

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

**“Buenas prácticas para optimizar la gestión de los materiales de la construcción para
proyectos menores a 1000m²”**

Carolina Rojas Brenes.

CARTAGO, noviembre, 2015.



“Buenas prácticas para optimizar la gestión de los materiales de la construcción para proyectos menores a 1000m²”

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

Miembros del tribunal

Dra. Lilliana Abarca Guerrero
Directora

M. Sc. Ana Grettel Leandro Hernández
Lector 1

Ing. Alberto Monge Aguilar MAP
Lector 2

Dr. Luis Guillermo Romero Esquivel
Coordinador COTRAFIG

Dra. Floria Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química

M. Sc. Ana Lorena Arias Zúñiga
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

“porque de Él, por Él y para Él son todas las cosas.
A Él sea la gloria por los siglos de los siglos. Amén”

Romanos 11:36

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por ser lo que me despierta todos los días con metas y sueños para Él. Este trabajo no existiría si no fuera por el apoyo y la visión de mi directora la Dra. Lilliana Abarca, la cual ha sido una guía durante todo este proceso y más que una profesora ha sido una mentora en esta etapa, así como a M.Sc. Ana Grettel Leandro, por su tiempo y dedicación al proyecto.

Al profesor Lic. Eric Romero Blanco, por su asesoría en el tratamiento estadístico.

A la profesora y directora de carrera M.Sc. Ana Lorena Arias por sus aportes a la carrera y ser una guía e inspiración profesional.

Especial agradecimiento a la Comisión Verde de la Cámara Costarricense de la Construcción por su acompañamiento y consejos durante toda la investigación, al Ing. Alberto Monge, Arq. Mario Rodríguez por su atención individualizada y por el distinto asesoramiento brindado.

A las empresas Eliseo Vargas, Volio y Trejos y Fomento Urbano por su tiempo y por abrir sus puertas para la recopilación de las buenas prácticas.

A los y las ingenieros/as Eliseo Vargas, Gustavo Ruiz, Lisette Quesada, Roy Mata, Jorge Burgos, Adriana Carballo, Paulina Quesada y Alejandro Rodriguez por su tiempo.

A los arquitectos y diseñadores:

Ing Luis Cerdas

Arq. Sergio Rojas

Gustavo Ruiz

Alberto Monge

William David Acuña Vindas

Roberto Martínez

Víctor Manuel Aguilar Castillo

Greivin Fallas Jiménez

Rolando Vega

John Osborne

Arq. Andrés Castillo Pacheco

Chacón Arquitectos S.A.

Arq. Guido Eduardo García Hernández

Arq. Luis Arce

Arq. Jose Ángel Con Sánchez

Arq. Marta Arauz. Zurcher Arquitectos

Diez Ochenta y Cuatro Arquitectos

Arq. Joaquín Rodríguez. OPB Arquitectos

Arq. Pedro Sánchez Chavarría

Arq. Oscar Humberto Sancho

Arq. Miguel A. Salazar M

Salper S.A

Arq. Eladio Soto

AC Desarrollos

Arq. Verny Peña

Arq. Robert Navarro Ramírez. M Cubico
Arquitectos.

Anthony Perera Peña. Proyectos
Constructivos

Por su tiempo y ayuda en contestar las encuestas.

Al Colegio de Arquitectos por la divulgación de la encuesta y abrir sus puertas para brindar apoyo al proyecto.

A mis padres, por su paciencia y respaldo durante toda mi vida, especialmente estos años del TEC y a mi hermano por su acompañamiento.

A mis amigos que han sido una segunda familia por muchos años y espero lo sigan siendo por muchos años más.

A Jose y a Nicolás por ser un impulso para finalizar este proyecto y ser una motivación todos los días para salir adelante y ser mejor que ayer.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción.....	3
1.1. <i>Objetivos</i>	4
1.1.1. Objetivo general.....	4
1.1.2. Objetivos específicos.....	4
2. Marco de referencia	5
2.1. <i>Construcción en Costa Rica</i>	6
2.2. <i>Regulación Actual</i>	7
2.2.1. Evaluaciones de Impacto Ambiental	9
2.3. <i>Residuos de la construcción</i>	11
2.3.1. Definición de residuos de la construcción	11
2.3.2. Etapas de la construcción.....	12
2.3.3. Causas de generación de residuos de la construcción.....	13
2.3.3.1. Diseño	17
2.3.3.2. Gestión de compras y adquisiciones.....	17
2.3.3.3. Gestión de los materiales.....	17
2.3.3.4. Ejecución de la Obra	17
2.3.3.5. Residuos	18
2.3.3.6. Otras actividades.....	18
3. Materiales y métodos	19
3.1. <i>Enfoque de la investigación</i>	20
3.2. <i>Identificar las causas de generación de los residuos debido al diseño y en la construcción.</i>	20
3.2.1. Revisión de literatura	20
3.2.2. Encuesta y entrevista a empresas constructoras.....	20
3.2.3. Encuesta a arquitectos y diseñadores.....	21
3.2.4. Análisis estadístico de la encuesta a arquitectos y diseñadores.....	21
3.3. <i>Determinar buenas prácticas de gestión de materiales de la construcción.</i>	23
3.3.1. Diseño.....	23

3.3.2.	Construcción	23
3.4.	<i>Proponer las buenas prácticas que deben considerarse en una guía nacional para la gestión de materiales de construcción.</i>	24
4.	Resultados y discusión	25
4.1.	<i>Identificar las causas de generación de residuos debido al diseño.</i>	25
4.1.1.	Características de la muestra analizada	25
4.1.2.	Resultados de las causas de generación de residuos.....	26
4.2.	<i>Identificar las causas de generación de los residuos en la construcción.</i>	30
4.2.1.	Características de la muestra analizada	30
4.2.2.	Resultados de las causas de generación de residuos.....	30
4.3.	<i>Determinar buenas prácticas de gestión de materiales de la construcción.</i>	35
4.3.1.	Diseño.....	35
4.3.2.	Construcción	42
4.3.2.1.	Gestión de compras y adquisiciones.....	42
4.3.2.1.	Gestión de los materiales.....	45
4.3.2.1.	Ejecución de la obra	50
4.3.2.1.	Residuos.....	51
4.3.2.1.	Otras actividades.....	57
4.4.	<i>Otros resultados obtenidos</i>	60
4.4.1.	Beneficios	60
4.4.2.	Barreras.....	61
5.	Conclusiones y recomendaciones	62
5.1.	<i>Conclusiones</i>	62
5.2.	<i>Recomendaciones</i>	64
6.	Referencias	65
7.	Apéndices	69
8.	Apéndice 1: Entrevista a empresas innovadoras de Costa Rica	71
9.	Apéndice 2: Encuesta a diseñadores en Costa Rica.....	75
10.	Anexos	78

11. Anexo 1: Categorización general de las actividades, obras o proyectos según el Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) 79

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Pregunta del formulario D2 sobre manejo de residuos sólidos en el proyecto. (Fuente: SETENA, 2015a)	11
Figura 3.1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada en la investigación	19

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1 Construcción en Costa Rica y su porcentaje de crecimiento del año 2013-2014. Adaptado de Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), 2015.	6
Cuadro 2.2 Fragmento del formulario D2 (Fuente: SETENA, 2015a)	11
Cuadro 2.3. Causas de generación de residuos según la literatura (Abarca-Guerrero, 2014; Rajendran & Pathrose, 2012, CCC, comunicación personal, octubre 2015).....	14
Cuadro 4.1. Causas de generación de residuos desde el diseño y sus resultados del análisis estadístico.	28
Cuadro 4.2 Causas de generación de residuos según las empresas entrevistadas.	32
Cuadro 4.3. Buenas prácticas obtenidas en encuestas a diseñadores y arquitectos según las causas de generación de residuos desde el diseño	35
Cuadro 4.4. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de diseño.....	40
Cuadro 4.5 Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de gestión de compras y adquisiciones.	43
Cuadro 4.6. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de gestión de los materiales.....	47
Cuadro 4.7. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de ejecución de la obra.	52
Cuadro 4.8. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de residuos.....	55
Cuadro 4.9 Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de "otras actividades".	59
Cuadro 4.10. Buenas prácticas adicionales generadas por las empresas entrevistadas	60

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

BIM	Modelado de Información de Construcción (BIM por sus siglas en inglés)
CCC	Cámara Costarricense de la Construcción
CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
	Evaluación Impacto Ambiental
EIA	Gran Área Metropolitana
GAM	Impacto Ambiental Potencial
IAP	Ley de gestión integral de residuos
LGIR	No aplica
N/A	Secretaría Técnica Nacional Ambiental
SETENA	Consejo Internacional para la Investigación y la
CIB	Innovación en Edificaciones y Construcción (CIB por sus siglas en inglés)
	Programa de Acción de residuos y recursos (WRAP por sus siglas en inglés)
WRAP	Unión Internacional para la Conservación de la
	Naturaleza y de los Recursos Naturales
UICN	

RESUMEN

En Costa Rica la construcción es un sector en constante crecimiento. A pesar de existir regulación para proyectos de áreas superiores a los 1000m², no hay acompañamiento para pequeñas construcciones, por lo que este estudio generará las buenas prácticas que deben considerarse en una guía nacional para la gestión de materiales de construcción para proyectos menores a los 1000m² realizadas por micro, pequeñas y medianas empresas. Mediante la realización de visitas a proyectos constructivos, una encuesta y entrevistas que incluían las causas reportadas en la literatura, se obtuvo la percepción de 43 diseñadores y arquitectos y de personal de cinco empresas innovadoras sobre la responsabilidad que ellos y ellas poseen en generación de residuos. Estas causas previamente fueron validadas por la Cámara Costarricense de la Construcción. Adicionalmente se recolectaron las buenas practicas aplicadas en Costa Rica las cuales fueron reforzadas con las que recomiendan diversos autores para optimizar el uso de materiales de la construcción. Del tratamiento estadístico de los datos se obtuvieron validadas tres causas de generación de residuos desde el diseño por parte de los arquitectos encuestados: “No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)”, “Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo” y “No tomar en cuenta la geometría de diferentes productos combinados a la hora de diseñar”. Además todas las causas de generación de residuos encontradas fueron confirmadas como una causa por al menos una de las cinco empresas entrevistadas. Producto del estudio se proponen buenas prácticas a considerarse en una guía nacional para la gestión de materiales de construcción las cuales han sido recopiladas en empresas y en la literatura existente. Estas han sido organizadas según los siguientes procesos: Diseño, Gestión de compras y adquisiciones, Gestión de los materiales, Ejecución de la obra, Residuos y Otras actividades.

Palabras clave: causas generación residuos construcción, residuos desde el diseño, buenas prácticas, gestión materiales

ABSTRACT

In Costa Rica, the construction sector is in constant growth. Despite the existing regulation for projects with areas greater than 1000m², there is no accompaniment for small constructions. This study will generate good practices to be proposed in a national guide for construction material management for projects under 1000m² made by micro, small and medium-sized enterprises. Through visits to construction projects, a survey and interviews involving the reasons reported in the literature, the perception of 43 designers and architects, and staff of five innovative companies was obtained, on the responsibility they possess in waste generation. These causes were previously validated by the Costa Rican Chamber of Construction. In addition, good practices applied in Costa Rica were collected, which were reinforced with different authors' recommendations to optimize the use of construction materials. From the statistical treatment of the data three waste generation causes during the design process were validated by the architects surveyed: "not considering products made under the concept of modular coordination (blocks of concrete, roof laminate and doors and window frames)", "modifications to the original design during the construction process" and "not taking into account the geometry of different materials combination in the design process". In addition, all waste generation causes found were confirmed as a cause for at least one in five companies interviewed. As a result of this study, good practices are proposed to be considered for a national guide for construction material management, which have been collected in enterprises and in the existing literature. They have been organized according to the following processes: design, management, purchasing and procurement, materials management, execution of the work, waste and other activities.

Key words: construction waste generation, design waste construction, good practices, material management.

1. INTRODUCCIÓN

La construcción es fundamental para el logro de objetivos económicos y sociales. Un aumento de esta es un indicador de un mejoramiento de las condiciones de vida de la sociedad (Leiva, 2011). A pesar de su importancia es una de las actividades que más alteran el medio ambiente, debido a la alta demanda de recursos naturales y su alta generación de residuos (Leandro Hernández, 2008a).

En Costa Rica, el sector de la construcción está formado principalmente por “pequeños constructores, subcontratistas y, en menor proporción, integrado por grandes y medianas empresas, las cuales carecen de una gestión ambiental en sus obras, por consiguiente, un adecuado manejo de los desechos de éstas”(Chinchilla Flores, 2008). Se ha estimado que debido a falta de controles en la generación de residuos de construcción, en Costa Rica se produce más del triple de residuos en comparación con países desarrollados.

Muchos proyectos buscan mejores maneras de reusar material, o encontrar nuevos métodos de reciclar material, sin embargo, muchos autores recomiendan que se le dé prioridad a estrategias para reducir residuos primeramente. Reducirlos desde la fuente es la forma más lógica y económica de “tratar” residuos de la construcción. Conceptualmente tiene más sentido evitar el desperdicio y los residuos que elaborar grandes estrategias para el tratamiento de éstos. Para lograr esto primeramente debe entenderse de donde provienen los residuos de la construcción, por lo que, en este estudio, se decidió obtener las causas de generación de residuos que menciona la literatura desde el diseño y la construcción. Una forma de obtener esta información fue mediante la literatura, donde Abarca-Guerrero (2014), realizó un estudio similar donde obtuvo, mediante un análisis estadístico, las causas de generación de residuos desde la construcción, sin embargo, dicho estudio no abordó la problemática en Costa Rica desde el diseño, por lo que, para este estudio, se decidió elaborar un cuestionario para conocer la percepción de arquitectos y diseñadores de su papel en la generación de residuos. Sin embargo, era necesario encontrar formas de prevenir los residuos a raíz de las causas encontradas previamente, por lo que se recopiló cómo las empresas innovadoras han optimizado sus procedimientos para optimizar el uso de sus materiales. Se realizaron entrevistas a cinco empresas innovadoras recomendadas por la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) recopilando sus buenas prácticas y fortaleciéndolas con guías que se han realizado en otros países.

Por tanto, este estudio busca proponer buenas prácticas de construcción para el diseño, gestión de compras y adquisiciones, gestión de los materiales, ejecución de la obra, residuos y otras actividades; que ayuden a este sector a optimizar el uso de sus materiales y en consecuencia reducir los residuos generados diariamente en nuestro país.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Determinar las buenas prácticas utilizadas en Costa Rica que mejoran la eficiencia en el uso de materiales en proyectos constructivos menores a los 1000 m².

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar las causas de generación de residuos debido al diseño.
- Identificar las causas de generación de los residuos en la construcción.
- Determinar buenas prácticas de gestión de materiales de la construcción en empresas innovadoras.
- Proponer las buenas prácticas que deben considerarse en una guía nacional para la gestión de materiales de construcción.

2. MARCO DE REFERENCIA

Una de las actividades que más aportan al crecimiento y desarrollo de la humanidad es la industria de la construcción (Leandro Hernández, 2008b). Esta es fundamental para el logro de objetivos económicos y sociales. Un aumento de esta es un indicador de un mejoramiento de las condiciones de vida de la sociedad (Leiva, 2011).

A pesar de su importancia es una de las actividades que más alteran el medio ambiente, debido a la alta demanda de recursos naturales y su alta generación de residuos (Leandro Hernández, 2008a). Según varios autores, de toda el agua y electricidad que se consumen en el mundo, entre un 30% y 40% van al sector de la construcción, además del 40% de los materiales vírgenes extraídos, 25% de la madera cultivada, 20%-30% de las emisiones de gases de efecto invernadero y 40% del total de los residuos de los países (Abarca-Guerrero, 2014; Leandro citado por Mora, 2007). En la última década, se ha visto además, un cambio drástico en la disponibilidad de recursos; los materiales nuevos y vírgenes escasean, los materiales importados son cada vez menos aceptados, “nuevos” materiales van incluyendo cada vez más material reciclado y nuevos productos y procesos se desarrollan para mejorar la eficiencia de los materiales (Commonwealth Department of the Environment and Heritage, 2000).

Bossink y Brouwers, Seo et. al, Teo y Loosemore (citados en Cha, Kim, & Han, 2009) establecen que:

Hay 4 impactos dañinos importantes para el ambiente en la construcción: residuos de construcción, ruido, polvo y contaminación atmosférica. De estas, los residuos de la construcción se reporta que es una de las más dañinas durante la ejecución de los proyectos. (p.647)

La generación de residuos preocupa debido al crecimiento de esta actividad y a la falta de conocimientos en su gestión y tratamiento en el ámbito empresarial y de proyecto (Leandro Hernández, 2008a).

