10° Congreso Interamericano de Residuos Sólidos AIDIS/DIRSA y 6to Congreso Nacional AMICA

"HACIA CIUDADES CERO RESIDUOS"

MEMORIAS

Mérida, Yucatán, México
Del 1 al 3 de noviembre 2023

ISBN: 978-85-93571-15-2

10° Congreso Interamericano de Residuos Sólidos AIDIS/DIRSA y 6to Congreso Nacional AMICA

"HACIA CIUDADES CERO RESIDUOS"

Editores:

Dra. María del Carmen Ponce Caballero

Dr. José Ramón Laines Canepa

Mérida, Yucatán, México

Del 1 al 3 de noviembre de 2023

ISBN: 978-85-93571-15-2

COMITÉ ORGANIZADOR DEL
10° CONGRESO INTERAMERICANO DE RESIDUOS SÓLIDOS
AIDIS/DIRSA Y 6TO CONGRESO NACIONAL AMICA

Presidente del 10º Congreso de Residuos
M.B.A. Mauricio Vila Dosal - Gobernador Constitucional del Estado de Yucatán

Rector de la Universidad Autónoma de Yucatán
M. en C. Carlos Alberto Estrada Pinto

Presidente de AIDIS
Ing. José Luis Inglese

Presidente de AMICA
Dra. María del Carmen Ponce Caballero

Director DIRSA
Ing. Marcos Alegre

Directora General del Congreso
Dra. Pilar Tello Espinoza

Director Técnico del Congreso DIRSA y Congreso AMICA
Ing. Rosario Castro / Ing. Nicolás Cordero

Coordinadores de Reunión de Universidades y Centros de Investigación:
Dra. Vania Sheneder / Dr. Ramón Laines Canepa

Coordinadores de Reunión de Autoridades
Dra. Pilar Tello / M.I.A. Sayda Melina Rodríguez Gómez

Coordinación de logística:
Dr. Virgilio Góngora Echeverría

Coordinador de visitas técnicas
M.G.A. Diana Pérez Jaumá

Coordinador de Actividades Sociales:
Dr. Carlos Quintal Franco/ M.G.S.T Michell Reyes Múgica

Coordinador de la EXPODIRSA
Ing. Lenin Villalba /M.I.A. Gabriela Reza Bacelis

Programa Institucional UADY Sustentable
Dra. Diana Cabañas Vargas

COMITÉ ACADÉMICO DEL
10° CONGRESO INTERAMERICANO DE RESIDUOS SÓLIDOS
AIDIS/DIRSA Y 6TO CONGRESO NACIONAL AMICA

Rosalba Sarafian - Argentina

Alejandro dos Santos - Argentina

Israel Ávila Lázaro – México

Mario Berent - Argentina

Vânia Schneider - Brasil

Heliana Kátia Tavares Campos - Brasil

Carmen Ponce Caballero - México

Darci Barnech Campani - Brasil

Marcel Szanto - Chile

Edmundo Abellan - Costa Rica

Francisco de la Torre - Ecuador

José Ramón Laines - México

Lenin Villalba - Ecuador

Cristina Vallejo - Ecuador

Jaime Carranza - Guatemala

Nicolás Cordero - México

Pilar Tello - México

Evelyn Martínez Arce - Paraguay

María del Rosario Castro - Perú

Virgilio Góngora Echeverría - México

Amelia Elisabeth Santos Vijil - Honduras

Juan Guillermo Umaña - El Salvador

Samuel Díaz Jaimes - México

TEMA 1: GESTIÓN DE RESIDUOS

HACIA LA GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN EN COSTA RICA

Nidia Cruz Zúñiga

Universidad de Costa Rica, San Pedro de Montes de Oca. nidia.cruz@ucr.ac.cr

Resumen

Los residuos de construcción generan una fuerte presión sobre el medio ambiente y representan un desafío significativo de gestión para los países. En el caso particular de Costa Rica, hay poca información de campo que permita cuantificar el problema con miras a una regulación adecuada para el sector. Además, a pesar de que existe una ley marco desde hace más de 12 años, no se ha logrado una regulación específica. Este artículo presenta una síntesis de los principales resultados de una investigación que consta de tres fases: a) mediciones de campo para determinar las tasas de generación y la composición de los residuos, b) evaluación de percepciones y brechas con respecto a la gestión y recuperación de estos residuos, y c) estudios que respaldan la reutilización potencial de los escombros. Los resultados hasta el momento logran mostrar grandes diferencias en la generación de residuos de un proyecto a otro, especialmente en relación con los métodos de construcción utilizados. Además, se evidencian una serie de variables que influyen en dicha generación y el aumento de las tasas de residuos por tipo de material. Finalmente, se concluye que hay consenso en el sector con respecto a una regulación más específica y la recuperación de residuos, siempre y cuando no implique un aumento de costos o incertidumbre en la calidad de los materiales recuperados.

