

*Topics and tendencies of
construction and demolition
waste: a meta-analysis*

Temas y tendencias sobre residuos de construcción y demolición: un meta- análisis



Autores

ALDANA, J. Universidad de Medellín,
jcaldana@udem.edu.co
Medellín, Colombia

SERPELL, A. Pontificia Universidad Católica de Chile
aserpell@uc.cl
Santiago, Chile

Fecha de recepción 15/06/2012

Fecha de aceptación 24/07/2012

Resumen

En los últimos años, el tema de los residuos de construcción y demolición (RC&D) ha sido el foco de numerosas investigaciones resultando en una gran cantidad de publicaciones. Algunos artículos que han presentado revisiones del estado del arte sobre la gestión de RC&D, concluyen sobre aspectos estadísticos, tales como la cantidad de artículos por revista, por país, por autor, por origen (Universidad/Instituto), por métodos de investigación y por métodos de análisis de datos. Pero, no hacen un análisis de frecuencia de los temas abordados en dichas publicaciones ni tampoco presentan un compendio de estos. Este artículo presenta

un meta-análisis de los contenidos de las publicaciones sobre la gestión de RC&D y recopila los avances sobre los temas más tratados en los últimos años. Concluimos que los temas más mencionados son los materiales de residuo, las cantidades generadas, entre otros. Estos resultados podrían ayudar a orientar futuras investigaciones. Además, guiarían la priorización de los esfuerzos de investigación en países en desarrollo los que podrían concentrarse en analizar la situación de los RC&D, las metodologías de integración de los adelantos en el tema y las metodologías para la formulación de planes de gestión de RC&D en obra, entre otros.

Palabras clave: Gestión de residuos, residuos de construcción, residuos de demolición, meta-análisis.

Abstract

In recent years, the topic of construction and demolition waste (C&DW) has been the focus of numerous investigations resulting in a large number of publications. Some items that have submitted revisions to the state of the art on C&DW management, they conclude on statistical aspects, such as the number of articles per journal, by country, by author, by source (University / Institute), for research methods and data analysis methods. But do not a frequency analysis of the issues addressed in these publications and also presented a summary of them.

For this reason this article presents a meta-analysis of the contents of the C&DW management publications and collects progress on the most popular topics in recent years. We conclude that most mentioned topics are the types of materials that cause waste, the quantities generated, among others. Future research could focus on analyzing the situation of this problem in developing countries, methods of integration of advances in the subject, the methodologies for the formulation of management plans in C&DW work, among others.

Keywords: Waste management, construction waste, demolition waste, meta-analysis.

1. Introducción

La construcción no es, por naturaleza, una actividad respetuosa con el medio ambiente (Tam y Le, 2009; Tam y Tam, 2006; Shen y Tam, 2002). Investigaciones realizadas proveen una revisión exhaustiva de los efectos nocivos de esta actividad (Tam y Le, 2009; Shen *et al.*, 2007), así como también sugieren que es una de las que más contribuyen a la contaminación ambiental (Shen y Tam, 2002). En este ámbito, por ejemplo, se indica que causa el deterioro de la Tierra, el agotamiento de los recursos, la contaminación del aire, la contaminación acústica, la contaminación del agua y la generación de residuos (Lu y Yuan, 2011, Tam y Le, 2009; Turk, 2008; Shen y Tam, 2002).

La industria de la construcción es la mayor consumidora de energía (Del Río *et al.*, 2009) y es la segunda mayor consumidora de materias primas después de la industria alimentaria (Halliday, 2008). Una enorme proporción de todos los materiales utilizados para la construcción de las obras se está convirtiendo en un enorme depósito y, a su vez, en un enorme problema de extremadamente difícil eliminación para las generaciones futuras (Kibert, 2007), causando un alto impacto sobre el medio ambiente (Nahmens, 2009; Yahya y Boussabain, 2006; Begum *et al.*, 2006 b; Rodríguez *et al.*, 2006). Por lo tanto, la actual tasa de utilización de los recursos naturales y del medio ambiente por parte de esta industria supone una disminución del potencial de los recursos para las generaciones futuras (Alavedra *et al.*, 1998). Y, para enfrentar este problema, se podrían reducir las cantidades de los residuos, a través de la mejora de los procesos de construcción para así mejorar la tasa de consumo de los recursos (Halliday, 2008).