Desafortunadamente, las oportunidades de negocio que representan los residuos de construcción no han sido reconocidos rápidamente por el sector constructivo (Abdelhamid, 2014). El desperdicio es una pérdida de ganancias para el constructor (Skoyles & Skoyles,

1987). En países como Brasil, los materiales representan hasta el 70% del costo de una obra. Al reducir el desperdicio, se podría disminuir gran porcentaje de los costos de una construcción (Soibelman, 2003), además esta reducción es beneficiosa para la comunidad y el medio ambiente al minimizar los residuos a disponer (Leiva, 2011).

2.1. CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

Según datos del CFIA, el total de las construcciones tramitadas en el 2014 presentó un incremento de 605 994 m² con respecto al 2013, lo que equivale a un 8.1% (Cuadro 2.1). Se reporta que vivienda y comercio son los tipos de edificación con mayor participación dentro del total de metros cuadrados tramitados en el 2013 y 2014 con un 40% y 20% respectivamente.

Cuadro 2.1 Construcción en Costa Rica y su porcentaje de crecimiento del año 2013-2014. Adaptado de Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), 2015.

Mes	2013 (m ²)	2014 (m ²)	Crecimiento (%)
Enero	593 149	1 121 208	89,0*
Febrero	602 243	667 715	10,9
Marzo	520 695	675 950	29,8
Abril	483 834	635 162	31,3
Mayo	610 364	570 140	-6,6
Junio	588 719	526 398	-10,6
Julio	706 596	632 002	-10,6
Agosto	559 291	515 320	-7,9
Septiembre	629 185	719 214	14,3
Octubre	895 315	708 765	-20,8
Noviembre	819 468	631 902	-22,9%
Diciembre	507 272	718 349	41,6%
Total	7 516 131	8 122 125	8,1%

*Porcentaje de crecimiento se ve alterado por permiso de construcción de terminal de contenedores de Moín, en enero del 2014.

En el caso de Costa Rica, según comenta Chinchilla Flores (2008):

El sector de la construcción está conformado, predominantemente por pequeños constructores, subcontratistas y, en menor proporción, integrado por grandes y

medianas empresas, las cuales carecen de... [Incentivos para implementar] una gestión ambiental en sus obras, por consiguiente, un adecuado manejo de los desechos de éstas. Además, los profesionales del sector, en su mayoría, no poseen formación o capacitación con énfasis en el manejo integral de los residuos sólidos.

En Costa Rica, “la ausencia de procedimientos para controlar y manejar la generación de residuos sólidos de construcción provoca que se produzca más del triple de residuos en comparación con países desarrollados” (Mora, 2007), generando un estimado de alrededor de 1 800 toneladas diarias de residuos para nuestro país (UICN, 2011).

El mal manejo de estos residuos suele generar botaderos clandestinos, que provocan no sólo obstrucciones en ríos, terrenos y vías públicas, sino, también riesgos directos e indirectos sobre la salud humana y elevados costos de mantenimiento y restauración ambiental.(UICN, 2011)

2.2. REGULACIÓN ACTUAL

En Costa Rica existe mucha regulación y legislación que puede aplicarse en términos de residuos de construcción, sin embargo, esta investigación se enfoca en construcciones menores a 999m², por lo que se comenta la regulación que interfiere en este tipo de proyectos. En Costa Rica, la ley para la gestión integral de residuos (LGIR, N°8839) vigente a partir del 13 de julio del 2010, define las responsabilidades de los diversos actores para el manejo adecuado de los residuos generados producto de la acción humana, incluyendo los del sector de la construcción (La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2010).

En el artículo 1 de la ley se establece el objetivo el cual consiste en regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación (La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2010).

En el artículo 4, también de la LGIR, por otro lado se estipula que la gestión integral de residuos debe hacerse con el siguiente orden jerárquico (La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica, 2010):

- a) Evitar la generación de residuos en su origen como un medio para prevenir la proliferación de vectores relacionados con las enfermedades infecciosas y la contaminación ambiental.
- b) Reducir al máximo la generación de residuos en su origen.
- c) Reutilizar los residuos generados ya sea en la misma cadena de producción o en otros procesos.
- d) Valorizar los residuos por medio del reciclaje, el co-procesamiento, el resamblaje 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 de técnicos.
- e) Tratar los residuos generados antes de enviarlos a disposición final.
- f) Disponer la menor cantidad de residuos, de manera sanitaria, así como ecológicamente adecuada.

Este artículo nos obliga a evitar y reducir como los primeros pasos a seguir en la gestión de residuos.

Las obligaciones de los generadores de residuos están claramente establecidas en el artículo 38, el cual obliga a tomar todas las medidas para lo siguiente:

- a) Reducir la generación de residuos y cuando esta generación no pueda ser evitada, minimizar la cantidad y toxicidad de los residuos a ser generados.
- b) Separar los residuos desde la fuente, clasificarlos y entregarlos a un gestor autorizado o a un sistema municipal, de conformidad con el Reglamento de esta Ley y el reglamento municipal que le corresponda, con el fin de facilitar su valorización.
- c) Entregar los residuos sujetos a disposición final y vigilar para que sean gestionados en forma ambiental y sanitariamente segura por medio de un gestor autorizado.

- d) Gestionar los residuos en forma tal que estos no pongan en peligro la salud o el ambiente, o signifiquen una molestia por malos olores, ruido o impactos visuales, entre otros.
- e) Gestionar sus residuos únicamente con gestores autorizados para brindar servicios de gestión de residuos.
- f) Mantener un registro actualizado de la generación y forma de gestión de cada residuo.
- g) Reportar a las autoridades competentes sobre su gestión en materia de residuos, según se establezca en esta Ley y en los reglamentos que de ella deriven.
- h) Fomentar el uso de alternativa de producción más limpia y de manejo de residuos en forma integral.

La Secretaría Técnica Nacional Ambiental (SETENA), por su parte, tiene aprobada una Guía Ambiental para la Construcción, Resolución No. 479-2014-SETENA del 12 de marzo del 2014, la cual es un instrumento al cual se deben adscribir los usuarios durante el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de las actividades, obras o proyectos, en lo referente a su fase de construcción, como parte del proceso de agilización de dichos trámites (SETENA, 2014). Sin embargo, como se ampliará más adelante, no todos los proyectos constructivos se ven obligados a realizar una EIA.

2.2.1. Evaluaciones de Impacto Ambiental

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EEIA) son administrados por SETENA, según SETENA (2015), “el proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento administrativo científico-técnico que permite identificar y predecir cuales efectos ejercerá sobre el ambiente, una actividad, obra o proyecto, cuantificándolos y ponderándolos para conducir a la toma de decisiones”.

Las EEIA son frecuentemente usadas para estimar el impacto de proyectos constructivos o actividades específicas en el ambiente (Blank 1981; Canter 1983; Clark 1981; Munn 1983;

citados por Gavilan et. al 1994). A pesar que las EEIA son usualmente usadas en el planeamiento de proyectos de construcción, su alcance es muy general, lo que implica que como una herramienta para la toma de decisiones para el manejo de residuos de la construcción es insuficiente.

Según el Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), en su artículo 6, existe una categorización general de las actividades, obras o proyectos, según su impacto ambiental potencial (IAP). Las categorías en las que se ordenan las actividades son las siguientes:

Categoría A: Alto Impacto Ambiental Potencial.

Categoría B: Moderado Impacto Ambiental Potencial. Esta categoría, se subdivide a su vez en dos categorías menores a saber:

Subcategoría B1: Moderado – Alto Impacto Ambiental Potencial, y

Subcategoría B2: Moderado – Bajo Impacto Ambiental Potencial.

Categoría C: Bajo Impacto Ambiental Potencial.

En dicho reglamento se observan dentro de la actividad de construcción, las características para las categorías anteriormente mencionadas (Anexo 1).

Según el área del proyecto a desarrollar se asigna una categoría de forma temporal de las mencionadas (A, B1, B2 y C).

Para construcciones menores a 999m², las cuales son el objetivo de esta investigación, según el anexo 1, se encuentra que en su mayoría entran en la categoría C: Bajo Impacto Ambiental Potencial.

Para los proyectos de categoría C, debe llenarse el documento de evaluación ambiental D2, dentro del cual debe responderse lo siguiente sobre los residuos de la construcción (Figura 2.1, Cuadro 2.2):

¿Cuenta su proyecto con recolección de desechos ó relleno sanitario autorizado?
<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO

Figura 2.1 Pregunta del formulario D2 sobre manejo de residuos sólidos en el proyecto. (Fuente: SETENA, 2015a)

Cuadro 2.2 Fragmento del formulario D2 (Fuente: SETENA, 2015a)

Aspectos ambientales relevante					
Aspectos	Componentes	Efectos	SI	NO	NA
Impacto	Suelo	¿La basura ordinaria producida durante la construcción y operación de la actividad, obra o proyecto se dispondrán en un relleno sanitario autorizado?			
		¿Durante la construcción y operación de la actividad, obra o proyecto se producen desechos especiales (tales como: formaletas, varillas, bolsas de cemento, cables, latas de pintura, solventes y otros similares) y se cumplirá con la regulación específica?			
		En caso que el proyecto implique demolición de edificación se debe dar acarreo, transporte y disposición final de escombros hasta una cantidad de 100 m ³ .			
		El proyecto contempla movimientos de tierra de hasta 200 m ³ y relleno con acarreo fuera del área del proyecto.			
Impacto	Suelo	El proyecto contempla movimientos de tierra de hasta 200 m ³ y relleno sin movilización fuera del área del proyecto.			
		En el caso de que el proyecto implique el desarrollo de cortes del terreno, en las cercanías de la colindancia (hasta 5 metros), el mismo contemplará el desarrollo de obras de estabilización de ingeniería, bajo la responsabilidad de un profesional.			

El documento será revisado por SETENA y será remitida la viabilidad ambiental.

2.3. RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN

2.3.1. Definición de residuos de la construcción

En el contexto costarricense, Abarca Guerrero, Leandro Hernández y CCC (2015), definen los residuos de la construcción como aquellos materiales valorizables (conocidos como

residuos) y no valorizables (conocidos como desechos) excedentes del proceso constructivo (comunicación personal, 15 de diciembre, 2015).

Los residuos de la construcción pueden discutirse desde muchas perspectivas. Según la literatura hay varias formas de residuos o desperdicio (por su traducción del inglés) relacionadas con operaciones y procesos incluyendo tiempo, exceso de producción, defectos en los productos, procesamiento innecesario, accidentes, condiciones de trabajo deficientes, sin embargo este estudio, así como otras investigaciones, se concentra en los materiales en el sitio (Ekanayake & Ofori, 2004; Soibelman, 2003).

Según Faniran y Caban, (1998):

Hay 3 estrategias para la disminución de los residuos de construcción usadas en proyectos de construcción (Ferguson et al. 1995) estas son: (1) evitar desperdicio; (2) re-uso de materiales; y (3) reciclaje de los residuos. Evitar desperdicio se refiere a cualquier práctica o proceso que evite, reduzca o elimine residuos desde la fuente. Reusar y reciclar residuos reduce el volumen de material que será dispuesto y descargado en el medio ambiente.

Muchos proyectos buscan mejores maneras de reusar material (G. Wang & Lee, 2013), o encontrar nuevos métodos de reciclar material (Lawson et al., 2001). Sin embargo, muchos autores recomiendan que se le dé prioridad a estrategias para reducir residuos (Faniran & Caban, 1998; Rajendran & Pathrose, 2012). Reducirlos desde la fuente es la forma más lógica y económica de “tratar” residuos de la construcción. Conceptualmente tiene más sentido evitar el desperdicio y los residuos que elaborar grandes estrategias para el tratamiento de éstos (Bossink & Brouwers, 1996; Faniran & Caban, 1998) pero para lograr esto “las estrategias prácticas de reducción requieren un gran entendimiento de que causa los residuos de la construcción” (Gavilan & Bernold, 1994).

2.3.2. Etapas de la construcción

Para objeto de esta investigación se utilizarán las actividades que han sido reportadas en la literatura y validadas por la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC), a través de su

Comisión Verde durante el presente estudio (Abarca-Guerrero, 2014; Ekanayake & Ofori, 2004; Nagapan, Rahman, & Asmi, 2012). Ellas son:

- Diseño.
- Gestión de compras y adquisiciones.
- Gestión de los materiales
- Ejecución de la obra
- Residuos
- Otras Actividades

2.3.3. Causas de generación de residuos de la construcción

Muchas de las causas a mencionar a continuación fueron recopiladas de Abarca-Guerrero (2008) y Ekanayake y Ofori, (2004), usando como criterio procesos de generación anteriormente mencionados.

En el Cuadro 2.3 se enumeran las principales causas de generación de residuos encontradas y corregidas en distintas consultas realizadas.

Cuadro 2.3. Causas de generación de residuos según la literatura (Abarca-Guerrero, 2014; Rajendran & Pathrose, 2012, CCC, comunicación personal, octubre 2015)

Proceso	Causas
Diseño	No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.
	No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)
	No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño
	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de material de techo en el diseño.
	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypson densglass, otros) a la hora del diseño.
	No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.
	En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto
	El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material
	No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar.
	Falta de participación temprana de los interesados y/o falta de participación temprana de un contratista desde el día 0 de la concepción del proyecto.
	Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo
	Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado
	Falta de información en los planos y especificaciones técnicas
	Complejidad del diseño y del detalle
	Errores en los detalles del diseño y construcción
Selección de productos de baja calidad	
Gestión de compras y adquisiciones	Errores en la orden de compra provocando que lo que llega a la obra sea más material o menos material de lo requerido
	Imposibilidad de ordenar o comprar cantidades menores de materiales y los remanentes quedan como residuos
	Errores en el envío y en la compra por parte del proveedor
	Uso de material erróneo, necesitando reemplazo
	Los materiales adquiridos no cumplen con las especificaciones técnicas

Continuación del Cuadro 2.3

Proceso	Causas
Gestión de los materiales	Daños durante el transporte
	Los materiales llegan muy mal empacados
	Almacenamiento inapropiado que genera daños y deterioro
	Descuido durante la manipulación de los materiales por parte del grupo de trabajo
	Falta de cultura ambiental de los trabajadores
	Falta de dirección técnica a las cuadrillas
	Expiración de algún material durante el proceso de construcción
Ejecución de la obra	Cambios de diseño durante la construcción
	Diseño del sitio constructivo inadecuado
	Uso del material incorrecto
	Ausencia de control de materiales en el sitio
	Daños en la infraestructura ya colocada provocado por un proveedor de otros servicios (por ejemplo, rotura de marcos de madera ya colocados por instaladores de vidrios)
	Cantidades requeridas poco claras debido a fallas en la planificación de la obra
	Retrasos en facilitar al contratista las especificaciones técnicas de los materiales a utilizar
	Accidentes en el sitio de la construcción
	Errores de proveedores o de operarios
	Mal funcionamiento del equipo provocando daños
	Materiales y productos sin usar
	Aptitudes deficientes por parte de la mano de obra
	Presión del tiempo
	Fallas en el uso de equipos
	Selección incorrecta de equipo

Continuación del Cuadro 2.3

Proceso	Causas
Residuos	Residuos generados en el proceso mismo de construcción
	Material de empaque
	Demoliciones pre-existentes
Otras actividades	Perdidas por vandalismo o por robo
	Condiciones naturales
	Mal clima
	Ausencia de planes de manejo de residuos

2.3.3.1. *Diseño*

Hay un consenso en la literatura que una cantidad sustancial de los residuos de construcción se originan como resultado de faltas en el diseño (Brewer & Mooney, 2008; Osmani, Glass, & Price, 2008; Rajendran & Pathrose, 2012).

Según la literatura los diseñadores le prestan relativamente poca importancia al potencial de reducir residuos durante la selección de materiales, siendo esta es la razón por la que un tercio de los residuos de construcción se debe a decisiones durante el diseño (Poon et. al., citado por Osmani et al., 2006).

Se ha definido a los residuos desde el diseño de la siguiente forma “Los residuos derivados de los sitios de construcción tanto por actos y/u omisión por parte del diseñador, incluyendo oportunidades para reducir residuos perdidas por no usar materiales recuperados”(Coventry y Guthrie, citados por Osmani et al., 2008, p.114).

Las principales causas durante el diseño encontradas en la literatura se encuentran en el Cuadro 2.3.