Palabras clave: *residuos sólidos, residuos de construcción y demolición, gestión integral de residuos, economía circular.*

Abstract

Construction waste generates strong pressure on the environment and represents a significant management challenge for countries. In the particular case of Costa Rica, there is little field information that allows quantifying the problem with a view to adequate regulation for the sector. In addition to this, despite the fact that there has been a framework law for more than 12 years, specific regulations have not been achieved. This article presents a synthesis of the main results of an investigation that consists of three phases: a.) field measurements to determine generation rates and waste composition, b.) evaluation of perceptions and gaps regarding the management and recovery of this waste and c.) Studies that support the potential reuse of the rubble. The results now manage to show great differences in the generation of waste from one project to another, especially related to the construction methods used. In addition to evidencing, a series of variables that influence said generation and the increase in waste rates by type of material. Finally, it is concluded that there is consensus in the sector regarding a potential more specific regulation and the recovery of waste, as long as it does not imply an increase in costs or uncertainty in the quality of the recovered materials.

Keywords*: solid waste, construction and demolition waste, integrated waste management, circular economy.*

Introducción

El sector construcción incide en el desarrollo del país, ya que influye en el crecimiento de actividades económicas, al generar infraestructura física y empleo. Según datos de la Cámara Costarricense de la Construcción, en el 2019 la construcción aportó alrededor del 4,0 % del producto interno bruto del país, y el 3,9 % para el 2020 (Cámara Costarricense de la Construcción, 2021). Adicionalmente, según la Encuesta Continua de Empleo, un 7 % de la población ocupada de Costa Rica se desarrolla en la rama de la construcción, lo que representa cerca de 135 500 personas que se

sustentan gracias al sector (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2021).

Desde el punto de vista del impacto ambiental, el sector de la construcción "consume el 40 % de los materiales vírgenes que se extraen, mientras que produce el 10 % – 35 % de los residuos que se encuentran en los sitios de disposición" (Abarca, Leandro, Hasbum y Solano, 2019). Los residuos de construcción suelen tener características complejas, que dificultan su gestión (peso y volumen, aunado a la peligrosidad de algunos de ellos. Sin embargo, también es un sector con gran potencial para contribuir al reaprovechamiento de residuos, tanto los producidos en el mismo sector como los provenientes de otros sectores de la economía, lo que potencialmente puede ser un beneficio.

En Costa Rica ya existe un marco normativo que regula la Gestión Integral de Residuos (Ley N˚ 8839), sin embargo, las acciones enfocadas en los residuos de construcción son escasas y poco específicas. Desde hace un tiempo se viene trabajando en regulaciones más específicas, pero aún no se concretan. Como consecuencia, aún se carece de los mecanismos para mejorar su recolección, transporte, almacenaje, procesamiento y disposición o que permitan reducir las tasas de generación (Arce, 2017).

Según Leandro (2008), la generación de desechos de construcción en una obra depende de las políticas de administración, proveeduría y manejo de materiales del proyecto, la capacitación y calidad de la mano de obra y del tamaño y complejidad del proyecto. Aunado con ello, según indica Cruz (2010) el porcentaje de desperdicio de materiales es mayor si el presupuesto es inexacto o no considera los desperdicios como un factor determinante: por inexperiencia de quien lo elabora, aplicación de factores de seguridad altos o falta de detalle en planos constructivos. Por otro lado, se han generado experiencias que indican que en proyectos pequeños tampoco es común que se lleven controles de inventario donde se registre las cantidades compradas versus las utilizadas, lo que conlleva a que no se controlen los índices de desperdicio; 83 % de las empresas encuestadas por Abarca y Leandro (2016) no guardan un registro de este tipo.