Los residuos de la industria de construcción y demolición han sido objeto de varios proyectos de investigación en todo el mundo en los últimos años (Torres *et al.*, 1999) y los resultados han sido ampliamente publicados en revistas internacionales. Por ejemplo, las publicaciones de Lu y Yuan (2011) y Yuan y Shen (2011) han puesto de manifiesto la frontera de las publicaciones alrededor de este tema, el número de artículos en las publicaciones sobre gestión de RC&D, el número de artículos por país, por autor, por origen (universidades/institutos), por métodos de investigación y por método de análisis de los datos. Adicionalmente, han reflexionado sobre cuáles serían los vacíos en el tema y proponen sobre tópicos de investigación futuros. Sin embargo, la información contenida en estos no ha sido analizada para identificar la frecuencia en los temas tratados y condensarlos y presentarlos

de manera organizada en un solo documento. Por tal razón, se realizó una revisión del estado del arte para identificar, procesar y concluir sobre los contenidos de los artículos sobre RC&D y discutir alrededor de las deficiencias encontradas en algunos de los temas abordados en dichos artículos.

Este artículo presenta el conocimiento en el tema de los RC&D de manera ordenada y sintetiza el estado del conocimiento encontrado en la literatura especializada mediante búsqueda de información en revistas internacionales e indexadas, en bases de datos, y libros especializados en el tema objeto de estudio.

2. Metodología de investigación

La bibliografía revisada en este estudio se obtuvo mediante la utilización de las bases de datos Web of Science (ISI), Engineering Village 2, ScienceDirect (Elsevier), EBSCO, Google Scholar y la biblioteca de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Se utilizaron palabras clave tales como "waste management", "construction and demolition waste management", "construction and demolition economic model", "C&D waste minimization", "C&D waste economic model", "C&D waste source", "supply chain management", "cost-benefit of construction and demolition waste management", "green supply chain management", "sustainable construction", "C&D recycling", "C&D reuse", "green building", "green construction", "deconstruction", "reverse logistic", entre otras. Se refinaron los resultados utilizando diferentes criterios. Por ejemplo, para la base de datos Web of Science se utilizaron categorías como "MANAGEMENT", "ENGINEERING CIVIL", "CONSTRUCTION SCIENCE TECHNOLOGY", "ENGINEERING ENVIRONMENTAL", entre otros; para la base de datos Engineering Village 2, utilizando vocabulario controlado como "Debris", "Waste Management", "Demolition", "Recycling", "Construction Industry", "Waste Disposal", entre otros; para la base de datos ScienceDirect, utilizando temas como "waste management", "solid waste", "supply chain", "hazardous materials", "c&d waste", entre otros. Y, finalmente, de manera similar se hizo para las otras bases de datos exploradas.

Posteriormente, se procedió a leer los títulos de los artículos y descartar aquellos que no se encontraban dentro del contexto de RC&D, obteniendo más de 200 artículos publicados entre marzo de 1996 y diciembre de 2011. Se filtraron a través de la revisión del resumen y se eliminaron los que no estaban en el foco del estudio, quedando 123 artículos (ver Tabla 1).