2.3.3.2. *Gestión de compras y adquisiciones.*

Muchas de estas causas, como errores de compra, errores de envío y recibo en el proyecto se deben a faltas de comunicación entre la empresa constructora y el ingeniero o entre la empresa constructora y el proveedor (Gavilan y Bernold, 1994).

2.3.3.3. *Gestión de los materiales*

Cada proyecto debe garantizar la calidad de los materiales y que éstos se encuentren en el sitio en el momento que se necesiten, además, cuando hay limitaciones de espacio, que éstos no estén en el proyecto demasiado antes porque ocuparán espacio valioso, necesitarán seguridad y representan un riesgo de deterioro en caso de un mal almacenamiento (Leandro Hernández, 2008b).

2.3.3.4. *Ejecución de la Obra*

Los residuos generados en la construcción se ven estrechamente relacionados con las actividades necesarias para construir las estructuras (Gavilan & Bernold, 1994).

Las causas dentro de las actividades de diseño, gestión de compras y adquisiciones , gestión de los materiales y ejecución de la obra no sólo llevan a producir residuos sino que consumen tiempo y esfuerzos sin generar valor agregado para el cliente, perdiendo recursos materiales, retrasando el tiempo estimado de entrega y ejecutando trabajo innecesario (Nagapan et al., 2012).

2.3.3.5. *Residuos*

Debido a las técnicas constructivas actuales, algunos residuos de construcción son inevitables. Las causas generadoras según este proceso pueden encontrarse en el Cuadro 2.3.

2.3.3.6. *Otras actividades*

Hay residuos generados de una gran variedad de fuentes (Gavilan & Bernold, 1994) que no se ven representadas en los procesos previamente mencionados. Estas causas generadoras de residuos según este proceso pueden encontrarse en el Cuadro 2.3.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se comentan las actividades realizadas para la obtención de los hallazgos del estudio. Se profundiza en identificar las causas de generación de residuos debido al diseño y en la construcción según la literatura, según los y las diseñadores/ras y arquitectos y empresas innovadoras en Costa Rica. Además se recolectan las buenas prácticas de gestión de materiales de la construcción que realizan actualmente empresas innovadoras y diseñadores. Con la información obtenida se proponen las buenas prácticas que deben considerarse en una guía nacional para la gestión de materiales de construcción.

En la Figura 3.1 se ejemplifica de manera general el proceso realizado para llevar a cabo la investigación.

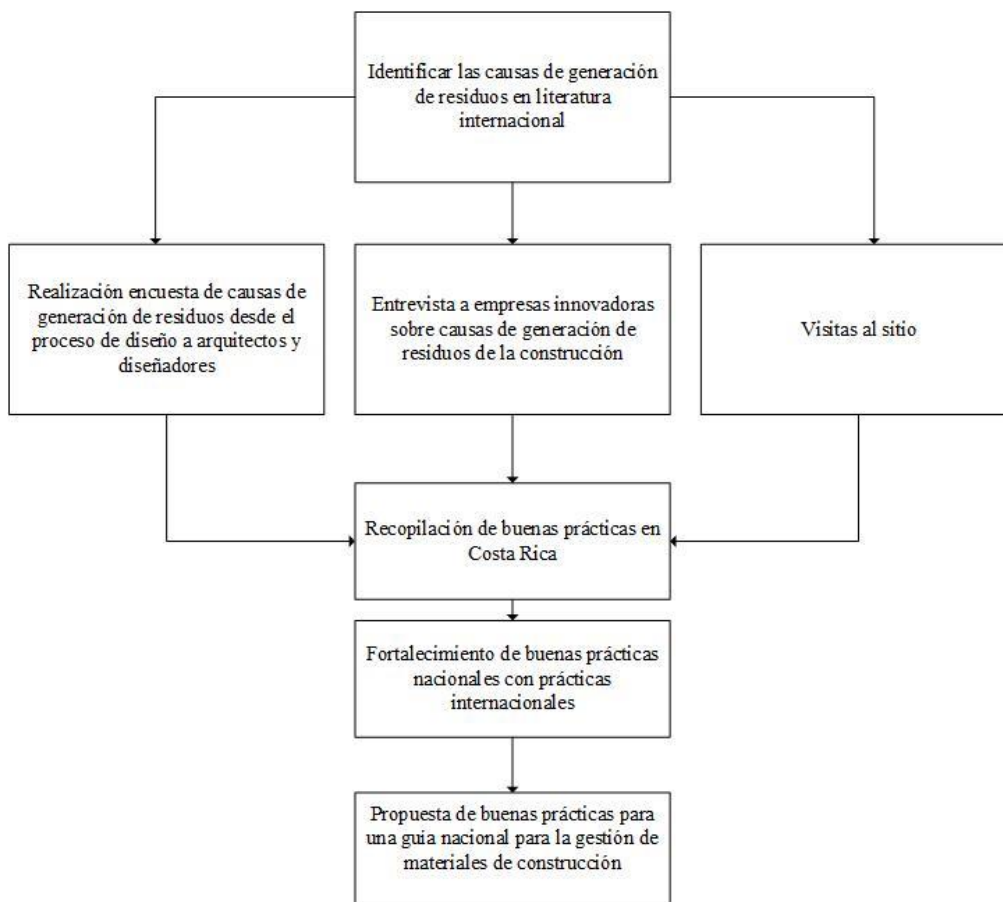


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la metodología utilizada en la investigación

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque de esta investigación es mixto, pues implica un proceso de recolección, análisis y vinculación de datos cuantitativos y cualitativos en el estudio (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). Este brinda una perspectiva integral de las causas de generación de residuos desde el diseño y la construcción y buenas prácticas para la correcta gestión de materiales.

3.2. IDENTIFICAR LAS CAUSAS DE GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS DEBIDO AL DISEÑO Y EN LA CONSTRUCCIÓN.

3.2.1. Revisión de literatura

Diversos autores han reportado diferentes causas de generación de residuos. Por esta razón se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva con el objetivo de identificar cuáles de ellas aplican para el contexto costarricense y poder orientar la búsqueda de buenas prácticas en algunas empresas de construcción en el país.

3.2.2. Encuesta y entrevista a empresas constructoras

Con la información recolectada en la literatura se preparó una encuesta (Apéndice 1) que abarca preguntas generales sobre la empresa, la ubicación geográfica de la mayoría de sus proyectos y su tamaño. Adicionalmente se describen las causas de generación de residuos y se solicita indicar si esa variable la percibe como una razón por la cual se producen residuos y si la respuesta es afirmativa se pide describir la práctica para disminuirlos.

Para la aplicación de la encuesta y entrevista se hace necesario el diseño muestral que responda a la pregunta ¿Quién proveerá la información que se necesita? (Tecnológico de Monterrey, 2005).

De acuerdo con los objetivos de esta investigación, era necesario un público que tuviera experiencia en las causas de generación de residuos y que apliquen procesos constructivos con buenas prácticas para el manejo de materiales de forma eficiente. La encuesta orienta la entrevista que realiza la investigadora de este estudio.

La Cámara Costarricense de la Construcción (CCC) suministró una lista de 10 empresas consideradas grandes e innovadoras donde se tomó una muestra de cinco para trabajar con

ellas. Las empresas finales entrevistadas fueron: Eliseo Vargas, Volio y Trejos, Empresa anónima 1, Empresa Anónima 2 y Fomento Urbano.

Durante la aplicación de esta encuesta se determinó que en las grandes empresas el proceso de diseño se realiza externamente. Por lo anterior fue necesario construir otra herramienta para determinar la percepción que tienen los arquitectos(as) y diseñadores(as) sobre el grado de responsabilidad que tienen en la generación de residuos durante el proceso del diseño de la edificación.

3.2.3. Encuesta a arquitectos y diseñadores

Según numerosos autores (Brewer & Mooney, 2008; Osmani et al., 2008; Rajendran & Pathrose, 2012) gran cantidad de los residuos de construcción se originan como resultado de faltas en el diseño, por lo que era muy importante evaluar, como son percibidas estas causas que menciona la literatura por los responsables del diseño en Costa Rica.

Actualmente existen en Costa Rica alrededor de 5000 arquitectos, sin contar otro tipo de profesionales ejerciendo en el diseño arquitectónico (Colegio de Arquitectos de Costa Rica, cita personal, 2015). En coordinación con el Colegio de Arquitectos, se preparó una encuesta que se colocó en línea, la cual puede ser accesada a través de un hipervínculo, compartido por la CCC y por el Colegio de Arquitectos. Las causas de generación de residuos se valoraron con una escala de Likert de 5 puntos (Hernández et al., 2014) donde 1 representa la aseveración Totalmente en desacuerdo; 2. En desacuerdo, 3. De acuerdo; 4. Muy de acuerdo y 5. Totalmente de acuerdo (Abarca-Guerrero, 2014; Ekanayake & Ofori, 2004). Adicionalmente se le solicitó indicar una buena práctica para la reducción de residuos de acuerdo a la variable analizada y si la aplica en el momento de diseñar.

Se estima una muestra de al menos 50 personas. Luego de un mes de haber estado en línea la respuesta era baja por lo que se optó por contactar a arquitectos y diseñadores vía telefónica obteniendo una respuesta de 43 encuestas completas totalmente.

3.2.4. Análisis estadístico de la encuesta a arquitectos y diseñadores

La información se analizó usando el programa Minitab versión 17.1.0 para Windows y con las siguientes fórmulas.

Se obtuvo la media del rating de importancia con la fórmula 1, obtenida de Ekanayake y Ofori (2004).

$$\alpha = \frac{1(n1) + 2(n2) + 3(n3) + 4(n4) + 5(n5)}{(n1 + n2 + n3 + n4 + n5)} \quad (1)$$

α =media

$n1$ = número de personas que mencionaron el atributo como 1 “totalmente en desacuerdo”

$n2$ = número de personas que mencionaron el atributo como 2 “en desacuerdo”

$n3$ = número de personas que mencionaron el atributo como 3 “de acuerdo

$n4$ = número de personas que mencionaron el atributo como 4 “muy de acuerdo”

$n5$ = número de personas que mencionaron el atributo como 5 “totalmente de acuerdo”

Después de calcular la media del rating de importancia a partir de la fórmula 1, el próximo paso fue encontrar la importancia de cada causa para los diseñadores y arquitectos encuestados. La prueba estadística de la media para cada atributo se obtuvo para conocer si la población encuestada está de acuerdo con estas causas o no. Para esto se trabajó con la t de student tal y como se muestra a continuación:

Para probar la hipótesis nula $H_0: \mu \leq \mu_0$ contra la hipótesis alternativa $H_1: \mu > \mu_0$, donde μ era la media de la población. La decisión era rechazar H_0 cuando la t calculada era mayor a $t_{(n-1,\alpha)}$ como se encuentra en la ecuación (2).

$$\frac{\bar{x} - \mu_0}{s_x/\sqrt{n}} > t_{(n-1,\alpha)} \quad (2)$$

\bar{x} = Media de la muestra

s_x = Desviación estándar de la muestra

n = Tamaño de la muestra

μ_0 = Rating crítico sobre el cuál la causa se considera más significativo

La variable $t_{(n-1,\alpha)}$ sigue una distribución de t de student, con $n-1$ grados de libertad. Se utilizó un n igual a 40 ya que 3 de las encuestas recibidas dieron respuestas de N/A a la causa de “selección de productos de baja calidad”.

La prueba estadística estaba generada para identificar las causas, en las que arquitectos y diseñadores están de acuerdo, que generan residuos mayoritariamente, por tanto μ_0 se fijó en 3, ya que por definición las calificaciones mayores a 3 representaban respuestas positivas.

El nivel de significancia, α se fijó en .05 siguiendo el nivel de confianza convencional (Ling YY, 1998; citado por Ekanayake & Ofori, 2004). Esto implica un 95% de confianza que el resultado obtenido no se debía a suerte. La probabilidad de rechazar la hipótesis nula por error era 5%.

Los valores de t fueron obtenidos por la ecuación 2. Si el valor de t es mayor a $t_{(39,0.05)} = 1.6849$ al 95% de confianza, la hipótesis nula que los diseñadores no están de acuerdo con esa causa era rechazada y se aceptaba la hipótesis alternativa. Si el valor de t es menor a $t_{(39,-.05)} = 1.68$ al 95% de confianza, la hipótesis nula, que los diseñadores no están de acuerdo con esa causa, era aceptada.

Además mediante Minitab, se realizó otra prueba estadística y se obtuvo el valor de probabilidad p . Un valor de $p > -.05$ indica que podemos aceptar la hipótesis nula con un 95% de confianza. Un valor de $p < -.05$ indica que podemos rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa con un 95% de confianza.

3.3. DETERMINAR BUENAS PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN.

3.3.1. Diseño

La encuesta de los arquitectos y diseñadores incluyó casillas opcionales para que, por cada una de las causas mencionadas previamente, pudieran indicar las buenas prácticas que conocen y/o practican. Se hizo opcional para que el desconocimiento de buenas prácticas o la extensión de la encuesta no fuera un factor que desalentara la finalización de ésta.

3.3.2. Construcción

A las empresas grandes innovadoras, participantes en la recolección de información, se les hicieron preguntas relacionadas con el proceso constructivo y la forma en que gestionan sus materiales y previenen la generación de los residuos (Apéndice 1). Se les solicitó incluir lo

que ellos consideran buenas prácticas y que propusieran otras que no estaban descritas en la encuesta. Además se les pidió incluyeran barreras y beneficios que hayan tenido al realizar esos cambios en los procedimientos anteriormente establecidos.

Hernández et al. (2014) recomienda que, una vez realizado el instrumento se lleve a cabo una prueba piloto y se ajusten los cuestionarios y procedimientos.

Para la entrevista con las empresas innovadoras se realizó una prueba piloto con una de las empresas participantes. Durante su desarrollo se grabó toda la entrevista para futuras revisiones. Durante esta actividad, se determinó que varias de las causas iniciales propuestas no estaban claras o no cumplían el objetivo de ser generadoras de residuos dentro de la construcción lo que dio como resultado que fueran modificadas o desechadas.

La encuesta fue revisada por parte de un miembro de la CCC, un miembro de arquitectura del Tecnológico de Costa Rica y tres miembros de la Comisión Verde de la CCC. Se realizaron las modificaciones solicitadas dando como resultado la encuesta que se encuentra en el marco de referencia, donde ya se mencionaron los cambios que propusieron a las causas encontradas. La encuesta final puede encontrarse en el apéndice 2.

3.4. PROPONER LAS BUENAS PRÁCTICAS QUE DEBEN CONSIDERARSE EN UNA GUÍA NACIONAL PARA LA GESTIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Una vez que se recopilaron las buenas prácticas que las empresas grandes y los arquitectos y diseñadores propusieron, éstas fueron fortalecidas con la información obtenida de la literatura.

Para la evaluación de las causas se utilizó el apéndice 1. Posteriormente la Comisión Verde de la CCC incluyó otras causas que no fueron evaluadas en las empresas pero que se incluyeron en la recopilación de las buenas prácticas (Cuadro 4.4.). Estas buenas prácticas serán propuestas para una guía nacional para la gestión de materiales de construcción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados que responden a los objetivos planteados en esta investigación. Se abordan aspectos como la percepción que tienen los arquitectos sobre las causas de generación de residuos desde el proceso del diseño, las causas de generación de residuos descritas en la literatura internacional y nacional para el sector de la construcción y, las buenas prácticas recopiladas en las empresas constructoras. Se describen además, las buenas prácticas que deben considerarse en un manual de buenas prácticas para la gestión de materiales de construcción en Costa Rica.

4.1. IDENTIFICAR LAS CAUSAS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS DEBIDO AL DISEÑO.

4.1.1. Características de la muestra analizada

Primeramente, se encuestaron diseñadores y arquitectos para conocer su percepción de las diferentes causas de generación de residuos a partir del diseño. Varias de las preguntas iniciales tenían como objetivo conocer el perfil de la muestra obtenida.

Según las 43 encuestas para diseñadores recibidas y analizadas, un 74,4% de los encuestados (32 personas) desarrolla la mayoría de sus proyectos dentro de la GAM (Gran Área Metropolitana), y un 25.6% (11 personas) los desarrolla en su mayoría fuera de la GAM.

Además un 46% de los encuestados (20 personas) desarrollan proyectos en su mayoría entre los 0 y 299m² de área, un 40% (17 personas) desarrollan proyectos dentro del rango de 300-999m² de área y un 14% (6 personas) realizan proyectos con áreas, en su mayoría, superiores a 1000m².