Variables como las mencionadas aún requieren ser estudiadas a profundidad para la problemática nacional, y es parte del aporte de la presente investigación. El camino hacia la correcta gestión de residuos de la construcción civil es complejo. El sector construcción aún está lejos de concretar acciones para impulsar la economía circular para su gestión en Costa Rica. El fin del presente artículo es presentar una síntesis de algunos datos generados en procesos de investigación generados bajo esta línea de trabajo gracias al aporte de trabajos de graduación de diferentes estudiantes de la Universidad de Costa Rica, y con base en ello mostrar parte del camino que se sigue hacia una verdadera gestión integral de residuos para el sector.

Objetivos

La investigación global que ha generado los resultados que se presentan a continuación tiene por objetivo contribuir a la creación de conocimiento base en cuanto a la gestión integral de los residuos de construcción en Costa Rica.

Adicionalmente se tienen los siguientes objetivos específicos:

- Determinar el comportamiento de la generación y composición de los residuos de construcción, mediante una medición en campo en una muestra de proyectos.
- Identificar brechas que pudieran inhibir o reducir el potencial uso de materiales para la construcción provenientes de residuos del sector.
- Definir las pautas que requiere el sector construcción en Costa Rica para impulsar una economía circular.
- Evaluar los aspectos legales requeridos por el país para fomentar la correcta gestión y el aprovechamiento de los residuos de construcción.

- Estudiar las características que pueden tener los agregados reciclados en el país y su potencial de aprovechamiento

Los resultados asociados a los últimos dos objetivos expuestos no se incluyen en este artículo.

Metodología

La investigación se ha desarrollado con colaboración de estudiantes de licenciatura en ingeniería civil, a través de trabajos finales de graduación (TFG). Los objetivos específicos de la investigación se han ido resolviendo con varios TFG a lo largo del período de investigación.

La investigación partió de la hipótesis de que existen diferentes brechas que limitan el uso de agregados reciclados generalizadamente en el país, y que parte de estas limitaciones están establecidas por una falta de información y regulación más pertinente. Con base en ello, se decidió abordar tres grandes ejes de trabajo para colaborar en esa producción de información y a la vez ir resolviendo los objetivos de la investigación general. Estos ejes son:

- Generación de estadísticas respecto a la generación y composición de los residuos sólidos de construcción en el país.
- Recopilación de referentes normativos que puedan dar pautas respecto a cómo regular la GIRS para este tipo de residuos de forma eficiente.
- Estudio de las propiedades de los agregados que pueden ser producidos con diferentes tipos de escombros en el país.

Así cada eje tuvo un abordaje diferente para generar nuevo conocimiento. El primero se trabajó segmentado dado la complejidad del trabajo de campo implicado. Se decidió realizar un abordaje de índole exploratoria, por tipología constructiva y con estudios de caso que midieran directamente la cantidad y tipos de residuos que se iban generando en proyectos seleccionados. Esta parte ha sido la más lenta de la investigación, pues requiere que cada estudiante pueda medir adecuadamente los residuos en un conjunto de proyectos. Para homologar las mediciones se estandarizaron los métodos de análisis para lo cual se utilizó el balance de masas (haciendo uso de los registros de ingresos de materiales a cada proyecto, y de los residuos que se disponen) y el método de pesada total (donde se midió y pesó la mayoría de los residuos producidos, diferenciándolos por tipo de residuo). Se ha trabajado con proyectos de vivienda unifamiliar (condominios, viviendas en serie, y viviendas de lujo) y con diferentes sistemas constructivos (mampostería confinada, mampostería modular y elementos colados en sitio). En la tabla 1 de los anexos se puede ver un detalle de la muestra de proyectos utilizados. Adicionalmente se han realizado mediciones en proyectos de naves industriales y más recientemente en obras de infraestructura urbana (datos no incluidos en el presente artículo). En cada proyecto se realizaron visitas semanales y se complementó la información levantada en campo con entrevistas a los encargados de las obras, sean profesionales en construcción o maestros de obras.