Tabla 1. Número de artículos por cada revista o publicación

Nombre de la revista	Número de artículos
Proceedings	26
Resource, Conservation and Recycling	17
Waste Management	14
Construction Management and Economics	12
Journal of Construction Engineering and Management	5
Building and Environment	5
Automation in Construction	3
Waste Management and Research	2
Journal of Environmental Management	2
Analytica Chimica Acta	2
Sustainable Development	2
Building Research and Information	2
Otros	31
Total	123

Cada publicación fue analizada para identificar sus contenidos y, posteriormente, clasificarlos en una matriz. De esta manera se encontró la frecuencia en los tópicos tratados en las 123 publicaciones. Por ejemplo, los materiales y las cantidades de RC&D son los temas más reportados en la literatura, seguido de las acciones, estrategias y factores de gestión de RC&D, entre otros (ver Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de los temas tratados en las publicaciones

Tópico	Frecuencia
Materiales de residuo y cantidades	81
Acciones, estrategias y factores de gestión de residuos	26
Tasa de reciclaje y/o reutilización	26
Beneficios de gestionar los residuos	25
Definición de RC&D	22
Causas de generación de residuos	18
Jerarquía de la gestión de residuos	15

Barreras para la gestión de residuos	12
Aplicaciones de materiales reciclados	12
Métodos de cuantificación de residuos	11
Fuentes de generación de residuos	11
Planes de gestión de residuos en obra	9
Definición de construcción sustentable	7
Definición de desarrollo sustentable	6
Clasificación y/o categorías de RC&D	5
Impactos ambientales de los edificios	4
Definición de acciones de gestión de RC&D	3

3. Resultados, análisis y discusiones

Con la obtención de la frecuencia de los temas abordados en los artículos analizados, se seleccionaron los 12 tópicos que quedaron por sobre el promedio de citación (siete) y que se presentan a continuación. En un primer grupo se presentarán los temas relacionados a la generación de RC&D y en el segundo los temas relacionados a la gestión de estos.

3.1. Generación de RC&D

En esta parte se encuentran la definición, fuentes y causas de generación, clasificación y/o categorías, tipos y cantidades y los métodos de cuantificación de RC&D.

3.1.1. Definición de RC&D:

A pesar de que no hay un consenso en la literatura sobre la definición de RC&D (Lu y Yuan, 2011), no es necesario tenerlo, siendo rigurosos, para identificar a qué se refiere cuando se habla de RC&D. Algunas de las definiciones reportadas son:

- Residuos que surgen de las actividades de construcción, remodelación y demolición (Wang *et al.*, 2010 y Kofoworola y Gheewala, 2008).
- Materiales excedentes derivados de excavaciones, construcciones civiles y edificios, trabajos en vías, actividades de remodelación y demolición (Hao *et al.*, 2007).
- Residuos de materiales de construcción, embalaje y escombros que resultan de las operaciones de construcción, remodelación, reparación y demolición de casas, edificios industriales y comerciales, y otras estructuras (Clark *et al.*, 2006).

- Diferencia entre los valores de las cantidades de materiales comprados y aceptados en la obra (McDonald y Smithers, 1998; Shen *et al.*, 2000; Polat y Ballard, 2004; Tam *et al.*, 2006 b).
- Cualquier material, aparte de materiales de la tierra, los cuales necesitan ser transportados a otra parte desde los sitios de construcción o utilizados dentro del sitio de construcción para los propósitos de llenos, incineración, reciclaje, reutilización o compostaje (Ekanayake y Ofori, 2004).
- Residuos de construcción, remodelación, y reparación de residencias individuales, edificios comerciales, y otras estructuras de ingeniería civil (Huang *et al.*, 2002).
- Residuos generados de varias actividades de construcción incluidas excavación, construcción civil y de edificios, limpieza de sitios, actividades de demolición, trabajos en vías y renovación de edificios (Shen *et al.*, 2004).
- Residuos resultantes de la construcción, renovación y demolición de estructuras incluidas edificaciones de todo tipo (residencial y no residencial), proyectos de repavimentación de caminos, reparación de puentes, y limpieza asociada con desastres naturales y humanos (Zhao *et al.*, 2009; y Lu *et al.*, 2006).
- Materiales no deseados generados durante la construcción, incluyendo estructuras y materiales rechazados, materiales que han sido sobreordenados o son excesos de los requeridos, y materiales que han sido utilizados y se han dañado (Deng *et al.*, 2008).
- Suelo, material y otros generados por cualquier clase de actividades de construcción, incluyendo el desarrollo, rehabilitación y remodelación de proyectos de construcción (Zhao *et al.*, 2009).