Por lo tanto, la muestra obtenida para la encuesta de diseñadores para las causas de generación de residuos y las buenas prácticas desde el diseño son en su mayoría arquitectos y diseñadores que realizan sus proyectos dentro de la GAM y que realizan proyectos de áreas menores a los 300m².

4.1.2. Resultados de las causas de generación de residuos

Dentro de la encuesta realizada a diseñadores y arquitectos, se encontraban las distintas causas de generación de residuos desde el diseño encontradas en la literatura. Se pretendía conocer si los encuestados estaban de acuerdo con que las variables mencionadas eran causas generadoras de residuos. Estas se valoraron mediante una escala Likert de 5 puntos, donde 1 era “totalmente en desacuerdo” y 5 significaba “totalmente de acuerdo”. Se obtuvieron entre 40 y 43 respuestas a las distintas variables. Se realizó un análisis estadístico de los datos, con una prueba de t-student y una prueba de probabilidad p.

Las causas de generación de residuos identificadas por parte de arquitectos y diseñadores una vez aplicada la prueba de *t* student son (Cuadro 4.1): (2) No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas); (3) Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo y (16) No se toma en cuenta la geometría de diferentes productos combinados a la hora de diseñar. Esto se determina ya que todos aquellos valores de *t* mayores a $t_{(39,0.05)} = 1.6849$ al 95% de confianza corresponden a rechazar la hipótesis nula que considera que los arquitectos y diseñadores no están de acuerdo con esa causa, y se acepta la hipótesis alternativa. Si por el contrario, *t* es menor a $t_{(39,0.05)} = 1.68$ la hipótesis nula, o sea que los diseñadores no están de acuerdo con esa causa, era aceptada. Las tres causas mencionadas anteriormente obtuvieron un valor de *t* mayor a 1.68, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa con un 95% de confianza.

Aplicando la prueba de valor de probabilidad p en Minitab, se obtuvo una coincidencia con las causas de generación de residuos obtenidas con la prueba de *t* de student, ya que poseen valores de $p < .05$, por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa para estas causas, indicando que los arquitectos y diseñadores están de acuerdo con que sean causas generadoras de residuos desde el proceso de diseño con un 95% de confianza.

Osmani et al. (2008) en su investigación obtuvo que los arquitectos percibían como las causas más importantes (ordenadas en orden de importancia) las siguientes: Cambios de último momento por orden del cliente; cambios del diseño; errores en los detalles; especificaciones poco claras; falta de información en los dibujos y atrasos por revisión del dibujo y

distribución. Además se les pidió que enlistaran otras causas que ellos consideraban generaban residuos durante el diseño donde hubo un consenso en las causas “no diseñar pensando en reducir residuos” y “no diseñar para estandarización y para unir tamaños”. Las causas obtenidas son similares a los resultados obtenidos en el presente estudio.

Dentro de la encuesta, se brindó la opción además para comentar otras causas de generación, los diseñadores generaron la siguiente lista:

- Uso de formaletas de madera.
- Material de empaque.
- Falta de estandarización de modulación entre los diferentes producto.
- Falta de información y de opciones de reciclaje para residuos de la construcción.
- Falta de políticas en el tema de residuos.
- Cantidades a la venta de los productos.
- Falta del compromiso y de educación ambiental del personal.
- Condiciones climáticas no estimadas.
- Robo de material.
- Construcción de obras preliminares como bodegas, instalaciones de agua potable y red eléctrica.
- Errores en las órdenes de compra.
- Diseño por estética, sin pensar en los residuos.

Muchas de estas causas ya existían previamente en la literatura y se consultó a las empresas por ellas sin embargo, hay causas nuevas que valdría la pena investigar en futuros trabajos sobre el tema.

Cuadro 4.1. Causas de generación de residuos desde el diseño y sus resultados del análisis estadístico.

Número	Causas	Número de respuestas						Total (n)	Media (\bar{x})	Desviación estándar (s_x)	t	P
		#5	#4	#3	#2	#1	N/A					
1	No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.	10	5	14	7	6	1	42	3,143	1,354	0,68	0,249
2	No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)	16	9	6	8	4	0	43	3,581	1,401	2,72*	0,005**
3	Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo	10	9	15	5	3	1	42	3,429	1,192	2,33*	0,012**
4	Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado	9	8	9	7	10	0	43	2,977	1,472	-0,10	0,541
5	Falta de información en los planos y especificaciones técnicas	7	10	8	4	13	1	42	2,857	1,507	-0,61	0,729
6	Selección de productos de baja calidad	7	8	9	6	10	3	40	2,900	1,446	-0,44	0,668
7	Complejidad del diseño y del detalle	6	12	14	6	4	1	42	3,238	1,165	1,32	0,096
8	Errores en los detalles del diseño y construcción	10	8	10	8	7	0	43	3,140	1,407	0,65	0,260
9	En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto.	12	7	10	6	8	0	43	3,209	1,473	0,93	0,178
10	No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño.	11	7	9	7	8	1	42	3,143	1,475	0,63	0,267
11	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de zinc en el diseño.	11	5	8	10	9	0	43	2,977	1,504	-0,10	0,540
12	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypson densglass, otros) a la hora del diseño.	9	7	12	8	7	0	43	3,070	1,37	0,33	0,370

#5, totalmente de acuerdo, #4 muy de acuerdo, #3 de acuerdo, #2 en desacuerdo, #1 totalmente en desacuerdo

*muestra los valores de t menores al $t_{(39,0.05)} = 1.68$

** muestra los valores de $p < \alpha$, $\alpha = 0.05$

Continuación del Cuadro 4.1

Número	Causa	Número de respuestas						Total (n)	Media (\bar{x})	Desviación estándar (s_x)	t	P
		#5	#4	#3	#2	#1	N/A					
13	No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.	9	7	9	11	7	0	43	3,000	1,397	0,00	0,500
14	El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material	8	9	10	5	9	2	41	3,049	1,431	0,22	0,414
15	No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar	10	10	6	8	7	2	41	3,195	1,453	0,86	0,197
16	No se toma en cuenta la geometría de diferentes productos combinados a la hora de diseñar.	8	14	12	4	4	1	42	3,429	1,192	2,33*	0,012**

#5, totalmente de acuerdo, #4 muy de acuerdo, #3 de acuerdo, #2 en desacuerdo, #1 totalmente en desacuerdo

*muestra los valores de t menores al $t_{(39,0.05)} = 1.68$

** muestra los valores de $p < \alpha$, $\alpha = 0.05$

4.2. IDENTIFICAR LAS CAUSAS DE GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS EN LA CONSTRUCCIÓN.

4.2.1. Características de la muestra analizada

Seguidamente, se entrevistaron empresas innovadoras para conocer si estas se han visto afectadas por las causas de generación de residuos mencionadas en la literatura y generar buenas prácticas para la gestión de sus materiales. A pesar de que las empresas entrevistadas fueron recomendadas porque se caracterizan por el tamaño de sus proyectos y la innovación de sus técnicas, debía generarse un perfil que establezca las características de la población de las que provienen las buenas prácticas recopiladas.

Las cinco empresas innovadoras entrevistadas realizan la mayoría de sus proyectos constructivos dentro del GAM.

Además todas estas empresas desarrollan proyectos, en su mayoría o totalidad, de áreas superiores a 1000m².

4.2.2. Resultados de las causas de generación de residuos

Al realizar la entrevista a las empresas innovadoras para conocer las buenas prácticas de construcción que poseían, se necesitaba primero conocer si las causas que menciona la literatura eran o fueron fuentes de generación de residuos en sus proyectos. Mediante una respuesta de si o no, se obtuvo si estas variables son consideradas como un factor generador de residuos.

En el Cuadro 4.2 pueden observarse los resultados obtenidos de esta pregunta. De las empresas entrevistadas solo dos diseñan dentro de sus actividades, incluida Fomento Urbano, donde se validaron que estas variables son causantes de residuos para ellos, por lo que hay una necesidad de buenas prácticas para este sector de la construcción. Adicionalmente, en el Cuadro 4.2 pueden observarse las demás causas encontradas según los distintos procesos y las respuestas que dieron las distintas empresas si éstas son o no causas generadoras de residuos en sus proyectos.

Todas las causas mostraron ser una fuente de residuos para al menos una de las empresas entrevistadas, por lo que estas tienen relevancia en la situación actual del sector constructivo de Costa Rica.

Cuadro 4.2 Causas de generación de residuos según las empresas entrevistadas.

Proceso	Causas de la literatura	Empresa				
		Eliseo Vargas	Volio y Trejos	Fomento Urbano	Anónimo1	Anónimo2
Diseño	No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.	No diseñan	No diseñan	x		No diseñan
	No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)			x		
	Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo			x	x	
	Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado			x		
	Falta de información en los planos y especificaciones técnicas			x		
	Selección de productos de baja calidad			x		
	Complejidad del diseño y del detalle			x	x	
	Errores en los detalles del diseño y construcción			x		
	En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto			x		
	No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño			x	x	
	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de zinc en el diseño.			x	x	
	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypson densglass, otros) a la hora del diseño.			x	x	
	No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.			x		
	El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material			x	x	
No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar.	x					
Administrativa y compras	Errores en la orden de compra provocando que lo que llega a la obra sea más material o menos material de lo requerido	x	x			x
	Uso de material erróneo, necesitando reemplazo	x				
	Imposibilidad de ordenar o comprar cantidades menores de materiales y los remanentes quedan como residuos	x		x		x
	Los materiales adquiridos no cumplen con las especificaciones técnicas			x		
	Cambios de diseño durante la construcción	x	x	x	x	x
	Falta de participación temprana de los interesados		x		x	

Continuación del Cuadro 4.2

Proceso	Causas de la literatura	Empresa				
		Eliseo Vargas	Volio y Trejos	Fomento Urbano	Anónimo1	Anónimo2
Manejo de los materiales	Los materiales llegan muy mal empacados	x	x			x
	Daños durante el transporte	x				x
	Almacenamiento inapropiado que genera daños y deterioro	x	x	x		
	Descuido durante la manipulación de los materiales por parte del grupo de trabajo	x	x	x	x	x
	Falta de cultura ambiental de los trabajadores	x	x	x	x	x
	Falta de dirección técnica a las cuadrillas		x			
	Errores en el envío y en la compra por parte del proveedor	x				
Operación	Uso del material incorrecto	x		x		x
	Daños en la infraestructura ya colocada provocado por un proveedor de otros servicios (por ejemplo, rotura de marcos de madera ya colocados por instaladores de vidrios)	x	x	x	x	x
	Cantidades requeridas poco claras debido a fallas en la planificación de la obra	x		x		
	Retrasos en facilitar al contratista las especificaciones técnicas de los materiales a utilizar			x		
	Accidentes en el sitio de la construcción				x	
	Errores de proveedores o de operarios	x		x		x
	Mal funcionamiento del equipo	x	x	x		x
	Materiales y productos sin usar	x		x	x	x
	Aptitudes deficientes por parte de la mano de obra		x	x	x	x
	Presión del tiempo	x	x	x	x	
	Fallas en el uso de equipos	x	x			
Residuos	Residuos generados en el proceso mismo de construcción	x	x	x	x	x
	Material de empaque	x	x	x		x
	Demoliciones pre-existentes	x	x		x	x

Continuación del Cuadro 4.2

Proceso	Causas de la literatura	Empresa				
		Eliseo Vargas	Volio y Trejos	Fomento Urbano	Anónimo1	Anónimo2
Otras actividades	Perdidas por vandalismo o por robo		x	x		x
	Ausencia de control de materiales en el sitio	x		x	x	
	Ausencia de planes de manejo de residuos		x		x	
	Desastres naturales		x			
	Mal clima	x	x	x		x
	Expiración de algún material durante el proceso de construcción	x				

4.3. DETERMINAR BUENAS PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN.

4.3.1. Diseño

Esta investigación buscó, no solo conocer la percepción de los diseñadores sobre las causas de generación de residuos, sino recibir retroalimentación de ellos sobre prácticas que realizaban o conocían para disminuir el impacto de estas variables desde el diseño.

Dentro de la encuesta realizada a los diseñadores y arquitectos se brindó un espacio para que generaran las buenas prácticas a partir de las causas de generación de residuos desde el diseño recopiladas en la literatura. Esta lista fue posteriormente resumida y reformulada para generar buenas prácticas desde el diseño. En el Cuadro 4.3 pueden observarse las buenas prácticas obtenidas.

Cuadro 4.3. Buenas prácticas obtenidas en encuestas a diseñadores y arquitectos según las causas de generación de residuos desde el diseño

Causa	Buena práctica propuesta
No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.	Estudiar las dimensiones de los materiales y las especificaciones técnicas a la hora de diseñar
	Utilización de concretos pre mezclados, estructuras metálicas elaboradas en talleres, prefabricados de concreto.
	Tratar de proponer al cliente el uso de sistemas modulares de mampostería o prefabricados.
	Diseñar acorde a la variedad de medidas que ofrece el mercado en sus diversos productos.
	Modelado en 3D y la conciliación final de planos constructivos.
	Hacer una buena plantación desde la concepción del producto a construir.
	Utilizar una misma unidad de medida, y realizar las conversiones correspondientes para evitar confusiones.
	Para la hora del vaciado del concreto contratar los m3 necesarios
	Utilizar formaletas reutilizables.
	Mejorar la educación y formación de los profesionales
	Utilización de coordinación Modular
	Realizar los planos pensando en una optimización de materiales y pocos desperdicios.
Presupuestar todo al detalle para no tener materiales sin utilizar en el sitio por mucho tiempo	

Continuación del Cuadro 4.3

Causa	Buena práctica propuesta
No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)	Usar un sistema constructivo modular Tipo ARMABLOQUE
	Estandarización de medidas moduladas entre empresas.
	Procurar modular el diseño en lo posible a las dimensiones de los materiales más utilizables: láminas de fibrocemento, estandarización de los buques de puertas y ventanas.
	Considerar la coordinación modular
	Modular diseño y ejecución en obra
	Manejar medidas estándar en los buques de paredes.
Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo	Explicarle al cliente el impacto de los cambios que ellos solicitan para buscar soluciones con menores desperdicios.
	Actualizarse en los nuevos materiales que salen al mercado.
	Adoptar diseño en obra para evitar desechos
	Procurar que sean los menos posibles, y cuando se realizan no varíe la técnica constructiva mayormente empleada.
Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado	Actualizarse con los nuevos materiales
	Accesibilidad de costos de piezas estandarizadas
	Existencia de inventario disponible en los depósitos
	Observar catálogos de proveedores y describir en planos la marca y código del producto a utilizar.
Falta de información en los planos y especificaciones técnicas	Utilizar detalles específicos de cada proyecto y no detalles típicos.
	Realizar diseños más claros
	Especificar detalladamente las técnicas constructivas a utilizar para la edificación de los inmuebles.
	Hay que especificar todo en los planos
	Certificar a las cuadrillas para garantizar un estándar de calidad y conocimiento en los maestros de obras.
	Buena inspección y dirección con más visitas al sitio para un mayor control y planificación en obra.
Selección de productos de baja calidad	Buscar los mejores materiales disponibles según el presupuesto del cliente.
	Tratar de evitarlos
	No incluir en el diseño y los presupuestos productos de baja calidad.