El segundo eje se trabajó mediante un abordaje mixto que mezcló una revisión bibliográfica exhaustiva de normativas similares en otros países de América Latina, junto con una serie de consultas a actores clave. Esto último ha servido de enlace para concretar esas brechas que se consideraban relevantes desde la hipótesis y permitió guiar en parte los otros ejes de trabajo. Posteriormente se trabajó con las autoridades nacionales en discutir los hallazgos de la información recopilada y dar las sugerencias de cómo ir caminando hacia una efectiva economía circular de los residuos del sector construcción. En el último eje se trabajaron consultas con una muestra de 60 personas profesionales afines a la construcción. En todos los casos donde se realizaron consultas a personas los datos se procesaron de forma anónima, respetando la confidencialidad de los participantes.

El tercer eje (no abarcado en este artículo) se ha abordado mediante procesos de pruebas de

laboratorio, donde se han estudiado residuos tipo escombros (cementicios), provenientes de diferentes fuentes de generación (bloques de mampostería y mortero de pega, baldosas prefabricadas, y elementos de concreto chorreado en sitio). Para cada caso se han estudiado las características que tienen los agregados reciclados de diferentes fuentes, y comparándolos con los estándares establecidos por las normas ASTM. Luego se ha probado la efectividad del uso de estos agregados reciclados para la elaboración de nuevos concretos. También se ha trabajado en procesos de reciclaje cíclico de escombros, con el fin de evaluar la variación de los subproductos generados bajo los diferentes ciclos. Este eje contribuye a darles respaldo técnico y seguridad a los usuarios de los agregados reciclados de que estos cumplen las especificaciones mínimas requeridas.

Métodos de trabajo

El análisis de pesada total (análisis de número de cargas) consiste en pesar todos los residuos que llegan a una instalación de tratamiento o vertido y permite determinar la tasa de generación de residuos con los datos recolectados (Castro, 2017).

La tasa de generación de residuos es la relación que existe entre la cantidad de residuos generados, ya sea en peso o volumen y la unidad de generación deseada. En este caso se ha utilizado el peso en kilogramos por metro cuadrado de construcción como unidad de estandarización, según la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ generación = \frac{kg\ de\ residuos\ generados}{m^2\ construidos} \quad (1.)$$

Las tasas de generación de residuos de construcción contribuyen a poder realizar estimaciones de los volúmenes de residuos a generar por proyecto, lo que ayuda a la planificación y a la gestión de los residuos y de la construcción en sí. Además son útiles para estimar proyecciones nacionales de las cantidades de residuos que requieren manejo anualmente.

En los proyectos en estudio además se utilizó el índice de residuos basado en un balance de masas. Para este método se toman todas las entradas y salidas de los materiales adquiridos y los residuos generados. El índice de residuos se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Índice\ de\ residuos = \frac{kg\ de\ residuos\ generados}{kg\ de\ materiales\ adquiridos} \times 100\ \% \quad (2.)$$

En cada proyecto se realizaron visitas de medición al menos una vez por semana o cuando el encargado avisaba que se iba a realizar una limpieza de residuos en el sitio. Los residuos se pesaron balanzas digitales con una incertidumbre de 0.05 kg y con la ayuda de estañones o baldes, luego se registraron los datos del pesaje en la hoja de Excel.

En el caso de las consultas a los actores implicados, contemplados en el eje dos de la investigación, se realizó una encuesta digital con ayuda de la plataforma *Google Forms* a una muestra de 60 profesionales que laboran en el área de construcción.

Resultados y Discusión

La generación y composición de residuos siempre varía dependiendo de diversas variables. En el caso de los residuos de construcción la investigación realizada ha corroborado que existen metodologías constructivas más eficientes que otras en cuanto al uso de materiales, y que por ende tienen tasas bajas de generación de residuos, como por ejemplo cuando se usan correctamente elementos prefabricados o modulares. Sin embargo, independientemente del método de construcción, hay situaciones que pueden suscitar cantidades mayores de residuos y que deberían evitarse, tales como la compra de cantidades innecesarias de materiales, la variabilidad en las dimensiones de elementos, el daño de materiales por baja calidad o manipulación inapropiada, la falta de compromiso e interés de las empresas

constructoras con el correcto tratamiento de los residuos.