Estas definiciones presentan diferencias debido a los límites que consideran ya sea en el proceso de construcción, en cuanto a la actividad dentro del rubro, estados de la materia o en la perspectiva del ciclo de vida de los recursos y productos a través del medio edificado. Por lo tanto, proponemos definir RC&D a cualquier materia en estado líquido, sólido y/o gaseoso que resulta durante el proceso de extracción de materias primas y producción de materiales y/o servicios que se utilizan para el medio edificado y su posterior demolición y que terminan en la atmósfera, en un botadero o en cualquier otro sitio de disposición legal o ilegal con o sin técnicas apropiadas de manejo.

3.1.2. Fuentes y causas de generación de RC&D:

Según Bossink y Brouwers (1996), Chung y Lo (2002), Polat y Ballard (2004) y Ekanayake y Ofori (2004), las fuentes de generación de RC&D son: errores humanos

en diseños, adquisiciones, manipulación de materiales, operación, residuales y otros. Osmani *et al.* (2007) han incorporado otras categorías como transporte de materiales, en obra, administración y planificación y almacenamiento de los materiales.

Las causas de generación de RC&D pueden presentarse, en su gran mayoría, en dos etapas del ciclo de desarrollo de los proyectos: diseño y construcción. En la primera se tienen errores en los documentos del contrato (Bossink y Brouwers, 1996), falta de información acerca de los tipos y tamaños de materiales en los documentos de diseño, error en la información acerca de los tipos y tamaños de materiales en los documentos de diseño (Polat y Ballard, 2004), diseños y detalles complejos, pobre coordinación y comunicación (Osmani *et al.*, 2007). Y, en la segunda, documentos incompletos del contrato, cambios en los diseños, errores al ordenar los materiales, sobre orden en los materiales, errores de proveedores, daños durante el transporte a la obra, almacenamiento inapropiado de los materiales, error en los obreros, mal funcionamiento de los equipos, inclemencias del tiempo, accidentes, daños ocasionados por los actividades subsecuentes, uso incorrecto del material y que requiere ser reemplazado, corte de piezas, residuos de los procesos de aplicación, embalaje de materiales, falta de controles en los materiales, falta de planes de gestión de los residuos, daño por vándalos (Bossink y Brouwers, 1996); determinación de tipos y dimensiones de materiales sin considerar desperdicios y ordenar los materiales sin tener definidos completamente los requerimientos en los documentos de diseño (Polat y Ballard, 2004); especificaciones poco claras e incompletas, dificultades para acceder a los vehículos de reparto a los sitios de las obras, métodos ineficientes de descarga, presión de tiempo, ética de trabajo pobre, robo, pobre coordinación y comunicación (Osmani *et al.*, 2007); malos procesos de los trabajos y mala manipulación del material en las etapas de no trabajo (Poon *et al.*, 2004).

Si bien las fuentes y causas que más se reportan se dan en las etapas de diseño y construcción, dentro del ciclo de vida del proyecto, existen otras etapas en las que también se pueden generar una buena cantidad de residuos como lo son la de operación y término de la vida útil y su posterior deconstrucción y/o demolición del medio edificado. Estas últimas etapas, excepto la de deconstrucción, llegan a cobrar más importancia en cuanto al volumen potencial de residuos considerando la escases de espacios aptos para la construcción donde se tendrán que derribar estructuras concebidas sin el concepto de deconstrucción y que tendrán que ser renovadas cuando lleguen a su vida útil produciendo una gran cantidad de RC&D.

3.1.3. Clasificación y/o categorías de RC&D:

Poon *et al.* (2001) proponen clasificar los RC&D en cinco categorías: materiales de obras viales, suelo excavado, residuos de demolición, residuos de despejes, y residuos de renovaciones. Laquatra y Pierce (2002) los clasifican en residuos inertes, putrescibles y químicos. Fatta *et al.* (2003) los clasifican en materiales de excavación, materiales de mantenimiento y planificación de carreteras, materiales de demolición, y materiales de residuos de trabajos en sitio. Y, Jaillon *et al.* (2008) y Lu *et al.* (2006) los clasifican en inertes y no inertes.