Continuación del Cuadro 4.3

Causa	Buena práctica propuesta
Complejidad del diseño y del detalle	Mano de obra más calificada.
	Entre más detalles más cara la construcción, se debe evitar el desperdicio para no aumentar costos.
	Hacer bien los planos, bien especificado todo
Errores en los detalles del diseño y construcción	Mayor compromiso con la conciliación de planos entre las diferentes disciplinas
	Dedicación a los proyectos en obra mediante inspecciones de mayor duración y más visitas del director a la obra
	Corroborar medidas en las inspecciones.
	Revisión de los planos
	Especificar bien todo en los planos
En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto.	Coordinar muy bien todos los materiales
	Usar un sistema constructivo modular Tipo ARMABLOQUE
	Consultar a los proveedores antes de diseñar
	Asesorarse con ingenieros estructurales para optimizar el material
	Modular su diseño con las longitudes de los productos disponibles.
No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño.	Estudiar con una empresa proveedora la fabricación de las estructuras de varillas para cimientos, columnas, vigas y demás cuando es viable.
	Mandar a prefabricar aros reduce considerablemente el tiempo y el desperdicio
	Asesorarse con ingenieros estructurales para optimizar el material
	Utilizar formas de cortar que no genere tanto desperdicio
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de zinc en el diseño.	Se puede encargar el tamaño del zinc que uno necesita
	Utilizar traslapes
	Utilizar empresas que venden las láminas con las longitudes que se necesiten
	Asesorarse con el maestro de obras
	Prefabricar al tamaño que uno desea
Buscar asesoramiento de proveedores	

Continuación del Cuadro 4.3

Causa	Buena práctica propuesta
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypsum densglass, otros) a la hora del diseño.	Coordinar muy bien todos los materiales
	Calcular las áreas para comprar el material realmente a utilizar.
	Modulación en los elementos que lo permitan
No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.	Dibujar el block para conocer dónde va y así cortar menos.
	Tomar en cuenta y tomar en cuenta sistemas, políticas y reglamentar el tema del reciclaje en construcciones.
	Especificar todo en el plano
	Utilizar algún sistema de bloques modulares, los residuos de bloques o sobrantes son muy comunes.
El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material.	Acomodar en otras partes lo que se tiene que cortar
	Tratar de acoplar el material de la mejor manera al lote.
	Aprovechar las dimensiones del material y acomodarlo de la mejor manera.
	Acoplar con creatividad al lote.
No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar.	Dibujar en detalle el trazo electromecánico para facilitar la construcción y el presupuesto.
	Tomar en cuenta esas longitudes en el diseño
	Hay que coordinar con otras ramas
	Mejorar la comunicación entre los diferentes ingenieros.
	Deben seguirse las instrucciones del ingeniero estructural, eléctrico y topógrafo.
	Tratar de optimizar el diseño con el sistema electromecánico.
No se toma en cuenta la geometría de diferentes productos combinados a la hora de diseñar.	Uso de modelado 3D para ver la interacción de los distintos materiales
	Tomar en cuenta esas longitudes en el diseño
	El uso de tecnología BIM desde el diseño ayuda a la mejora de la productividad no solo de los materiales sino también de la mano de obra en proyectos
	Coordinar con ingeniería
Otras buenas prácticas	Asesorar al cliente
	Proteger al cliente que no compre cosas innecesarias
	Conocer el material para aprovecharlo al máximo.

Continuación del Cuadro 4.3

Causa	Buena práctica propuesta
Otras buenas prácticas	Separar los residuos
	Usar cualquier sobrante dentro de la misma construcción
	Utilizar el material para la bodega provisional y luego en el proyecto como zinc, etc.
	Más información disponible a los arquitectos para la hora de diseñar
	Estudio general de los planos, de los materiales para reducir costos de compras innecesarias y ahorrar tiempo de mano de obra.
	Planeamiento puede evitar mucho desperdicio
	Reutilizar materiales para chorrear el cemento y darle más usos (evitar el uso de tablillas e invertir en producto plástico que puede dársele más vida)
	Reciclar los sobrantes de material
	Que los maestros de obras tengan sus unidades móviles (contenedores) para evitar los residuos de las obras preliminares.

Además en el Cuadro 4.4 pueden encontrarse las buenas prácticas desde el diseño dadas por las empresas entrevistadas y según la literatura.

Cuadro 4.4. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de diseño.

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.	Se diseña a partir del sistema de construcción a utilizar así como sus componentes. Se modula el diseño. Se capacita al personal en obra y se incentiva el uso de los sistemas con demostraciones de mejoramiento en el rendimiento y menos costo por desperdicios y materiales a botar. Es decir, es un doble costo, el perdido por el material de desecho y el tener que botarlo (Fomento Urbano, entrevista personal, Octubre 20, 2015)	
No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)		Diseñar y construir especificando el uso de materiales de tamaño estándar y componentes prefabricados (Arif, Bendi, Toma-Sabbagh, & Sutrisna, 2012; Brewer & Mooney, 2008; Cha et al., 2009; Commonwealth Department of the Environment and Heritage, 2000; Dainty & Brooke, 2004; Gangolells, Casals, Forcada, & Macarulla, 2014; Greenwood, 2004; NYC Department of Design & Construction, 2003; Gibb, 2001, citado por Osmani et al., 2008; Sawant & Alone, n.d.). Aplicar la modulación en la construcción de una vivienda tradicional para evitar realizar cortes a los materiales (Faniran & Caban, 1998; Gangolells et al., 2014; Leiva, 2011; Osmani et al., 2008) como los cortes de blocks en los tapicheles y en el acero de refuerzo (Villalobos Murillo, 1995).
No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño	Se diseña a partir del sistema de construcción a utilizar así como sus componentes. Se modula el diseño (Fomento Urbano, entrevista personal, Octubre 20, 2015).	Diseñar para reuso y recuperación (Rajendran & Pathrose, 2012; Sarkis, 1998), para la deconstrucción (Osmani et al., 2008), para optimización del material (Greenwood, 2004; Rajendran & Pathrose, 2012), para adquisición eficiente de los residuos (Rajendran & Pathrose, 2012). Usar material normalizado y en las dimensiones ajustadas a las líneas arquitectónicas (UICN, 2011).
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de material de techo en el diseño.		
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypson densglass, otros) a la hora del diseño.		
No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.		
En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto		
El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material		

Continuación Cuadro 4.4.

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar.	Se diseña a partir del sistema de construcción a utilizar así como sus componentes. Se modula el diseño (Fomento Urbano, entrevista personal, Octubre 20, 2015).	
Falta de participación temprana de los interesados y/o falta de participación temprana de un contratista desde el día 0 de la concepción del proyecto.		Aconsejar, especialmente al cliente, sobre el impacto de la producción de residuos y hacer énfasis en los beneficios de reducirlos, incluyendo ahorros monetarios (Dainty & Brooke, 2004; Osmani et al., 2008).
Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo		Asesorar al cliente en opciones amigables con el ambiente y de uso eficiente de la energía, resistentes y no tóxicas (Sawant & Alone, n.d.).
Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado		
Falta de información en los planos y especificaciones técnicas		Que exista comunicación entre arquitecto, cliente, ingeniero, maestro de obras, trabajadores para minimizar residuos de construcción y demolición (Gangolells, Casals, Forcada, & Macarulla, 2014).
Complejidad del diseño y del detalle	Se realizan consultas con el diseñador para aclarar cualquier información (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	Diseñar reduciendo la complejidad para estandarizar el proceso de construcción y reducir los materiales necesarios (WRAP, 2013).
	Los diseños llegan revisados antes de iniciar el proyecto. Además se realizan inspecciones durante todo el proceso diseño (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
	En la planificación del diseño se ven los planos (Empresa Anónima 2, entrevista personal, octubre 17, 2015).	
Errores en los detalles del diseño y construcción	Modulación 3D ayuda a ver los diferentes sistemas (electromecánico, estructural, etc) interpuestos y ver cualquier error (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	Coordinación a nivel del proyecto para eliminar correcciones de diseño, evitando así desechar trabajo en el sitio (Osmani et al., 2008).
Selección de productos de baja calidad		

4.3.2. Construcción

Durante los proyectos constructivos, hay muchas causas que ya han sido mencionadas previamente que son generadoras de residuos durante la ejecución de las obras. Cinco empresas innovadoras fueron entrevistadas para validar las distintas causas y conocer como estas son contrarrestadas todos los días con prácticas ya establecidas.

Las buenas prácticas obtenidas se dividen en distintos procesos que pueden apreciarse en las secciones siguientes:

4.3.2.1. Gestión de compras y adquisiciones.

En el Cuadro 4.5 pueden encontrarse, según las causas de generación de residuos mencionadas en la literatura y su afirmación por las empresas, buenas prácticas para prevenirlas, tanto por las empresas como por la literatura.

Otras buenas prácticas mencionadas en la literatura que pueden clasificarse dentro de este proceso y que no clasifican específicamente dentro de causas específicas fueron: Comprar el material y manejar los residuos directamente por la empresa constructora para optimizar ganancias y el uso de los materiales, generando menos residuos (Villalobos Murillo, 1995); Comprar material de origen local, extraídos o fabricados en zonas próximas a la obra (áridos, elementos cerámicos y otros) (Díaz & Ruggeri, 2009) para evitar el transporte de materiales por largas distancias; sustituir en lo posible las sustancias químicas tradicionales por productos que sean más amigables con el medio ambiente, como ser disolventes al agua, detergentes biodegradables sin fosfatos ni cloro, limpiadores no corrosivos (Díaz & Ruggeri, 2009) y darle prioridad a calidad antes que al precio de los materiales (Sawant & Alone, n.d.).

Cuadro 4.5 Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de gestión de compras y adquisiciones.

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Errores en la orden de compra provocando que lo que llega a la obra sea más material o menos material de lo requerido	<p>Controles a la hora de realizar pedidos, a la hora de recibir los materiales en el sitio, y a la hora de recibir factura vs. Pedido (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015; Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).</p> <p>En proveeduría hay una persona que verifica todos los pedidos y los autoriza para salir, en bodega se revisa contra pedido (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).</p>	Prevenir el excedente de material (Cha et al., 2009; WRAP, 2013); calcular correctamente las cantidades de materia prima a emplear para evitar residuos, o sobrantes en las mezclas efectuadas (Arif et al., 2012; Saez, Del Río Merino, San-Antonio González, & Porrás-Amores, 2013; WRAP, 2013); mantener registros de materiales recibidos y entregados (Greenwood, 2004); estandarizar los métodos de manejo de materiales y procesos de trabajo para evitar errores y correcciones; asegurarse que la cantidad correcta de material es entregada en el lugar correcto; un control estricto de los materiales oportunos (Sawant & Alone, n.d.); existencia de una gestión de compras (Tam, 2013) y control en las ordenes de material para que los tamaños pedidos sean los correctos y evitar residuos (Yates, 2013).
Imposibilidad de ordenar o comprar cantidades menores de materiales y los remanentes quedan como residuos	<p>A la hora de inscribir proveedores, esto se habla y solo se acepta proveedores que si acepten vender lo que se necesita (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).</p> <p>Se habla con el cliente para tratar de cambiar el material, se procura negociar con la empresa, la diferencia se almacena y se revisa bodega antes de cualquier compra (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).</p> <p>Se pide muy ajustado, en caso de algún sobrante se vende entre proyectos. Dejan cerámica al dueño de la casa por cualquier arreglo en el futuro (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).</p> <p>Se guardan en bodega los sobrantes y se les busca uso en próximos proyectos (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).</p>	Negociar la recolección de sobrantes y residuos con los proveedores (NYC Department of Design & Construction, 2003; Saez et al., 2013; Sawant & Alone, n.d.) y flexibilidad del proveedor para proporcionar ordenes pequeñas de material (Dainty & Brooke, 2004).
Errores en el envío y en la compra por parte del proveedor	<p>Realizar muchas revisiones y creación de filtros para evitar esos errores (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015; Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).</p> <p>Se previene mediante una correcta realización y revisión de pedidos, revisión en bodega y seguimiento del trabajo de los empleados (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015; Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).</p>	Mejorar la comunicación entre el equipo del proyecto y los diseñadores para evitar residuos innecesarios por errores o reconstrucciones (International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), 2002; J.-Y. Wang et al., 2008).

Continuación del Cuadro 4.5

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Uso de material erróneo, necesitando reemplazo	No hay productos similares en la obra, además lo que se usa se analiza antes y durante el proyecto para garantizar calidad (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Los materiales adquiridos no cumplen con las especificaciones técnicas	Se piden certificaciones de calidad, se realizan pruebas de resistencia durante el proceso, antes de poner todo el material (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	

4.3.2.1. Gestión de los materiales

En el Cuadro 4.6 pueden encontrarse, según las causas de generación de residuos mencionadas en la literatura y su afirmación por las empresas, buenas prácticas para prevenirlas, tanto por las empresas como por la literatura.

La cuarta causa de generación de residuos de la construcción “descuido durante la manipulación de los materiales por parte del grupo de trabajo” fue descrita como relevante por todas las empresas y trata de prevenirse de diferentes maneras. El objetivo de dar material contra boletas por parte de los encargados es que el material pueda ser controlado, y compararse según las estimaciones realizadas contra lo que realmente se utilizó y lo que se dispuso al final. Al haber mayor control del material es más difícil sustituirlo si por descuido este es dañado.

Otras buenas prácticas mencionadas en la literatura que pueden clasificarse dentro de este proceso y que no clasifican dentro de causas específicas son: Para tareas de mampostería y revestimiento cerámico, se deberá observar las dimensiones de las superficies sobre las cuales se trabajará para reducir el número de cortes de los ladrillos y de las piezas de cerámica respectivamente; realizar los trabajos de corte de ladrillos y de elementos cerámicos con precisión, para favorecer el uso de ambas partes de las piezas; aprovechar al máximo los materiales evitando dejar restos en los envases, vaciando dichos envases por completo; asegurar que las latas de pintura y disolventes han quedado correctamente cerradas; tapar los bidones de disolventes, pinturas, barnices y otros una vez finalizado su uso; limpiar las brochas, pinceles, rodillos, espátulas y demás herramientas después de ser usadas sin esperar que se seque la pintura; no preparar más pintura de la necesaria (Díaz & Ruggeri, 2009); utilización de encofrado de metal (Tam, 2013); dimensionar correctamente los equipos, materiales y componentes y los pre-cortes de materiales a realizar (Yates, 2013). En caso de necesitar cortar blocks, realizarlo con equipo eléctrico para obtener un corte más efectivo o comprar medios blocks para evitar cortarlos (Villalobos Murillo, 1995); uso de materiales reciclados (Cha et al., 2009; Sawant & Alone, n.d.) o con contenido reciclado (Saez et al., 2013; WRAP, 2013; Kibert, 2008, citado por Yates, 2013) o utilizar materiales amigables con el medio ambiente (Díaz & Ruggeri, 2009); utilizar materiales reciclables (Sarkis, 1998; Kibert, 2008 citado por Yates, 2013); prevenir el uso de materiales frágiles (Cha et al., 2009);

evaluar las posibilidades de reuso y reciclaje de los materiales antes de generar el presupuesto detallado (WRAP, 2013); detectar las actividades que pueden admitir materiales reusados de la construcción (Saez et al., 2013); uso de material prefabricado (Saez et al., 2013; Tam, 2013; Yates, 2013) o materiales duraderos de bajo mantenimiento (NYC Department of Design & Construction, 2003) y no utilizar madera para las cercas del sitio de construcción (Tam, 2013).