Por otro lado, obtener datos estadísticamente representativos y veraces también fue un reto; la variabilidad de personal, el espacio disponible, la sensibilización de los trabajadores con la gestión de residuos y anuencia a colaborar fueron factores que incidieron fuertemente en los datos que pudieron ser recopilados en campo. Por otro lado, al tratarse de una investigación realizada con apoyo de las personas estudiantes mediante trabajos finales de graduación, tampoco fue posible homologar totalmente la clasificación de los residuos en campo, pues el criterio propio y la facilidad de separación en algunos momentos privaba en la obtención de los datos. Por estas razones en algunos casos los datos obtenidos no sean totalmente comparables o no se llega a la misma etapa constructiva en todos los casos. La mayoría de los proyectos fueron analizados hasta culminar obra gris, solo en pocos de ellos se logró cuantificar residuos de las actividades de acabados.

1. Generación y composición de residuos de construcción en obra

En total se muestrearon 12 proyectos de vivienda de diferentes características como se pudo ver en la Tabla 1 de los anexos. Los datos generales de cantidad de residuo por proyecto se pueden ver en detalle en las Tablas 2 y 3 de los anexos.

En la figura 1 se muestra los resultados generales de la tasa de generación por tipo de residuo que se obtuvieron en los diferentes proyectos. Es evidente ver la gran variabilidad de los datos obtenidos, en especial para el escombro, que en casi todos los casos es el residuo predominante.

Al analizar los datos, se obtuvo una tasa de generación promedio de 35.8kg/m2 de construcción, considerando la totalidad de la muestra. Sin embargo, hay que notar que la influencia de los proyectos de vivienda de lujo pesa mucho en ese promedio, ya que generan una tasa de residuos mucho mayor (142 kg/m^2 en promedio); por lo que si se considera un nuevo promedio para los proyectos de vivienda de casas más pequeñas se llega a un valor de 14.5 kg/m^2 en promedio. En particular cuando se analizan los residuos si es evidente que los proyectos grandes, cuya metodología constructiva se basa mucho en el encofrado y en elementos chorreados en sitio no modulares, el aporte de residuos de madera de formaleta y de escombros en mucho mayor.

Por otro lado, al analizar los índices de residuos fue evidente el aporte a la reducción de residuos de los materiales pre cortados, prefabricados o modulados. Por ejemplo, en el caso de las láminas de zinc, este fue el material en todos los casos con menor valor de índice de residuos, con valores cercanos a cero, debido a que estas se solicitaron moduladas a la geometría del techo y ya ésta comienza a ser una práctica más común en los proyectos.

Otro resultado sobresaliente en las mediciones realizadas en sitio en cada proyecto es que el uso de mamposterías modulares realmente no está reflejando una disminución de los residuos tipo escombro que se general, debido a que las prácticas constructivas y la mano de obra muestran incidir mucho en la generación de este tipo de residuos. Para los casos analizados, fue más influyente la calidad de trabajo que la modulación, ya que los proyectos con mampostería tradicional reflejaron menores tasas de generación de escombro que los proyectos con algún sistema de mampostería modular. La mayoría de las fuentes de generación de residuos de los bloques se deben a motivos no asociados con fallos en la modulación como tal, sino relacionados con otros factores; tales como el despacho tardío de materiales, mala manipulación del material en las etapas de transporte o almacenamiento, imprecisiones topográficas que hacen que las medidas de campo no calcen con los planos y deban cortarse bloques, uso indebido del material, por ejemplo, para calzar los andamios, cortar los bloques donde se olvidó colocar un toma o una tubería, entre otros.