3.1.4. Tipos de RC&D y sus cantidades:

Existen diferentes materiales que se utilizan en la construcción y que no tienen un aprovechamiento del 100%. En la Tabla 3 se presentan los materiales que más se reportan en la literatura como RC&D.

Tabla 3. RC&D más citados en la literatura

Material	Número de citaciones
Hormigón	55
Madera	45
Ladrillos	42
Plástico	26
Metal	25
Acero	22
Placas de yeso - cartón	20

No existe consenso mundial sobre el volumen total de RC&D. Estos van a depender de las tecnologías, idiosincrasia, nivel cultural de los profesionales del sector, entre otros. Por ejemplo, Solís-Guzmán *et al.* (2009) reportan que el 35% de los residuos en el mundo pertenecen a la industria de la construcción, mientras que Huang *et al.* (2002) reporta que estos pueden variar entre un 13% y un 29%. En los países industrializados los residuos son por lejos la fracción más grande, contabilizando más del 50% del total de los residuos generados (Spoerri *et al.*, 2009). Ye y Yuan (2010) y Bossink y Brouwers (1996) reportan que en Australia los residuos son del orden del 20% y el 30% y en Alemania del 19%. Bossink y Brouwers (1996) reportan que en Holanda son el 26%, en Estados Unidos

son entre el 20% y el 29%, en Brasil entre el 20% y el 30%, y en Finlandia entre el 13% y el 15%. Ye y Yuan (2010) y Shen *et al.* (2004) reportan que en el Reino Unido son más de un 50%. Y Deng *et al.* (2008) reportan el 30% en Canadá, Zhao *et al.* (2009) reportan entre el 30% y el 40% en China, y Tam (2007) reporta que en Francia son el 25%, en Hong Kong el 38%, en Japón el 36%, en Italia el 30%, y en España el 70%. Finalmente, en la Región Metropolitana de Chile el 37% de los residuos sólidos corresponde a residuos de construcción (Martínez, 2003).

3.1.5. Métodos de cuantificación de RC&D:

Bossink y Brouwers (1996) reportaron que en Holanda los residuos son entre el 1% y el 10% (en peso) de los materiales comprados. De acuerdo a Pinto y Agopyan (1994), el porcentaje de residuos, a nivel de proyecto de construcción en Brasil, es del 20% al 30% del peso de los materiales que se encuentran en la obra. Por su parte, Poon *et al.*, (2001) reportan que los residuos son del orden del 10% al 20% del peso total de los materiales entregados en la obra.

Fatta *et al.* (2003) han calculado la cantidad de RC&D en Grecia a través de la utilización de datos relevantes del nivel de actividad de la construcción y el número de licencias de demolición. Adicionalmente, supusieron que por cada 1.000 m² de actividad de construcción se generan 50 m³ de residuos, cada demolición equivale a la construcción de 60 m² y el volumen generado de residuos es de 114 m³ y, finalmente, el valor promedio de la densidad de los RC&D es 1.5 toneladas/m³.

Kourmpanis *et al.* (2008) calcularon la cantidad de residuos de demolición en Chipre a través de la siguiente ecuación:

$$DW = ND \times ANF \times AS \times DWB \times D$$

Donde *DW* es la cantidad de residuos de demolición (en toneladas); *ND* es el número de edificios demolidos; *ANF* es el número promedio de pisos por cada edificio demolido; *AS* es el área promedio del edificio demolido (130 m²); *DWB* es el volumen de residuos generados por cada 100 m² de área de edificio demolido (80 m³ por cada 100 m²); y *D* es la densidad promedio de los residuos generados (1.6 toneladas/m³).

SMARTWasteTM es otro método de cuantificación utilizado en el Reino Unido y se basa en información obtenida de experiencias anteriores y calcula el volumen de los residuos en 13 categorías, por ejemplo: cerámica, hormigón, pallet de madera, etc. (Solís-Guzmán, 2009).