Cuadro 4.6. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de gestión de los materiales

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
<p>Daños durante el transporte</p> <p>Los materiales llegan muy mal empacados</p>	<p>Hay listas de verificación muy específicas, todo se revisa en el sitio y si no cumple los estándares se devuelve (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015; Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).</p>	<p>Realizar una inspección visual de los materiales antes de la recepción para garantizar que lleguen a la obra en adecuadas condiciones (Díaz & Ruggeri, 2009); además convenir con los proveedores la disminución de envases y la devolución de materiales sobrantes y embalajes, de forma que estos sean los necesarios para que el material llegue en buenas condiciones pero sea el menor material posible para disminuir residuos por embalaje (Díaz & Ruggeri, 2009; Greenwood, 2004; CIB, 2002; NYC Department of Design & Construction, 2003; Sawant & Alone, n.d.; J.-Y. Wang et al., 2008; WRAP, 2013). Adicionalmente se sugiere tener cuidado al descargar los materiales (CIB, 2002; UICN, 2011).</p>
<p>Almacenamiento inapropiado que genera daños y deterioro</p>	<p>En la planificación se ejecuta un plano del sitio para el almacenamiento, donde se establecen los sitios para bodegas (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).</p> <p>Se traen los materiales cuando se van a estar usando y se van almacenando. Se multa a los contratistas con un mal almacenamiento y hay revisiones periódicas (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).</p> <p>Todo el material llega cuando se va a usar (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).</p>	<p>Control del almacenaje (Ekanayake & Ofori, 2004) y manejo (Ekanayake & Ofori, 2004; Greenwood, 2004) de los materiales; estivar los materiales de manera que se eviten roturas en las bolsas, cajas o envases (Díaz & Ruggeri, 2009); almacenar los materiales con cuidado (CIB, 2002; Gangoellis, Casals, Forcada, & Macarulla, 2014; UICN, 2011) y de forma eficiente (J.-Y. Wang et al., 2008) en un lugar seguro y a salvo de las condiciones climáticas para prevenir daños y robos (Greenwood, 2004; NYC Department of Design & Construction, 2003; WRAP, 2013), en almacenamiento cubierto y lejos de las obras del sitio (CIB, 2002). Además se recomienda mantener el empaquetado en los materiales hasta el último momento para prevenir daños (Greenwood, 2004).</p>
<p>Descuido durante la manipulación de los materiales por parte del grupo de trabajo</p>	<p>El maestro de obras debe de hacer un vale para bodega para poder sacar algo. No se puede sacar más del material indicado. Hay concientización para que aprovechen el material (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).</p> <p>Los mismos contratistas son muy cuidadosos ya que en caso de que falte algo deben reemplazarlo ellos (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).</p> <p>Hay planes de lo que se va a ir haciendo, el jefe de la cuadrilla envía a bodega por los materiales para esa tarea (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).</p> <p>Capacitación al personal y supervisión (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).</p>	<p>Cargar correctamente las “zorras” y pallets para garantizar el buen estado de las piezas en su traslado (Díaz & Ruggeri, 2009).</p>

Continuación del Cuadro 4.6

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Falta de cultura ambiental de los trabajadores	Se dan charlas de concientización cortas al personal todos los días sobre la importancia de cuidar el planeta, no solo la inversión de la empresa (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	Establecer políticas de incentivos para promover un mejor comportamiento ante el ambiente, al menos mientras se desarrolla una cultura ambiental (Leandro Hernández, 2008b); realizar capacitación y entrenamiento al personal de la obra (Gangolells et al., 2014; Tam, 2013; J.-Y. Wang et al., 2008) para que pueda clasificar los sobrantes de materiales y al mismo tiempo aprenda a optimizar el material de trabajo, con el fin de reducir la cantidad de desperdicios, minimizando los desechos, los impactos ambientales y la cantidad de accidentes, explicando la importancia de reducir la cantidad de residuos de la construcción a favor del sector ambiental, económico y social (Leiva, 2011). Además asegurarse que todo el personal reciba la inducción necesaria para asegurarse la conformidad con los estándares de la gestión ambiental (Commonwealth Department of the Environment and Heritage, 2000), especialmente mediante entrenamiento de inducción para personal nuevo (Commonwealth Department of the Environment and Heritage, 2000; NYC Department of Design & Construction, 2003), sin olvidar mantener las capacitaciones sencillas, que el entrenamiento sea relevante con las acciones a realizar del trabajador (NYC Department of Design & Construction, 2003).
	Se inculca la separación de los desechos (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
	Salud Ocupacional hace reuniones con los trabajadores (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	
	Capacitación al personal e incentivos. Hay rotulación a través de la obra (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Falta de dirección técnica a las cuadrillas	Planificación de las cantidades necesarias de material por actividad (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	El ingeniero del proyecto y el maestro de obras tienen la responsabilidad de capacitar a sus trabajadores sobre como modular materiales tales como madera, acero de refuerzo, etc; además de la existencia de una comunicación clara con los trabajadores y se debe corroborar que el mensaje fue recibido correctamente para evitar que se pierdan recursos por repetir procesos que no estaban claramente entendidos (Leandro Hernández, 2008a); que exista un control de los carpinteros de la buena utilización de la madera (Leiva, 2011) además de compromiso del personal y entrenamiento para reducir error humano (CIB, 2002)
Expiración de algún material durante el proceso de construcción	Acomodar en la bodega según fecha de compra (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	Evitar la caducidad de productos, ya que una vez pasado su vencimiento, éstos se transforman en residuos; además almacenar los materiales peligrosos atendiendo a las indicaciones del fabricante (Díaz & Ruggeri, 2009) para evitar un acelerado deterioro de estos.

Continuación del Cuadro 4.6

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Expiración de algún material durante el proceso de construcción	Control de materiales según la compra (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	Evitar la caducidad de productos, ya que una vez pasado su vencimiento, éstos se transforman en residuos; además almacenar los materiales peligrosos atendiendo a las indicaciones del fabricante (Díaz & Ruggeri, 2009) para evitar un acelerado deterioro de estos.
	Los plazos de los proyectos son muy cortos para permitir expiración y se da seguimiento al material que está en bodega central (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
	Se pide muy ajustado, y si sobra se usa en el próximo proyecto (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	

4.3.2.1. Ejecución de la obra

En el Cuadro 4.7 pueden encontrarse, según las causas de generación de residuos mencionadas en la literatura y su afirmación por las empresas, buenas prácticas para prevenirlas, tanto por las empresas como por la literatura.

La segunda causa es “diseño del sitio inadecuado”. El diseño del sitio influye directamente en aspectos de productividad, calidad y seguridad (Leandro Hernández, 2008b). Para esta variable no se obtuvieron buenas prácticas por parte de las empresas debido a que esta causa fue propuesta por la comisión verde de la CCC después de haber realizado las entrevistas, sin embargo la literatura propone muchas maneras de prevenir residuos por esta razón (Cuadro 4.7).

Para la 15ª causa, “selección incorrecta de equipo”, no se obtuvieron buenas prácticas por parte de las empresas debido a que esta causa fue propuesta por la Comisión Verde de la CCC posterior a la realización de la entrevista. Para las causas 14 y 15, “fallas en el uso de equipos” y “selección incorrecta del equipo” respectivamente, no se encontraron buenas prácticas dentro de la literatura, sin embargo, las buenas prácticas mencionadas en la décima causa aplican ya que con un buen mantenimiento en la maquinaria, la probabilidad de que estas fallas en los equipos se den se reduce. Otras buenas prácticas mencionadas en la literatura que pueden aplicarse durante la ejecución de la obra y que no se ven clasificadas dentro de causas específicas son: Limpiar los equipos luego de ser usados, evitando la formación de depósitos que requieren el consumo de mayores cantidades de disolventes o de agua para su remoción; cerrar el paso de agua inmediatamente después de su uso; utilizar mangueras con llave de paso a la entrada y a la salida para facilitar el cierre y reducir las pérdidas o goteos; controlar que la cantidad de agua utilizada para la preparación de mezclas, humedecimiento de áridos, limpieza y otras actividades sea la adecuada a las necesidades; recolectar agua de lluvia que podrían encauzarse en la misma conducción y utilizarse para riego, inodoros, limpieza de calles; dejar transcurrir el tiempo necesario de secado de los materiales y superficies tratados, no utilizar medios artificiales de secado; aprovechar la luz natural durante toda la jornada laboral y evitar la iluminación artificial innecesaria; reutilizar siempre que sea posible, el agua de limpieza, almacenándola en recipientes que faciliten la decantación de los sólidos (Díaz & Ruggeri, 2009); evitar el traslado del block (Villalobos Murillo, 1995).

Se recomienda que el ingeniero del proyecto y el maestro de obras promuevan una disminución de los residuos por medio del óptimo aprovechamiento de los materiales (Leandro Hernández, 2008a),

además de capacitaciones al personal para optimizar el uso de recursos tales como agua, electricidad y materiales (Arif et al., 2012; Leandro Hernández, 2008a).

4.3.2.1. Residuos.

En el Cuadro 4.8 pueden encontrarse, según las causas de generación de residuos mencionadas en la literatura y su afirmación por las empresas, buenas prácticas para prevenirlas, tanto por las empresas como por la literatura.

Una forma de reducir los residuos generados en el proceso mismo de construcción mediante las buenas prácticas de la literatura mencionadas en el cuadro 4.8 (causa 1) es mediante incentivos positivos por reducir residuos o por reciclar a los subcontratistas o multas por malas prácticas de gestión de los residuos (Arif et al., 2012); mediante contratos donde se pongan cláusulas que penalicen mal rendimiento de los residuos (Dainty & Brooke, 2004). Se debe además incentivar la minimización de residuos, que el beneficio económico sea distribuido a todo el equipo (Greenwood, 2004).

Cuadro 4.7. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de ejecución de la obra.

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Cambios de diseño durante la construcción	Modulación en 3D para que el cliente vea lo que se está haciendo (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	Diseñar para la deconstrucción (Rajendran & Pathrose, 2012; Sawant & Alone, n.d.; WRAP, 2013); o diseñar considerando el reuso y el reciclaje de los materiales al final de la vida útil de la estructura (CIB, 2002) que en este caso sería una vez realizado el cambio; comunicarse con el cliente con anterioridad para que posibles surgimientos de residuos por cambios en el diseño puedan ser planeados (WRAP, 2013); generar desmantelamiento o desmontaje antes de demolición (Gangolells et al., 2014) y diseñar para este fin (desmantelamiento) (Sarkis, 1998); sin embargo lo mejor es evitar variaciones tardías en el diseño (Osmani et al., 2008).
	Se da un tiempo de 3 días en las primeras etapas de construcción para que el comprador de la casa realice modificaciones al diseño (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
	Tratar de reutilizar el material que se pueda después de realizar la modificación (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	
Diseño del sitio constructivo inadecuado*		Diseñar el sitio (Gangolells et al., 2014; Tam, 2013;), otorgando un sector específico para efectuar las tareas de mantenimiento (Díaz & Ruggeri, 2009) y designando un lugar para guardar residuos en las etapas tempranas de la construcción (Parrado, 2012; Saez et al., 2013). Además en el diseño del sitio se debería proteger y almacenar las tierras para reuso (Commonwealth Department of the Environment and Heritage, 2000); establecer áreas centrales para corte de madera y otros materiales (Sawant & Alone, n.d.; Tam, 2013); planificar el lugar donde se almacenaran los materiales para evitar manejar mucho el block (Villalobos Murillo, 1995) y ubicar los materiales al alcance del trabajador, para mejorar el rendimiento de la labor y disminuir pérdidas de material por accidente o error (UICN, 2011), además revisar el diseño del sitio conforme avance el proyecto (Sawant & Alone, n.d.), de forma que la construcción se mantenga limpia y ordenada (Gangolells et al., 2014).
Uso del material incorrecto	Se previene mediante controles y mediante multas (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	Tener en el área de trabajo solo el material necesario en cada momento (Díaz & Ruggeri, 2009) para así evitar usar el material erróneo, despachando el material a usar con su cantidad estimada según lo que se vaya a trabajar en el momento.
	Controles a través de los procesos de compra y operación (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	
	Se piden fichas técnicas de todo, hay supervisión. Todo el proceso lleva muestreos de los materiales (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Ausencia de control de materiales en el sitio	Se controlan las salidas de material de la bodega (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	Tener una bodega que se maneje en forma eficiente y con control de inventarios (Leandro Hernández, 2008b; Sawant & Alone, n.d.).
	Controles con boletas autorizadas por maestro de obras o jefe de cuadrillas (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	

* Causa no se encontraba en la entrevista original hacia las empresas por lo que no se recopilaron buenas prácticas para esta

Continuación del Cuadro 4.7

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Daños en la infraestructura ya colocada provocado por un proveedor de otros servicios (por ejemplo, rotura de marcos de madera ya colocados por instaladores de vidrios)	Se realizan controles de acceso a sitios para personal no necesario. Además se hacen entregas cuando se terminan contratos (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015)	Proteger las superficies que no van a ser pintadas para evitar deterioros (Díaz & Ruggeri, 2009); además establecer acuerdos de conformidad con subcontratistas y proveedores sobre la reducción de residuos (Commonwealth Department of the Environment and Heritage, 2000).
	Se realizan controles de acceso a sitios para personal no necesario. Se protege lo que se pueda de daños (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	
	Se hacen reuniones con los subcontratistas antes de construir nada para planificar tiempos y procesos (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Cantidades requeridas poco claras debido a fallas en la planificación de la obra	Se previene mediante planificación de la obra (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	Diseñar especificando todo el detalle posible para evitar desperdicios de material o tiempo (Greenwood, 2004) y gestionar el diseño para evitar pedir exceso de material (Dainty & Brooke, 2004), de esta forma se previene el hacer y deshacer (J.-Y. Wang et al., 2008)
	Se realiza un estimado de los materiales. Se encarga con los proveedores para reservarlo hasta confirmar cantidades (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
Retrasos en facilitar al contratista las especificaciones técnicas de los materiales a utilizar	Todo va definido en los planos, las especificaciones se entregan a los contratistas con el contrato, si hubiera algo que esperar no se avanza con eso hasta que esté listo (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
	Desde la contratación va toda la información necesaria (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	
Accidentes en el sitio de la construcción	Evaluación de riesgo e impactos, planificación en la obra (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	
Errores de proveedores o de operarios	Mediante dirección a los obreros, revisiones y seguimiento del trabajo (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
	Inspección en todas las etapas (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
Mal funcionamiento del equipo provocando daños	En la licitación se pide buen funcionamiento de maquinaria y se inspecciona (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	Darle mantenimiento a la maquinaria y a los equipos (Díaz & Ruggeri, 2009; Ekanayake & Ofori, 2004), además realizar revisiones regulares de los equipos y maquinaria para optimizar el consumo de agua y energía; tener la maquinaria, solo el tiempo imprescindible en funcionamiento (apagar el motor en tiempos de espera). Adicionalmente en caso de realizar mantenimiento evitar derrames de aceites y líquidos de las maquinarias recolectandolos para su posterior entrega a los gestores autorizados y limpiar y mantener en buen estado las herramientas y el equipo de obra (Díaz & Ruggeri, 2009).
	Revisiones periódicas de la maquinaria y mantenimiento preventivo (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	
	Al realizar el contrato se menciona la cláusula, en caso de que algo este malo se devuelve (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	
	Se hace un chequeo a la hora de ingresar la maquinaria y mensualmente se están revisando (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	

Continuación del Cuadro 4.7

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Materiales y productos sin usar	En caso de haber algún sobrante se vende a los demás proyectos que tienen (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	Convenir con los proveedores la devolución de materiales sobrantes, cuidando que estos sean retirados y copiados adecuadamente para que puedan tener una reutilización posterior: tejas, ladrillos, ventanas, mobiliario, barandas y otros (Díaz & Ruggeri, 2009); evitando que se contaminen (Parrado, 2012)
	Se almacena en bodega, según antigüedad de almacena más a la vista para evitar la expiración de algún material (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
	Se almacena en bodega y se revisa antes de realizar nuevas compras (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Aptitudes deficientes por parte de la mano de obra	Evitan la rotación de personal lo más posible, cuando entra alguien nuevo que no está familiarizado con las prácticas de la empresa alguien le acompaña (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	Todo el personal trabajando en el sitio debe conocer el plan de gestión de residuos y contribuir a alcanzar las metas de este (Gangolells et al., 2014; Parrado, 2012), además animar al personal de la obra a proponer ideas sobre cómo reducir, reutilizar y reciclar residuos (Parrado, 2012) para que estos se apropien de la iniciativa y sea más fácil generar cambios de aptitud.
	Charlas constantes para irlos adaptando a las políticas de la empresa (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	
	Constante supervisión de los trabajadores para que todo se realice bajo los estándares de calidad (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Presión del tiempo	Planificación y seguimiento de los procesos (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015; Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	Programar la construcción (Ekanayake & Ofori, 2004), además establecer un plan logístico de construcción para que la entrega y gestión de materiales se dé de manera eficiente (WRAP, 2013) conforme avanza la construcción.
Fallas en el uso de equipos	Se aseguran que los trabajadores estén capacitados y se enlistan las características de las aptitudes necesarias de estos (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Selección incorrecta de equipo*		

* Causa no se encontraba en la entrevista original hacia las empresas por lo que no se recopilaron buenas prácticas para esta

Cuadro 4.8. Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de residuos.

