que se experimentan durante el manejo de la madera proveniente de las construcciones o demoliciones

Barrera	Sí	No	Observaciones
Técnicas			
2.1 Infraestructura para:			
Recolección			
Transporte			
Almacenamiento			
Preparación			
Otra (Especifique)			
2.2 La madera que se encuentra contaminada con residuos de pintura, pegamento, barniz, entre otros, se desecha			
Económicas			
2.3 Ausencia de financiamiento para dar una gestión adecuada a los residuos de la construcción			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

2.4 Altos costos de infraestructura (recolección, transporte, almacenamiento, preparación) para gestionar la madera			
2.5 Es complejo pasar de una economía lineal a una circular en el tema de los residuos de madera de la construcción en el país			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
Ambientales			
2.6 Falta de responsabilidad de los productores y distribuidores de los materiales de construcción			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.7 Falta de conocimiento y educación ambiental en cuanto al manejo adecuado de los residuos de la construcción			
Legales			
2.8 Ausencia de reglamentación nacional que prohíba el vertido de madera de la construcción, reduce su tasa de recuperación para reciclaje			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.9 Pocas o nulas alternativas para el reciclaje de la madera en Costa Rica			En caso de que su respuesta anterior haya sido sí, ¿Conoce qué se hace con ese material?
2.10 Dado las opciones limitadas para el reciclaje de la madera, se prefiere utilizar este residuo como recurso energético (en hornos, por ejemplo)			

3. ¿Cuáles cree usted que son las principales barreras que enfrenta la empresa para la gestión de este residuo, además de las ya indicadas? Puede incluir barreras financieras, técnicas, socio-culturales y de gestión desde la perspectiva de la empresa.

¡Muchas gracias por su tiempo!

Apéndice 4: Cuestionario aplicado a gestores/centros de acopio de concreto

CUESTIONARIO GESTORES/CENTROS DE ACOPIO DE CONCRETO

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. El objetivo es identificar las barreras que experimenta el sector construcción en cuanto al aprovechamiento de cuatro residuos de la construcción (concreto, madera, metales y bolsas de cemento).

Este sondeo cuenta con dos secciones y le tomará aproximadamente 5 minutos completarlo. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente. Si tiene una consulta o comentario, siéntase en la libertad de escribir al siguiente correo: nmdez96@gmail.com

Indicaciones:

Para cada una de las siguientes preguntas, favor responder la pregunta en caso de que esté de acuerdo con ello y marcar con X donde corresponda.

1. Información general

Nombre de la empresa:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

2. Favor indicar cuál(es) son barreras que se experimentan durante el manejo del concreto proveniente de las construcciones o demoliciones

Barrera	Sí	No	Observaciones
Técnicas			
2.1 Residuos de concreto contaminado con otros residuos (por ejemplo, pintura), se prefiere enviar a relleno sanitario o disponerlo en otro sitio que reciclarlo o reutilizarlo			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
2.2 Ineficiencia de separación en la fuente disminuye la calidad del residuo, aumenta su contaminación y dificulta el reciclaje			
Económicas			
2.3 Suele ser complicado vender el agregado (concreto) reciclado debido a los costos asociados al procesamiento en sitio, transporte y almacenamiento, por lo que se prefiere material natural o nuevo			
2.4 Problemas de financiamiento para la investigación de nuevas alternativas para			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

optimizar las opciones existentes (en términos de consumo energético, eficiencia y costos)			
2.5 Es complejo pasar de una economía lineal a una circular en el tema de los residuos de concreto de la construcción en el país			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
Ambientales			
2.6 Falta de responsabilidad de los productores y distribuidores de los materiales de construcción			
2.7 Falta de conocimiento y educación ambiental en cuanto al manejo adecuado de los residuos de la construcción			
Legales			
2.8 Ausencia de reglamentación nacional que prohíba el vertido de concreto reduce su tasa de recuperación para reciclaje			¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

3. ¿Cuáles cree usted que son las principales barreras que enfrenta la empresa para la gestión de este residuo, además de las ya indicadas? Puede incluir barreras financieras, técnicas, socio-culturales y de gestión desde la perspectiva de la empresa.

¡Muchas gracias por su tiempo!

Apéndice 5: Cuestionario aplicado a empresas transformadoras

CUESTIONARIO TRANSFORMADORES

Indicaciones:

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. A continuación, se presentan las preguntas de acuerdo con los residuos que son de interés. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente.