Solís-Guzmán *et al.* (2009) proponen un método que permite la cuantificación de tres clases de volúmenes de residuos asociados con tres fuentes de residuos previamente identificados: Volumen Aparente de Residuos Demolidos (VADi), Volumen Aparente de Restos de Residuos (VARi) y Volumen Aparente de Residuos de Empaques (VAEi). Estos tres volúmenes derivados del Volumen Aparente Construido (VACi) que es el volumen (m³) por cada m² construido del ítem i.

Wimalasena *et al.* (2010) proponen una metodología para cuantificar los residuos de construcción basada en el valor financiero por cada metro cuadrado construido y la cantidad empírica de residuos (por peso) por metro cuadrado del edificio.

Si bien se han desarrollado metodologías de estimación de los residuos no se dispone de estudios científicos que analicen conjuntamente todas las variables que inciden en la tipología y magnitud de los residuos generados por una unidad de obra y, adicionalmente, ninguna ha sido a nivel de etapa de construcción que no implique inversiones económicas altas. Esto con el propósito de calcular los niveles generados de residuos por cada material utilizado y de esta manera generar información para la toma de decisiones por parte de los profesionales a cargo del proyecto y que estén directamente vinculados en actividades relacionadas a la gestión de RC&D.

3.2. Gestión de RC&D

A continuación se presentan la jerarquía de la gestión, acciones de gestión, planes de gestión, reciclaje y aplicaciones, y los beneficios y las barreras de gestionar los RC&D.

3.2.1. Jerarquía de la gestión de RC&D:

La mayoría de las tres prioridades en la administración jerárquica de residuos (reducir, reutilizar y reciclar) son conocidas como los principios de la gestión de RC&D "3Rs", que clasifican las estrategias de la administración de los residuos de acuerdo a su conveniencia. Autores como Deng *et al.* (2008), Shen *et al.* (2004) y Kartam *et al.* (2004), mencionan que la jerarquía de la gestión de RC&D es: evitar, reducir, reutilizar y reciclar. Keys *et al.* (2000) proponen otra jerarquía incluyendo los siguientes componentes adicionales a la anterior: desarrollo sustentable, prevención, reutilización en obra, recuperación en obra, reutilización fuera de la obra, recuperación fuera de la obra y los botaderos. Peng *et al.* (1997) reportan otra clasificación diferente

a las anteriores: reducir, reutilizar, reciclar, compostaje, incinerar, y botaderos.

Estas jerarquías no tienen una visión desde la perspectiva de Desarrollo Sustentable donde se involucren cambios en el comportamiento de los actores a nivel de consumos responsables que estén en armonía con los ecosistemas. Por lo tanto, proponemos la siguiente jerarquía aplicable a cada uno de los niveles del ciclo de vida de un proyecto de construcción e incorporando acciones específicas para cada nivel: Desarrollo Sustentable a través de la educación, prevención a través de la acción evitar, reducción a través de la optimización, recuperación a través de la reutilización y el reciclaje, aprovechamiento a través de técnicas como el compostaje y la incineración para generar combustión y el servido en lugares apropiados y con buenas técnicas de manejo ambiental y social.

3.2.2. Acciones de gestión de RC&D:

La mayor cantidad de acciones que se proponen en la literatura están enfocadas a solo dos etapas del ciclo de vida de un proyecto, diseño y construcción. Dejando a un lado las etapas de operación, mantenimiento y término de su vida útil (con una deconstrucción y/o demolición). Donde, en estas últimas, también se generan buenas cantidades de residuos y donde es necesario saber qué acciones emprender.