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Residuos generados en el proceso mismo de construcción	Reutilizando lo que se pueda, control de cantidades para poseer indicadores de materiales (Volio y Trejos, entrevista personal, Julio 27, 2015).	<p>En la obra se debe dar separación de los residuos en el momento de la generación (Abdelhamid, 2014; Gangoellis et al., 2014); prevenir que los residuos se mezclen con suciedad (Cha et al., 2009); establecer recipientes temporales en cada zona de la construcción (Saez et al., 2013; WRAP, 2013); controlar los restos de los materiales y proveerlos a los trabajadores para que los reutilicen (Dainty & Brooke, 2004) ya que estos pueden aprovechar los restos de hormigón, cemento y materiales siempre que sea posible en la mejora de los accesos, zonas de tráfico, y cualquier otra aplicación que mejore las condiciones de seguridad de la obra, reutilizar los restos de corte siempre que sea posible (Díaz & Ruggeri, 2009); reutilizar la formaleta en próximos proyectos en construcciones temporales; reutilizar la madera (Villalobos Murillo, 1995); utilizar el descapote para labores de relleno de jardinería y zonas verdes, almacenándolo adecuadamente y tapándolo con una lona (UICN, 2011); en general maximizar el reuso de los materiales (J.-Y. Wang et al., 2008). Una vez que se haya reutilizado todo lo que se pueda, se recomienda que se conserven los residuos dentro del sitio (Tam, 2013), colocando los sobrantes en el contenedor de escombros limpio para favorecer su reciclaje; depositar los restos vegetales en un contenedor aparte para facilitar su posterior compostaje; no verter los restos de hormigón, mortero, yeso, cal y restos de aguas de limpieza en el desagüe, en sanitarios o en el suelo (Díaz & Ruggeri, 2009) y mantener los restos de comida (del comedor) lejos de los residuos a reciclar para no contaminar el material (NYC Department of Design & Construction, 2003). Se recomienda además utilizar compactadoras en el sitio para los residuos (Saez et al., 2013). Se debe mantener ordenada la zona de recepción y acopio de los materiales y transportarlos adecuadamente dentro de la obra (Díaz & Ruggeri, 2009). Los materiales producto de la obra negra que, por su contaminación, no puedan ser reciclados, pueden utilizarse en labores de relleno (UICN, 2011)</p>
	Reutilizando lo que se pueda (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	
	Separación en el sitio (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	

Continuación del Cuadro 4.8

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Material de empaque		Convenir con proveedores la disminución de envases y la devolución de materiales sobrantes y embalajes, sin comprometer la calidad del material transportado; además de reutilizar los pallets de embalaje como tarimas o tableros auxiliares para la construcción de la obra (Yates, 2013) todo lo que el material permita.
Demoliciones pre-existentes	Se trata de desarmar y reutilizar lo que se pueda (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015; Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015; Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	Identificar en las fases tempranas de diseño oportunidades de reducir y/o reciclar, especialmente cuando hay demoliciones previas (Greenwood, 2004; NYC Department of Design & Construction, 2003); reciclar materiales que se encuentren actualmente en el sitio para el nuevo proyecto (WRAP, 2013); reutilizar los materiales de edificios previos probando que sea técnica y económicamente fiable (Gangoellis et al., 2014; NYC Department of Design & Construction, 2003), además se debe informar a los técnicos de la obra acerca de las posibilidades de aplicación de los residuos en la propia obra o en otra, siempre que sea posible, sin embargo se debe intentar reutilizar y reciclar los residuos de la propia obra antes de optar por usar materiales procedentes de otras obras (Parrado, 2012).

4.3.2.1. Otras actividades

En el Cuadro 4.9 pueden encontrarse, según las causas de generación de residuos mencionadas en la literatura y su afirmación por las empresas, buenas prácticas para prevenirlas, tanto por las empresas como por la literatura.

Para Establecer planes estratégicos de manejo de residuos, la cuál es la buena práctica recomendada por la literatura para la 4ta causa, “Ausencia de planes de manejo de residuos”, el primer paso debe ser implementar el aspecto ambiental desde la planeación estratégica, la cual cuenta con valores, objetivos, metas y estrategias e indicadores de desempeño al respecto (Chinchilla Flores, 2008), esto se logra estableciendo un plan de manejo de residuos en las etapas tempranas del proyecto (Cha et al., 2009; NYC Department of Design & Construction, 2003; Tam, 2013; WRAP, 2013), generando objetivos específicos con metas medibles ambientales/de residuos y claras responsabilidades dentro del proyecto para la administración ambiental (Commonwealth Department of the Environment and Heritage, 2000), además se deben identificar y cuantificar los medios materiales necesarios en el marco de implementación del plan de gestión de residuos (Contenedores, entre otros) (Parrado, 2012), y que el presupuesto incluya costos detallados de las estrategias del plan de gestión de residuos (Gangolells et al., 2014). Adicionalmente que el gestor de los residuos pueda proveer de opciones para el manejo de los materiales económicamente efectivas (WRAP, 2013).

Se debe organizar una jerarquía para la administración de los residuos (Cha et al., 2009); todos los participantes (cliente, arquitecto, ingeniero, maestro de obras, trabajadores) están involucrados en la coordinación del plan de gestión de los residuos (Gangolells et al., 2014); además hay un encargado designado para la gestión de los residuos asegurándose que se lleve a cabo en el sitio (Gangolells et al., 2014). Durante la obra todo el personal debe conocer sus responsabilidades acerca de la manipulación de los residuos en la obra (Parrado, 2012) y deben revisar y discutir las metas de la gestión de los residuos como parte de las reuniones de avance del proyecto (NYC Department of Design & Construction, 2003).

Durante la obra deben llevarse registros de los residuos (Arif et al., 2012; Saez et al., 2013); mediante listas de control se puede minimizar la cantidad de los residuos que se producen, ya que se logra puntualizar cuáles son aquellas faltas más recurrentes que está cometiendo la empresa para

así focalizar la atención en aquellos indicadores más importantes que generan los desechos (Leiva, 2011), además según Leiva, “el mapeo de materiales y las listas de control son métodos muy prácticos y sencillos de aplicar para conocer las razones por las que se generan la cantidad de residuos, sólo implica atención en la observación a la hora de realizar la inspección correspondiente”. Con este mapeo de materiales se pueden localizar las fuentes de residuos de cada fase del proyecto y encontrar formas de concentrar esos residuos en esas fases en zonas específicas (WRAP, 2013); identificar materiales siendo reusados, rescatados y reciclados en el sitio (Sawant & Alone, n.d.). Con este control de materiales se pueden estimar los tipos y cantidades de residuos por fase del proyecto (Gangoellis et al., 2014).

A la hora de recoger el material ya separado debe describirse en un formulario los residuos que van a ser transportados y vertidos, para controlar su itinerario, desde donde se generan hasta su destino final; disponer de un directorio de compradores/vendedores potenciales de materiales usados o reciclados cercanos a la ubicación de la obra (Parrado, 2012) o haber identificado las facilidades para el reciclaje disponibles (Tam, 2013), además los vehículos encargados de la disposición de los residuos deben tener los contenedores o platonos apropiados y que toda la carga depositada en ellos quede contenida en su totalidad (UICN, 2011).

Adicionalmente se pueden realizar programas de educación para ayudar al cliente y a los interesados a apreciar los beneficios de la reducción de residuos y las estrategias en el proyecto para alcanzar las metas fijadas (Osmani et al., 2008) y se deben incluir a las compañías gestoras de residuos como parte de la cadena de materiales (Arif et al., 2012).

Cuadro 4.9 Buenas prácticas recopiladas de las diferentes empresas entrevistadas y en la literatura, según causas para el proceso de "otras actividades".

Causa	Buena Práctica Empresas	Buenas Prácticas según la Literatura
Perdidas por vandalismo o por robo	Se controlan las salidas de material de la bodega. Los contratistas ponen seguridad en la bodega. Cuando llega el material de una vez se lo entregan al contratista firmando el recibo de este (Fomento Urbano, entrevista personal, Julio 31, 2015).	Poner seguridad en la obra para evitar pérdida de materiales o equipo por robo o vandalismo (Ekanayake & Ofori, 2004).
	Seguridad y control en las bodegas (Eliseo Vargas, entrevista personal, Julio 29, 2015).	
	Regulación y control en la bodega	
	Hay seguridad en todos los proyectos, cada vez que se saca un equipo de bodega va a nombre de un trabajador y debe entregarlo al final del día (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Condiciones naturales		Proteger del sol, de la lluvia y de la humedad los materiales y las herramientas mediante lonas y elementos separadores del suelo (Díaz & Ruggeri, 2009).
Mal Clima	Mediante planificación se conoce que materiales y áreas deben estar alejadas de la lluvia	
	Todo el material va en tarimas y va tapado con plástico, sólo el bodeguero tiene acceso para asegurarse que nadie abra el paquete y lo deje descubierto (Empresa Anónima 2, entrevista personal, Agosto 21, 2015).	
Ausencia de planes de manejo de residuos	Existen registros que deben llevarse en el sitio	Establecer planes estratégicos de manejo de residuos.

Otras buenas prácticas recopiladas en las empresas que no han sido mencionadas anteriormente se pueden observar en el Cuadro 4.10

Cuadro 4.10. Buenas prácticas adicionales generadas por las empresas entrevistadas

Buena práctica generada	Empresa
Uso de dispositivos móviles para reducir uso papel y actualizar en tiempo real planos, inventarios, entre otros	Eliseo Vargas
Separar el material, venderlo, y usar lo ganado para la asociación de la empresa en obras de bien social (50%) y en utilidad para asociados (50%)	
Uso de rellenos sanitarios autorizados: Para pagarle al transportista este debe traer la boleta del tratamiento adecuado	
Reutilizar gypsum	
Hacer bodegas con contenedores que pueden estarse reutilizando	
Rellenar paredes con desecho	
Protección de taludes para evitar desastres	
Asegurarle trabajo en el próximo proyecto a los empleados que acaten los lineamientos	
Uso de formaleta Fenólica: se le da más uso y hay menos desperdicio	
Cuando sobran pinturas se mezclan para proteger alguna pared	
Sellar celdas con bolsas de cemento	
Uso de cajas de registro prefabricadas	
Usar un plástico debajo del repello para utilizar ese desperdicio como relleno	

4.4. OTROS RESULTADOS OBTENIDOS

4.4.1. Beneficios

Algunos beneficios que se han percibido en las empresas son:

Menos impacto al ambiente, cambios en la conciencia del personal y mejor imagen de los proyectos. Así como aumento en el orden, limpieza y seguridad de la obra y mayor productividad en los proyectos. Además de una reducción desperdicios, consumo de agua y costos.

Además de manera más específica la empresa Eliseo Vargas redujo a un 3-5% de desperdicio en sus proyectos (G. Ruiz, entrevista personal, Julio 29,2015), cuando normalmente se estima un 10% de desperdicio; y Volio y Trejos (P. Quesada y A. Rodríguez, entrevista personal, Julio 27, 2015) y Eliseo Vargas (G. Ruiz, entrevista personal, Julio 29,2015), encuentran mejoras continuas en los indicadores que establecen en sus proyectos.

4.4.2. Barreras

Algunas barreras que también se obtuvieron en las entrevistas se comentan a continuación: Eliseo Vargas (G. Ruiz, entrevista personal, Julio 29,2015), Fomento Urbano (J. Burgos, A. Carballo, entrevista personal, Julio 27, 2015) y Empresa Anónima 2 encuentran dificultad al tratar de cambiar la cultura del personal en cuanto al manejo de sus tareas y los residuos consecuentes de estas. Además comentaron que en el país no existen muchas opciones de tratamiento de los residuos de construcción y que la aplicación de estas prácticas no es una prioridad en las empresas a menos que los costos se vean reducidos por ello.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo presenta las principales conclusiones resultantes en este estudio, las cuales responden al cumplimiento de los objetivos planteados.

Además se incluyen recomendaciones para investigaciones futuras que amplíen el tema y sigan mejorando el sector constructivo.

5.1. CONCLUSIONES

Según las encuestas realizadas las causas identificadas como generadoras de residuos debido al diseño con un 95% de confianza son:

- No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas).
- Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo.
- No tomar en cuenta la geometría de diferentes productos combinados a la hora de diseñar.

Según las encuestas realizadas, los arquitectos y diseñadores introducen como nuevas causas generadoras de residuos las siguientes:

- Falta de estandarización de modulación entre los diferentes productos.
- Uso de formaletas maderas.
- Falta de información y de opciones de reciclaje para residuos de la construcción.
- Falta de políticas en el tema de residuos.
- La construcción de obras preliminares como bodegas, instalaciones de agua potable y red eléctrica.

Estas no fueron evaluadas en este estudio.

Todas las causas propuestas provenientes de la literatura fueron identificadas como una, en al menos una de las cinco empresas entrevistadas, por lo que son relevantes en el sector constructivo de Costa Rica.

Las empresas han desarrollado buenas prácticas para el manejo de los materiales.

Las buenas prácticas desarrolladas por las empresas pueden ser consideradas por el sector de la construcción nacional. Estas se encuentran en los apartados 4.3.1 y 4.3.2 las cuales se proponen sean adaptadas para los micro, pequeños y medianos empresarios.

Se propone considerar todas las buenas prácticas recopiladas de las empresas y literatura internacional para una guía nacional de gestión de materiales de la construcción.

Las empresas presentan las siguientes barreras para la aplicación de buenas prácticas ambientales dentro de la empresa:

- Dificultad de cambiar la cultura del personal en cuanto al manejo de sus tareas y los residuos producidos
- El país no cuenta con muchas opciones de tratamiento de los residuos de construcción
- La aplicación de estas prácticas no es una prioridad en las empresas a menos que los costos se vean reducidos por ello, sin embargo es difícil ya que normalmente la inversión en mejoras ambientales es muy alto, tanto económico como en horas hombre dentro de la empresa.

Las empresas indican que algunos beneficios en la aplicación de sistema de gestión de materiales son:

- Menos impacto al ambiente
- Cambios en la conciencia del personal
- Mejor imagen de los proyectos
- Aumento en el orden
- Limpieza y seguridad de la obra
- Mayor productividad en los proyectos
- Reducción desperdicios
- Consumo de agua y costos.

Se concluye que las empresas han disminuido sus porcentajes de desperdicio y mejorado indicadores ambientales y económicos en sus proyectos, por lo que la aplicación de estas prácticas es beneficiosa para el sector constructivo de Costa Rica.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar las nuevas causas obtenidas generadoras de residuos desde el proceso de diseño por parte de los arquitectos y diseñadores.

Analizar las buenas prácticas reportadas por las empresas participantes y adaptarlas para el sector de las micro, pequeñas y medianas empresas de construcción.

Evaluar las opciones de tratamiento de los residuos de construcción.

Estimar los costos-beneficios reales de la aplicación de estas buenas prácticas sería muy beneficioso para el sector para poder presentar datos concretos económicos y al ser positivos podría motivar su aplicación.

Divulgar la información sobre buenas prácticas en revistas especializadas nacionales para que sean implementadas en empresas que no han iniciado la incorporación de actividades con menor impacto ambiental.

6. REFERENCIAS

- Abarca-Guerrero, L. (2014). *A Construction Waste Generation Model for Developing Countries*. Eindhoven University of Technology.
- Abdelhamid, M. S. (2014). Assessment of different construction and demolition waste management approaches. *HBRC Journal*. doi:10.1016/j.hbrj.2014.01.003
- Arif, M., Bendi, D., Toma-Sabbagh, T., & Sutrisna, M. (2012). Construction waste management in India: an exploratory study. *Construction Innovation: Information, Process, Management*, 12(2), 133–155. doi:10.1108/14714171211215912
- Bossink, B. a. G., & Brouwers, H. J. H. (1996). Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 122(MARCH), 55–60. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1996)122:1(55)
- Brewer, G., & Mooney, J. (2008). A best practice policy for recycling and reuse in building. *Proceedings of the ICE - Engineering Sustainability*, 161(3), 173–180. doi:10.1680/ensu.2008.161.3.173
- CFIA. (2015). Indicadores CFIA de la Construcción Costa Rica En metros cuadrados Comportamiento del periodo: Enero – diciembre, 3–7. Recuperado de http://www.cfia.or.cr/descargas_2015/estadisticas/estadisticas_2013-2014.pdf
- Cha, H. S., Kim, J., & Han, J.-Y. (2009). Identifying and Assessing Influence Factors on Improving Waste Management Performance for Building Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(7), 647–656.
- Chinchilla Flores, L. (2008). Manejo de Residuos en la obra constructiva. *Ingenieros Y Arquitectos. Revista Del Colegio Federado de Ingenieros Y Arquitectos de Costa Rica*, 2, 28–29.
- Commonwealth Department of the Environment and Heritage. (2000). *Waste Reduction Guidelines for the construction & demolition industry*.
- Dainty, A. R. J., & Brooke, R. J. (2004). Towards improved construction waste minimisation: a need for improved supply chain integration? *Structural Survey*, 22, 20–29. doi:10.1108/02630800410533285
- Díaz, M., & Ruggeri, P. (2009). *Guía de buenas prácticas ambientales para obras en construcción*. Buenos Aires.
- Ekanayake, L. L., & Ofori, G. (2004). Building waste assessment score: Design-based tool. *Building and Environment*, 39, 851–861. doi:10.1016/j.buildenv.2004.01.007
- Faniran, O. O., & Caban, G. (1998). Minimizing waste on construction project sites. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 5(2), 182–188. doi:10.1108/eb021073
- Gangoellis, M., Casals, M., Forcada, N., & Macarulla, M. (2014). Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. *Resources, Conservation and Recycling*, 93(2014), 99–111. doi:10.1016/j.resconrec.2014.10.006