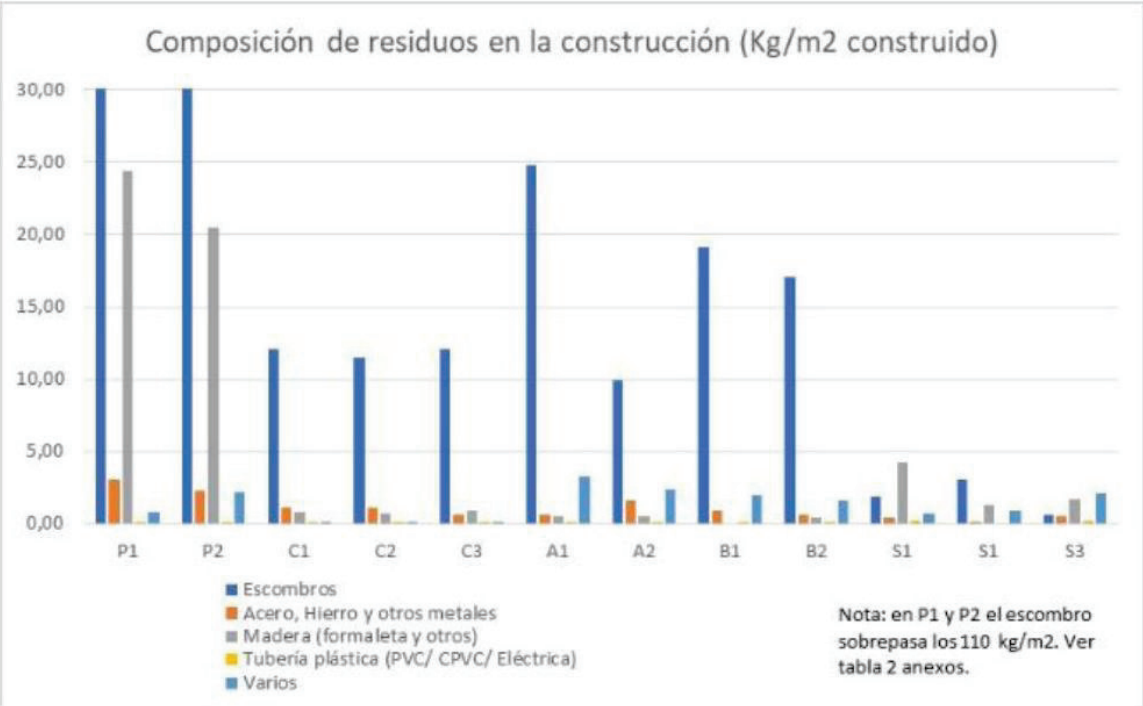

Figura 1 Tasas de generación por tipo de residuos en los proyectos muestreados.

Finalmente, al analizar la fracción varios de la generación de residuos en los diferentes proyectos (Ver Tabla 3 de los Anexos) se ve que hay materiales que no aportan un peso considerable en la tasa de generación, pero si son importantes de considerar por su aporte en volumen, tal es el caso de los restos de estereofón cartones y de láminas de yeso. En los casos donde fue posible medir los residuos de los materiales utilizados para acabados, los cerámicos también juegan un papel relevante en el aporte a esta fracción "varios", sin tener en la investigación suficiente información como para indicar el comportamiento de estos residuos en los diferentes tipos de obra. Queda para una futura investigación el análisis más detallado de los residuos en procesos de remodelaciones o de la fase de acabados de las obras.

En cuanto al índice de generación de residuos, que mide el porcentaje de desperdicio de cada material (porcentaje que suele ser utilizado para la presupuestación de obras) se pudieron evidenciar valores superiores al teórico recomendado (según el tipo de material la teoría indica que se presupueste con entre un 5 y 10% de desperdicio). En muchos de los casos estudiados algunos tipos de materiales presentaban índices mayores, siendo el promedio de 15.6%.

2. Lineamientos que propicien una adecuada gestión de residuos en el sector

Según las consultas realizadas con la colaboración de los estudiantes, en general muchas de las empresas tanto encuestadas como las visitadas en campo no cuentan con una medición y control formar de los residuos de construcción que generan. En parte indican que se debe a varias razones: falta de incentivos, falta de espacio, no tienen la costumbre, o no lo solicita el cliente; lo anterior concuerda con lo que indican Abarca y Leandro (2017) cuando se refieren a que la mayoría de empresas constructoras en Costa Rica no cuentan con registros de la cantidad de residuos generados y esto dificulta la creación

de programas por partes de las empresas que les permitan no solo minimizar el impacto ambiental, sino que también mejorar el rendimiento y los gastos por conceptos de desperdicios. Según lo señalado por Peraza (2022), aunque un 61.6% de los encuestados llevan algún registro de la cantidad de residuos que generan, estos no son completos, sino solo de algunos materiales en la mayoría de los casos, y cuando de clasificar se trata solo el 40% indican hacerlo siempre, a lo que indican que es una actividad adicional, que no es exigida aún por la ley para el sector y que además no es bien remunerada.