En la etapa de diseño se informan: diseño colaborativo, diseño para la edificabilidad, definición del proyecto, diseño de matriz de estructura, modelos 3D, equipos funcionales cruzados, intercambiar información incompleta (Polat y Ballard, 2004), diseñar para la deconstrucción, utilizar dimensiones y unidades estandarizadas, utilizar unidades de prefabricados, especificar materiales reciclados, utilizar materiales estandarizados, evitar variaciones tardías en los diseños (Osmani *et al.*, 2007); promover un adecuado sistema de adquisición del proyecto donde la experiencia de los contratistas sobre métodos y secuencias de construcción puedan ayudar en la toma de decisiones durante la etapa de diseño (Ekanayake y Ofori, 2000), utilización de prefabricados realizados fuera de la obra, utilizar componentes estandarizados, utilizar tamaños, capacidad y especificaciones reales de componentes, minimizar trabajos temporales, optimizar la vida del diseño, permitir especificaciones de materiales reciclados en diseños, diseñar para reciclar y facilidad de desmontaje (Keys *et al.*, 2000).

En la etapa de construcción del proyecto se reportan: estructurar el trabajo, entrenar a proveedores, asociación (Polat y Ballard, 2004), informar a los pro-

veedores sobre los requerimientos de los procesos de construcción, pedir materiales a buen tiempo, pedir justo a tiempo, asegurar de que los materiales que son requeridos lleguen al sitio, ordenar apropiadamente el tamaño de los materiales, ordenar las cantidades de materiales (Poon *et al.*, 2004; Al-Hajj y Hamani, 2011); comprar eficientemente los materiales, ordenar eficientemente los materiales (Chen *et al.*, 2002), entregar justo a tiempo (Polat y Ballard, 2004 y Al-Hajj y Hamani, 2011), inspeccionar cuidadosamente las mercancías cuando lleguen al sitio (Poon *et al.*, 2004); utilizar tecnologías modernas (Chen *et al.*, 2002), educar a contratistas (Ekanayake y Ofori, 2000), adecuado almacenamiento del material (Al-Hajj y Hamani, 2011), proveer una apropiada protección a los materiales, limitar la cantidad de material apilado (Poon *et al.*, 2004), almacenar eficientemente (Chen *et al.*, 2002), eliminar el embalaje, adoptar las 5S (Polat y Ballard, 2004); preparar vehículos adecuados de transporte de materiales, abolir la doble manipulación de materiales (Poon *et al.*, 2004), manipular los materiales con suficiente cuidado, controlar cuidadosamente la manipulación de materiales (Chen *et al.*, 2002), prevenir la doble manipulación, asegurar la adecuada manipulación de equipos para evitar daños en materiales, utilizar elementos mecánicos para manipular los materiales (Al-Hajj y Hamani, 2011), formar obreros polivalentes (Polat y Ballard, 2004); designar áreas centrales para corte y almacenamiento de piezas reutilizables, colocar la bodega en un lugar conveniente para los operarios, pero lejos de los corredores de transporte, devolver a los proveedores los materiales de empaque de las mercancías (Poon *et al.*, 2004), maximizar la reutilización de materiales, colocar recipientes de disposición de residuos, educar a los trabajadores para reducir los residuos evitables, recompensar las buenas prácticas de los trabajadores (Chen *et al.*, 2002; Al-Hajj y Hamani, 2011), reciclar (Kofoworo y Gheewala, 2009), utilizar la prefabricación de elementos (Jaillon *et al.*, 2009; Tam *et al.*, 2006 b; Al-Hajj y Hamani, 2011), entrenar y generar conciencia a los participantes del proyecto, registrar y medir los diferentes flujos de residuos, segregar los residuos en el sitio, reutilizar las piezas de materiales resultantes de cortes, reciclar en el sitio y fuera del sitio, nombrar un administrador de los residuos en sitio (Al-Hajj y Hamani, 2011).

3.2.3. Planes de gestión de RC&D:

Se encuentran algunas propuestas de planes de gestión de RC&D cada una con un foco específico. Todas elaboradas para proyectos de edificación y ninguna para proyectos de otra índole. Adicionalmente, no se encuentran propuestas metodológicas para la elabo-

ración de planes de gestión aplicables a cualquier tipo de proyecto de construcción, que ayuden y faciliten que los profesionales del sector construcción elaboren estos planes en sus proyectos.