- Gavilan, R. M., & Bernold, L. E. (1994). Source Evaluation of Solid Waste in Building Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(3), 536–552. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1994)120:3(536)
- Greenwood, D. R. (2004). *Construction Waste Minimisation: Good Practice Guide*. Cardiff, United Kingdom.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta Edición). México: McGraw-Hill.
- International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB). (2002). *Construction Site Waste Management and Minimisation*.
- La Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. Ley para la gestión integral de residuos. (2010). San José, Costa Rica.
- Lawson, N., Douglas, I., Garvin, S., McGrath, C., Manning, D., & Vetterlein, J. (2001). Recycling construction and demolition wastes – a UK perspective. *Environmental Management and Health*, 12, 146–157. doi:10.1108/09566160110389898
- Leandro Hernández, A. grettel. (2008a). Manejo de desechos de la construcción. *Tecnología En Marcha*, 21(4), 60–63.
- Leandro Hernández, A. grettel. (2008b). Mejoramiento de los procesos constructivos. *Tecnología En Marcha*, 21(4), 64–68.
- Leiva, J. (2011). *Estudio de las causas de la generación de desechos (concreto, madera y acero) en la construcción de vivienda tradicional*. Universidad de Costa Rica.
- MINAE, Ministerio de Salud, MOPT, MAG, & MEIC. (2013). Decreto Ejecutivo 31849-MINAE-SALUD-MOPT-MAG-MEIC-2004: Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Recuperado de http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=53029&nValor3=93264&strTipM=TC
- Mora, G. (2007). Gestión y Manejo de Desechos de la Construcción. *Ingenieros Y Arquitectos. Revista Del Colegio Federado de Ingenieros Y Arquitectos de Costa Rica.*, 229, 20–21. Recuperado de <http://revista.cfia.or.cr/229/revista.pdf>
- Nagapan, S., Rahman, I. A., & Asmi, A. (2012). Factors Contributing to Physical and Non-Physical Waste Generation in Construction Industry. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, 1(1), 1–10. doi:10.11591/ijaas.v1i1.476
- NYC Department of Design & Construction. (2003). Construction & Demolition Waste Manual. Recuperado 5 de octubre, 2015, de <http://www.nyc.gov/html/ddc/downloads/pdf/waste.pdf>
- Osmani, M., Glass, J., & Price, a. D. F. (2008). Architects' perspectives on construction waste reduction by design. *Waste Management*, 28, 1147–1158. doi:10.1016/j.wasman.2007.05.011
- Osmani, M., Price, A., & Glass, J. (2006). Architect and contractor attitudes to waste minimisation. *Proceedings of the ICE - Waste and Resource Management*, 159(2), 65–72. doi:10.1680/warm.2006.159.2.65

- Parrado, C. (2012). Manual de Manejo de Residuos de Construcción y Demolición para Obras en Bogotá. In *Primer Foro Internacional para la Gestión y Control de los Residuos de la Construcción y Demolición*.
- Rajendran, P., & Pathrose, C. (2012). 2nd international conference on management implementing bim for waste minimisation in the construction industry: A literature review, (June), 557–570.
- Saez, P. V., Del Río Merino, M., San-Antonio González, A., & Porras-Amores, C. (2013). Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. *Resources, Conservation and Recycling*, 75, 52–62. doi:10.1016/j.resconrec.2013.03.009
- Sarkis, J. (1998). Evaluating environmentally conscious business practices. *European Journal of Operational Research*, 107(1), 159–174. doi:10.1016/S0377-2217(97)00160-4
- Sawant, P. H., & Alone, S. V. (n.d.). Construction Waste : Source Identification , Quantification and Its Management in Housing Projects. Recuperado de <http://www.civil.mrt.ac.lk/conference/ICSBE2012/SBE-12-94.pdf>
- SETENA. (2014). Acuerdo de la comisión plenaria guía ambiental para la construcción, (8839).
- SETENA. (2015). Viabilidad Ambiental. Recuperado setiembre 11, 2015, de <https://www.setena.go.cr/viabilidades.html>
- Skoyles, E. R., & Skoyles, J. R. (1987). *Waste Prevention on site*. Great Britain: The Mitchel Publishing Company Limited.
- Soibelman, L. (2003). Desperdicios vs el control de los materiales. *Construcción Y Tecnología*, 48–56.
- Tam, V. W. Y. (2013). *Improving waste management plans in construction projects. Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*. Woodhead Publishing Limited. doi:10.1533/9780857096906.1.9
- Tecnológico de Monterrey. (2005). Metodología para llevar a cabo una encuesta. Recuperado Septiembre 25, 2015, de http://www.cca.org.mx/funcionarios/cursos/ap066/material/m2met_enc.pdf
- Treloar, G., Gupta, H., Love, P., & Nguyen, B. (2003). An analysis of factors influencing waste minimisation and use of recycled materials for the construction of residential buildings. *Management of Environmental Quality: An International Journal.*, 14(1), 134–145. Recuperado de <http://ezproxy.itcr.ac.cr:2084/doi/pdfplus/10.1108/14777830310460432>
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN). (2011). *Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*. Recuperado de http://cmsdata.iucn.org/downloads/guia_escombros_baja.pdf
- Villalobos Murillo, A. J. (1995). *Estudio de Generación de Desechos en la Construcción de Viviendas de Mampostería*. Universidad de Costa Rica.

- Wang, G., & Lee, N. (2013). The Methodology of Utilization of Waste and Recycled Materials in Construction. *Icsdec*, 749–756. doi:10.1061/9780784412688.090
- Wang, J.-Y., Kang, X.-P., & Tam, V. W.-Y. (2008). An investigation of construction wastes: an empirical study in Shenzhen. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 6, 227–236. doi:10.1108/17260530810918252
- Waste and Resources Action Programme (WRAP). (2013). *Achieving good practice Waste Minimisation and Management*.
- Yates, J. K. (2013). Sustainable methods for waste minimisation in construction. *Construction Innovation*, 13(3), 281–301. doi:10.1108/CI-Nov-2011-0054

7. APÉNDICES

8. APÉNDICE 1: ENTREVISTA A EMPRESAS INNOVADORAS DE COSTA RICA

Entrevista a Empresas Constructoras en Costa Rica.

Esta entrevista tiene como objetivo conocer las buenas prácticas utilizadas por su empresa en la reducción y gestión de los residuos de la construcción.

Esta será grabada con la finalidad de poder obtener la mayor cantidad de detalles posibles.

Nombre de la empresa:

Nombre de contacto:

Teléfono:

¿Permite ser citado en el Trabajo Final de Graduación “Buenas prácticas de construcción para reducir y gestionar los residuos de construcción y optimizar el uso y gestión de los materiales”?

- Sí No

Si la respuesta es negativa:

¿Permite que use su información de manera anónima y confidencial?

- Sí No

¿Dónde se ejecutan la mayoría de sus proyectos?

- Dentro GAM Fuera GAM

¿Cuál suele ser el área de la mayoría de sus proyectos constructivos?

- 0-299 m²
 300-999m²
 >1000m²

Cuadro A.1.1. Causas de generación de residuos.

Actividad del Proceso	Variable	¿Usted considera este factor causa de generación de residuos? (Si/No)	¿Su empresa posee una práctica para disminuir los residuos generados por esta causa? (Si/No)	¿Cuál es?
Diseño	No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.			
	No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)			
	Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo			
	Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado			
	Falta de información en los planos y especificaciones técnicas			
	Selección de productos de baja calidad			
	Complejidad del diseño y del detalle			
	Errores en los detalles del diseño y construcción			
	En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto			
	No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño			
	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de zinc en el diseño.			
	No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypson densglass, otros) a la hora del diseño.			
	No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.			
	El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material			
No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar.				
Administrativa y compras	Errores en la orden de compra provocando que lo que llega a la obra sea más material o menos material de lo requerido			
	Uso de material erróneo, necesitando reemplazo			

Actividad del Proceso	Variable	¿Usted considera este factor causa de generación de residuos? (Si/No)	¿Su empresa posee una práctica para disminuir los residuos generados por esta causa? (Si/No)	¿Cuál es?
Administrativa y compras	Imposibilidad de ordenar o comprar cantidades menores de materiales y los remanentes quedan como residuos			
	Los materiales adquiridos no cumplen con las especificaciones técnicas			
	Cambios de diseño durante la construcción			
	Falta de participación temprana de los interesados			
Manejo de los materiales	Los materiales llegan muy mal empacados			
	Daños durante el transporte			
	Almacenamiento inapropiado que genera daños y deterioro			
	Descuido durante la manipulación de los materiales por parte del grupo de trabajo			
	Falta de cultura ambiental de los trabajadores			
	Falta de dirección técnica a las cuadrillas			
	Errores en el envío y en la compra por parte del proveedor			
Operación	Uso del material incorrecto			
	Daños en la infraestructura ya colocada provocado por un proveedor de otros servicios (por ejemplo, rotura de marcos de madera ya colocados por instaladores de vidrios)			
	Cantidades requeridas poco claras debido a fallas en la planificación de la obra			
	Retrasos en facilitar al contratista las especificaciones técnicas de los materiales a utilizar			
	Accidentes en el sitio de la construcción			
	Errores de proveedores o de operarios			

Continuación del Cuadro A.1.1

Actividad del Proceso	Variable	¿Usted considera este factor causa de generación de residuos? (Si/No)	¿Su empresa posee una práctica para disminuir los residuos generados por esta causa? (Si/No)	¿Cuál es?
Operación	Mal funcionamiento del equipo			
	Materiales y productos sin usar			
	Aptitudes deficientes por parte de la mano de obra			
	Presión del tiempo			
	Fallas en el uso de equipos			
Residuos	Residuos generados en el proceso mismo de construcción			
	Material de empaque			
	Demoliciones pre-existentes			
Otras Actividades	Perdidas por vandalismo o por robo			
	Ausencia de control de materiales en el sitio			
	Ausencia de planes de manejo de residuos			
	Desastres naturales			
	Mal clima			
	Expiración de algún material durante el proceso de construcción			

¿Posee otras prácticas que le ayuden a mejorar el manejo de materiales, reducir residuos u optimizar el uso de la materia prima?
 ¿Cuáles?

¿Han sido visibles los beneficios de la aplicación de estas prácticas? ¿Cuáles han sido?

¿Tienen cuantificados financieramente o en reducción de materiales, el impacto de alguna buena práctica aplicada?

¿Cuáles son algunas barreras que ha experimentado para la aplicación de las prácticas?

9. APÉNDICE 2: ENCUESTA A DISEÑADORES EN COSTA RICA

Encuesta a diseñadores en Costa Rica.

El Instituto Tecnológico de Costa Rica con el apoyo de la Cámara de la Construcción y el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos están desarrollando una investigación en el tema de “Buenas prácticas de la construcción para reducir la generación de residuos y optimizar el uso y gestión de los materiales” con el objetivo de conocer las causas de la generación de residuos de construcción en Costa Rica y como las empresas las contrarrestan con prácticas para el uso eficiente de los materiales.

Conocedores de su espíritu de colaboración, interés y gran preocupación por desarrollar su labor en este campo de forma ética y responsable, es que le solicitamos de la manera más atenta, analice y complete la siguiente encuesta “Cuestionario para diseñadores” que se adjunta a continuación. Por medio de la información que nos suministre usted estará contribuyendo al mejoramiento y protección de nuestro patrimonio ambiental.

Quisiéramos indicarle que le garantizamos estricta confidencialidad en el manejo de la información, la cuál será utilizada únicamente con propósitos meramente académicos.

Cuestionario para Diseñadores

Esta encuesta tiene como objetivo conocer las causas de generación de residuos en la construcción durante la etapa de diseño.

Adicionalmente quisiéramos conocer de buenas prácticas utilizadas por usted o por su empresa desde la perspectiva del diseño.

Favor escribir su nombre para incluirlo en la lista de colaboradores o sus iniciales para efectos de tabular la información:

Los proyectos son generalmente desarrollados:

- Dentro GAM
- Fuera GAM

¿Cuál suele ser el área de la mayoría de sus proyectos constructivos?

- 0-299 m²
- 300-999 m²
- Más de 1000 m²

Cuadro A.2.1 Causas de generación de residuos en el diseño

¿Considera usted que esta es una causa generadora de residuos en sus proyectos?

Variable	Totalmente de acuerdo	Muy de acuerdo	De acuerdo	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo	No aplica
No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.						
No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)						
Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo						
Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado						
Falta de información en los planos y especificaciones técnicas						
Selección de productos de baja calidad						
Complejidad del diseño y del detalle						
Errores en los detalles del diseño y construcción						
En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto.						
No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño						
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de zinc en el diseño.						
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypson densglass, otros) a la hora del diseño.						
No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.						
El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material						
No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar.						
No se toma en cuenta la geometría de diferentes productos combinados a la hora de diseñar.						

¿Conoce usted otra causa de generación de residuos? (opcional)

Cuadro A. 2. 2. Causas de generación de residuos en el diseño y buenas prácticas aplicadas

Variable	¿Conoce alguna buena práctica para disminuir la generación de residuos para contrarrestar las causas mencionadas? (Opcional)	¿La pone en práctica?
No considerar el producto y sus unidades de venta (pulgadas, pies, metros, varas) a la hora de generar el diseño.		
No considerar productos fabricados bajo el concepto de la coordinación modular (bloques de concreto, techo laminado y marcos de puertas y ventanas)		
Modificaciones al diseño original durante el proceso constructivo		
Falta de conocimiento de la existencia de piezas estandarizadas existentes en el mercado		
Falta de información en los planos y especificaciones técnicas		
Selección de productos de baja calidad		
Complejidad del diseño y del detalle		
Errores en los detalles del diseño y construcción		
En diseños de acero, no considerar la longitud de venta del producto.		
No tomar en cuenta el largo de la varilla en el diseño		
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de zinc en el diseño.		
No tomar en cuenta las dimensiones de las láminas de los sistemas de paredes livianas (gypson densglass, otros) a la hora del diseño.		
No tomar en cuenta las dimensiones de bloques de concreto a la hora del diseño.		
El ancho del lote no se presta para poner productos modulares completos, teniendo que cortarse material		
No se toma en cuenta las dimensiones de los productos utilizados en el sistema electromecánico a la hora de diseñar.		
No se toma en cuenta la geometría de diferentes productos combinados a la hora de diseñar.		

10. ANEXOS

**11. ANEXO 1: CATEGORIZACIÓN GENERAL DE LAS ACTIVIDADES, OBRAS
O PROYECTOS SEGÚN EL REGLAMENTO GENERAL SOBRE LOS
PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA))**

Cuadro B. 1.1 Características según la actividad de construcción para las distintas categorías. (Tomado de “Decreto Ejecutivo 31849-MINAE-SALUD-MOPT-MAG-MEIC-2004: Reglamento General sobre los Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA),” 2013)

Categoría	División	Descripción de la Actividad	A	B₁	B₂	C
F. Construcción	45. Construcción	Construcción y operación de edificaciones. Zona Urbana. Excepto las viviendas unifamiliares y edificaciones de hasta 300 metros cuadrados de construcción en dos pisos o menos.	> 10,000m ² de construcción	5,000 -10,000 m ² de construcción	1,000 - 4,999 m ² de construcción	0 - 999 m ² de construcción
		Construcción y operación de edificaciones. Zona Rural. Excepto las viviendas unifamiliares y edificaciones de hasta 300 metros cuadrados de construcción en dos pisos o menos.	> 10,000 m ² de construcción	5,000 -10,000 m ² de construcción	0 -4,999 m ² de construcción	
		Construcción de edificios industriales y de almacenamiento, cuando no tengan relación directa con la operación.	> 10,000 m ²	3,000 -10,000 m ²	500 - 2,999 m ²	0 - 499 m ²
		Construcción y operación de hoteles, albergues, complejos turísticos y clubes campestres.	> 10,000 m ²	5,000 -10,000 m ²	1000 -4,999 m ²	0 - 999 m ²

Continuación del Cuadro B.1.1

Categoría	División	Descripción de la Actividad	A	B₁	B₂	C	
F. Construcción	45. Construcción	Construcción y operación de hospitales y clínicas veterinarias.		Todas			
		Construcción y operación de hospicios, albergues de huérfanos, ancianos, psiquiátricos y demás centros de atención social.		Todas			
		Construcción y operación de centros de salud de atención ambulatoria e incluye a los EBASIS.				Todas	
		Construcción y operación de cementerios.	Todas				
		Urbanizaciones residenciales de alta y mediana densidad. <i>Zona Urbana</i>	> 5 ha	1 - 5 ha	< 1 ha		
		Urbanizaciones residenciales de mediana y baja densidad. <i>Zona Rural</i>		> 10 ha	5 - 10 ha		