Pese a la realidad observada y a las opiniones de las personas encuestadas respecto a sus prácticas de gestión de residuos, al consultar sobre las perspectivas que tienen respecto a que el país se enrumbe hacia una regulación más clara para la GIR en el sector, el 51.7% se manifestó a favor. También manifestaron un 75% estar de acuerdo con que se le solicite a las constructoras implementar prácticas de clasificación, almacenamiento y disposición adecuada de los residuos que se generan en las obras.

Respecto al reciclaje de los residuos de construcción, concerniente al tercer eje de la investigación madre, se indicó en la consulta realizada que el 53.5% de los encuestaods estarían dispuestos a utilizar materiales que provengan del aprovechamiento de los residuos de la construcción, siempre y cuando estos cumplan con requerimientos técnicos mínimos. Es por ello que en dicho eje se está trabajando de forma experimental para comprobar propiedades físicas y mecánicas de los posibles agregados reciclados. Algunos resultados pueden ser ya consultados en artículos como el de Cruz y Ramírez (2021).

Finalmente, al consultar acerca de la disposición a pagar por los servicios de GIR para sus construcciones, el 50% de los encuestados indicó estar de acuerdo. Sin embargo, en los procesos de validación realizados se hizo énfasis en la necesidad de que estos servicios no encarecieran la construcción y fueran expeditos para no causar atrasos en los avances de obra.

Conclusiones

Luego de analizar los resultados de las mediciones de campo se pudo detectar que existe una carencia de prácticas adecuadas de recolección, separación y acopio de los residuos sólidos en los proyectos, lo que dificulta la reutilización y la valoración de los residuos. Existen pocos gestores de residuos para el caso de las construcciones, y menos si se piensa en la revaloración de los residuos.
Los procesos de toma de datos en campo son complejos, con muchas acciones que generan incertidumbre en los datos, como por ejemplo malas prácticas de enterrar parte de los residuos en los mismos proyectos, rellenar celdas de la mampostería con residuos como bolsas de cartón, entre otros. Todo esto dificulta el levantamiento de datos confiable y verás para la toma de decisiones que impulsen el principio de economía circular en el sector.

El índice de residuos es un valor que se ve afectado por múltiples factores, según lo observado en campo: tipo y calidad de los materiales, prácticas de transporte o almacenamiento, proceso constructivo, mano de obra, uso de los materiales, orden y manejo de residuos en el proyecto, modulación en la etapa de diseño, cumplimiento o no del cronograma, y el cumplimiento de fechas de entrega de materiales, según el avance obra. La compra masiva de materiales también propicia el desperdicio según se evidenció en los casos que correspondían a viviendas construidas en serie, en comparación con los proyectos individuales. En especial cuando se trabajan materiales comprados a granel o grandes stocks en una sola bodega.

Otra conclusión a la que se llega con la investigación es que algunos materiales que aportan significativamente a la generación de residuos son aquellos que son de uso temporal solo durante el proceso constructivo (madera de formaleta, clavos, cuerdas, entre otros).

También se pudo detectar que aquellos proyectos que utilizan materiales de mejor calidad para los procesos de encofrado pueden disminuir su generación de residuos, al aumentar la posibilidad de reutilización. En este sentido propiciar el uso de elementos reutilizables puede ser clave para minimizar la generación de residuos, pero para ello se requiere establecer alguna política que haga accesibles los costos en obras pequeñas. Siempre en esta línea, se vio como los elementos prefabricados, pre cortados, o diseñados modularmente demostraron aportar a la menor generación de residuos en esos tipos de materiales particularmente.

Referencias

Abarca, L., & Leandro, A. G. (2016). Manejo Eficiente de Materiales de Construcción.

Abarca, L., & Leandro, A. G. (2017). Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica. Revista Tecnología En Marcha, 29(4), 111.

Abarca-Guerrero, L., Leandro-Hernández, G., Hasbum-Fernández, I., & Solano-Soto, J. (2019). Gestión de materiales de construcción en Costa Rica para reducción de residuos: barreras y motivaciones. Revista Tecnología En Marcha. https://doi.org/10.18845/tm.v32i6.4230

Bolaños, S. (2021). Análisis, cuantificación y caracterización de residuos de construcción para sistemas constructivos modulares de viviendas en serie. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Ci-vil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Cámara Costarricense de la Construcción. (Enero 2021). Informe Económico del Sector Construcción. Dirección de Investigación y Desarrollo técnico. Costa Rica. Recuperado de: https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/10261

Castro, J. (2019). Cuantificación y caracterización de los residuos sólidos de construcción para viviendas unifamiliares de gran tamaña del Gran Área Metropolitana [Licenciatura]. Universidad de Costa Rica. //repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/13433

Cruz, N. (2022) Uso de mampostería modular en Costa Rica: ¿Es un material cero residuos? Memorias del X Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos. San José Costa Rica.