Este sondeo cuenta con tres secciones y le tomará aproximadamente 10 minutos completarlo. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente. Si tiene una consulta o comentario, siéntase en la libertad de escribir al siguiente correo: nmdez96@gmail.com

1. Información general

Nombre de la empresa:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

2. Valorización de los residuos de la construcción

2.1 Seleccione con una X los residuos que transforma, ya sea mediante reciclaje, co-procesamiento u algún otro proceso:

Restos de concreto

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

Madera

Bolsa de cemento (papel Kraft)

Ninguno

Metales:

Acero

Hierro

Aluminio

Bronce

Cobre

Otro:

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

2.2 De los siguientes puntos, favor indicar con una equis (X), cuáles corresponden a barreras que experimentan los residuos que su empresa transforma. En caso de NO transformar alguno de los cuatro residuos (concreto, madera, bolsas cemento o metales), favor marcar en la casilla de NA (No Aplica).

Categoría	Barrera	Sí	No	NA*	Observaciones
	<i>Residuos de la construcción en general</i>				
Económico	2.2.1 Poco o nulo financiamiento para llevar a cabo un buen manejo de residuos de la construcción				¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
Ambiental	2.2.2 Desconocimiento y falta educación ambiental en cuanto al manejo de residuos de la construcción				

Categoría	Barrera	Sí	No	NA*	Observaciones
	<i>Residuos de concreto</i>				
Técnico	2.2.5 Pocas investigaciones sobre el reciclaje del concreto que permitan en un futuro aprovecharlo en la creación de carreteras				
	2.2.6 Ineficiencia en separación en la fuente disminuye la calidad del residuo, aumenta su contaminación y dificulta el reciclaje				¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
	2.2.7 El concreto se considera como contaminado cuando no se puede eliminar la capa de pintura, por lo que se dispone en rellenos sanitarios o vertederos especiales				
Ambiental	2.2.9 Dado que no existe reglamentación que prohíba la disposición de este residuo en vertederos o rellenos sanitarios, es poco común que se le contrate para reciclarlo				

Categoría	Barrera	Sí	No	NA*	Observaciones
	<i>Metales de la construcción</i>				
Técnico	2.2.10 Mezcla de acero con otros metales reduce la posibilidad de su recuperación				

Categoría	Barrera	Sí	No	NA*	Observaciones
	<i>Madera</i>				
Técnico	2.2.11 Desconocimiento sobre los tratamientos para facilitar la reutilización y reciclaje de la madera				
	2.2.12 Infraestructura para la recolección, transporte, almacenamiento y preparación para la madera				¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

	2.2.13 Residuos de madera contaminados con pegamentos, pintura barniz, impregnación, metales entre otros				
	2.2.14 Se prefiere aprovechar la madera como recurso energético antes de reciclarla				¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
Económico	2.2.15 Se considera que la infraestructura para gestionar la madera es costosa de diseñar, implementar y velar por su cumplimiento				¿Podría indicar el porqué de su respuesta?
Legal	2.2.16 Ausencia de legislación que impida el vertido de la madera en relleno sanitario o vertedero controlado (por ejemplo, para la fecha del estudio, la madera preservada se considera residuo no peligroso)				
	2.2.17 No se cumple la política de reciclaje, pues se prefiere aprovechar la madera como recurso energético antes de reciclar				

Categoría	Barrera	Sí	No	NA*	Observaciones
	<i>Bolsas del cemento (papel Kraft)</i>				
Técnico	2.2.18 En las fibras del papel Kraft se suele impregnar cemento, lo que hace imposible el reciclaje convencional del papel				
Ambiental	2.2.19 Pocos o nulos beneficios económicos por clasificar los materiales de embalaje				¿Podría indicar el porqué de su respuesta?

3. ¿Cuáles cree usted que son las principales barreras que enfrenta la empresa para la gestión de este residuo, además de las ya indicadas? Puede incluir barreras financieras, técnicas, socio-culturales y de gestión desde la perspectiva de la empresa.

¡Muchas gracias por su tiempo!

Apéndice 6: Cuestionario aplicado a productores de cemento

CUESTIONARIO PRODUCTORES DE CEMENTO

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. A continuación, se presentan las preguntas de acuerdo con los residuos que son de interés. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente.

Este sondeo cuenta con dos secciones y le tomará aproximadamente 10 minutos completarlo. Si tiene una consulta o comentario, siéntase en la libertad de escribir al siguiente correo: nmdez96@gmail.com

Indicaciones:

Para cada una de las siguientes preguntas, favor responder la pregunta en caso de que esté de acuerdo con ello y marcar con X donde corresponda.

1. Información general

Nombre de la empresa:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

2. Valorización de los residuos de la construcción

2.1 ¿Considera que los residuos sacos de materiales cementicios (cemento, morteros, repellos, entre otros) que generan sus productos forman parte de su responsabilidad como productor?

Sí No

2.2 Se sabe que, en la actualidad, los residuos de sacos de materiales cementicios (cemento, morteros, repellos, entre otros) no se pueden reciclar por métodos convencionales, debido a que se les impregna cemento. ¿Cree usted que este residuo se pueda recolectar y ser aprovechado como combustible alternativo en los hornos cementeros?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

2.3 ¿La empresa estaría dispuesta a formar alianzas con otros actores de la industria de la construcción (por ejemplo, distribuidores y consumidores) para recolectar los empaques del cemento?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

2.4 En caso de que su respuesta anterior haya sido sí, ¿Cuáles cree usted que son las principales barreras que enfrenta la empresa para el manejo adecuado de estos cuatro residuos (concreto, madera, metales y sacos (cemento, morteros, repellos u otros)), además de las ya indicadas? Puede incluir barreras financieras, técnicas, socio-culturales y de gestión desde la perspectiva de la empresa.

¡Muchas gracias por su tiempo!

Apéndice 7: Cuestionario enviado a distribuidores de materiales de construcción

CUESTIONARIO DISTRIBUIDORES

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. A continuación, se presentan las preguntas orientadas a conocer las limitantes existentes para la transformación del concreto, madera, metales y empaques de materiales cementicios (tipo papel Kraft).

Indicaciones:

Para cada una de las siguientes preguntas, favor responder la pregunta en caso de que esté de acuerdo con ello y marcar con X donde corresponda.

1. Información general

Nombre de la empresa:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

2. Valorización de los residuos de la construcción

2.1 ¿Cree que su empresa, como distribuidor de materiales de construcción, tiene responsabilidades con respecto a los residuos que se generan a partir de los productos que ofrece?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

2.2 ¿Considera que es importante para su empresa recibir capacitaciones o charlas sobre cómo manejar adecuadamente los residuos de la construcción?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

2.3 ¿De existir algún beneficio o incentivo por recolectar y almacenar las bolsas del cemento, implementaría esto en su empresa?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

2.4 ¿Estaría dispuesto (a) crear alianzas con los productores de cemento (Holcim y CEMEX) para que estos recolecten los empaques de este producto?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

¡Muchas gracias por su tiempo!

Apéndice 8: Cuestionario enviado al sector gobierno

CUESTIONARIO GOBIERNO

La siguiente encuesta corresponde a parte del trabajo final de graduación llamado “Plan para la valorización de algunos residuos de la construcción en Costa Rica”. A continuación, se presentan las preguntas de acuerdo con los residuos que son de interés. Mucho agradezco su colaboración la cual será manejada de manera confidencial y únicamente para uso del estudio presente.

Indicaciones:

Para cada una de las siguientes preguntas, favor responder la pregunta en caso de que esté de acuerdo con ello y marcar con X donde corresponda.

3. Información general

Nombre de la institución:

Ubicación oficina central:

Nombre de persona que responde el cuestionario:

Correo electrónico de la persona que responde:

¿Autoriza utilizar la información anteriormente brindada en este estudio?

Sí No

4. Valorización de los residuos de la construcción

ASPECTOS LEGALES

2.1 En Costa Rica actualmente no existe legislación que prohíba el vertido de residuos como madera o concreto en relleno sanitario. Considera usted, que de existir un reglamento para lo anterior, ¿se fomentaría la recuperación de estos materiales en los sitios de construcción para ser reciclados?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

ASPECTOS SOCIALES

2.2 ¿Considera que existe una ausencia de compromiso por parte del sector gobierno en cuanto a legislación que fortalezca la economía circular de los residuos de la construcción?

Sí No

2.3 ¿Considera que tanto el sector público como privado, dedicado a la construcción, da una gestión efectiva a los residuos generados (específicamente, residuos de la construcción)?

Sí No

ASPECTOS AMBIENTALES

2.4 ¿Considera que la transición de una economía lineal a circular ha sido compleja en el sector construcción?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

2.5 ¿Cree que la falta de conocimiento y educación ambiental, son barreras para la adecuada gestión de los residuos de la construcción?

Sí No

2.6 ¿Considera que, en el país, la perspectiva sobre el manejo de los residuos de la construcción es clara en cuanto a la situación sobre la gestión de los residuos de la construcción?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

ASPECTOS LEGALES

2.7 En Costa Rica actualmente no existe legislación que prohíba el vertido de residuos como madera o concreto en relleno sanitario. Considera usted, que, de existir un reglamento para lo anterior, ¿se fomentaría la recuperación de estos materiales en los sitios de construcción para ser reciclados?

Sí No

¿Podría indicar el porqué de su respuesta anterior?

¡Muchas gracias por su tiempo!