Cruz, N y Ramírez, D. (2021) Evaluación de muestras del agregado grueso proveniente de residuos de concreto para producir nuevos concretos. Revista Métodos y Materiales. LanammeUCR / ISSN electrónico: 2215-4558 / Volumen 12 / Diciembre, 2022

Instituto Nacional de Encuestas y Censos (INEC). (2021). Estadísticas de la construcción: construcción de viviendas y apartamentos por número de permisos, número de viviendas, área en metros cuadrados y valor en miles de colones según provincia, cantón y grupos de área en metros cuadrados. Recuperado de: https://www.inec.cr/economia/estadisticas-de-la-construccion

Marín, F. (2021). Caracterización y cuantificación de residuos sólidos de construcción para viviendas individuales tipo apartamento en condominio con sistema constructivo modular tipo Armabloque en la Gran Área Metropolitana. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Peraza, V. (2022) Elementos técnicos para la regulación de la gestión integral de residuos sólidos de construcción y demolición en Costa Rica. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Rímolo, S. (2021). Identificación, categorización y cuantificación de residuos de construcción en viviendas de mampostería confinada. Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Anexos:

Tabla 1 Características de los proyectos incluidos en la muestra de estudio

Tipo de proyecto	Vivienda lujo		Vivienda condominal en serie (tipo apartamento)			Vivienda en serie (tipo casas)				Vivienda individual aislada		
Tipología constructiva	Sistemas mixtos		Mampostería Modular			Mampostería modular				Mamposteria confinada		
Tamaño del proyecto (m^2 de construcción)	211	425	94	94	94	134	118,5	128	128	103	115	177
Código asignado	P1	P2	C1	C2	C3	A1	A2	B1	B2	S1	S2	S3
Referencia	Castro (2019)		Marín (2021)			Bolaños (2021)				Rímolo (2021)		

Tabla 2 Tasas de generación por tipo de residuos para los casos de estudio

Tipos de escombros	P1	P2	C1	C2	C3	A1	A2	B1	B2	S1	S1	S3	Promedio
Escombros	112.15	118.57	12.08	11.51	12.11	24.77	9.87	19.07	17.02	1.90	3.08	0.62	28.56
Acero, Hierro y otros metales	3.06	2.30	1.12	1.15	0.67	0.60	1.63	0.89	0.65	0.39	0.09	0.51	1.09
Madera (formaleta y otros)	24.45	20.52	0.81	0.73	0.89	0.53	0.52	0.00	0.46	4.24	1.29	1.70	4.68
Tubería plástica (PVC/ CPVC/ Eléctrica)	0.04	0.08	0.12	0.12	0.11	0.07	0.05	0.03	0.02	0.24	0.00	0.24	0.09
Varios	0.82	2.19	0.08	0.09	0.08	3.29	2.34	1.97	1.60	0.74	0.94	2.12	1.36
TOTALES	140.52	143.66	14.20	13.60	13.86	29.26	14.41	21.96	19.75	7.52	5.40	5.20	35.78

Tabla 3 Tasas de generación por tipo de residuos en la fracción varios

Clasificación de los residuos varios	P1	P2	C1	C2	C3	A1	A2	B1	B2	S1	S1	S3
Estereofón	0.02	0,06	0.00	0.00	0.00	2.24	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Láminas de yeso	nu	nu	nu	nu	nu	0.50	0.45	0.37	0.23	0.74	0.94	0.99
Cartones varios	0.34	0,51	0.07	0.08	0.07	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Cable electrico	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	nm	nm	nm	nm	nm	nm	nm
Metales no ferrosos (zinc, aluminio)	nm	nm	nm	nm	nm	0.08	0.08	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
Cerámicos	nm	nm	nm	nm	nm	0.47	1.67	1.57	1.34	0.00	0.00	1.13
Otros	0.46	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: nm: no medido en este caso; un: no utilizado en este proyecto

ISBN: 978-85-93571-15-2