McGrath (2001) propuso el SMARTWaste (de su nombre en inglés Site Methodology to Audit Reduce and Target Waste), cuyo propósito es la identificación de fuentes de generación de RC&D y la cuantificación de las cantidades generadas. El principio de este sistema es aumentar la recuperación de materiales para reutilizar y reducir la generación de residuos en sitios futuros mediante la utilización de los residuos auditados como punto de referencia para el control de desperdicios (Shen *et al.*, 2004).

Shen *et al.* (2004) proponen el WMMM (de sus nombre en inglés Waste Management Mapping Model), el cual incorpora las buenas prácticas en Hong Kong sobre la manipulación de residuos. El modelo introdujo un plan de gestión de residuos antes de comenzar las actividades de construcción. El plan especificaría los recursos para manipular los residuos y para mitigar las cantidades generadas de residuos a través de la identificación oportuna del material que debería ser reutilizado.

Chen *et al.* (2002) presentan un programa de recompensas (IRP de su nombre en inglés Incentive Reward Program). Se basa en un sistema de código de barras para cuantificar, en tiempo real, el intercambio de materiales entre el almacén y las cuadrillas y de esta manera evaluar el nivel de utilización de los materiales y recompensar a los trabajadores de acuerdo a las cantidades y valores de los materiales que han ahorrado en sus operaciones.

3.2.4. Tasas de reciclaje de RC&D y sus aplicaciones:

Los porcentajes de residuos reciclados oscilan dependiendo del país y de los autores. Por ejemplo, Del Río *et al.* (2010), Jaillon *et al.* (2008) y Chung y Lo (2002) reportan que en Alemania es del 17%, en Bélgica del 87%, en Dinamarca del 81%, en Francia del 15%, en Holanda del 90%, en Italia del 9%, y en el Reino Unido del 45%. Del Río *et al.* (2010) y Jaillon *et al.* (2008) reportan que en Austria es del 41%, en España, Grecia, Portugal y República de Irlanda es menor al 5%, en Finlandia es del 45% y en Suecia del 21%. Tam (2007) reporta que en Australia es del 51%, Brasil 8%, Japón 65% y Noruega del 7%. Jaillon *et al.* (2008) reporta que en Estados Unidos es del 30%, mientras que autores como Chung y Lo (2002) y Horvath (2004) reportan que es del 20 al 30%. Katz y Baum (2011) reportan que en Israel es del orden del

20%. Y, finalmente, Spoerri *et al.* (2009) reportan que en Suiza es del 80%.

Los RC&D presentan numerosas oportunidades para reciclar (Moussiopoulos *et al.*, 2007). Algunas de estas se pueden ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Aplicaciones de RC&D reutilizado y/o reciclados

Residuos	Aplicaciones
Hormigón	<ul style="list-style-type: none"> • Agregado para bases de caminos y lotes de estacionamientos (Manuel, 2003). • Áridos para nuevas mezclas de hormigón (Srouer <i>et al.</i>, 2010). • Bloques para pavimentos con 70-100% de agregados de hormigón reciclado (Lu <i>et al.</i>, 2006). • Cubierta para botaderos municipales (Moussiopoulos <i>et al.</i>, 2007).
Agregado	Sub-bases de caminos, llenos para drenajes y hormigones (Tam y Tam, 2006).
Poliestireno, cenizas volantes y escoria de alto horno	Aditivos para el hormigón (Srouer <i>et al.</i> , 2010).
Asfalto	<ul style="list-style-type: none"> • Mezclas calientes para pavimentos (Manuel, 2003; y Srouer <i>et al.</i>, 2010). • Llenos de áridos y lleno de sub-bases (Tam y Tam, 2006). • Mezclas frías para bacheo, caminos temporales, áridos para bases de caminos, y para tejas (Srouer <i>et al.</i>, 2010). • Lleno de baches y riego en caminos sin pavimentos (Manuel, 2003).
Madera	Combustible de calderas y placas de madera de densidad media (Manuel, 2003).
Material de excavaciones	Llenos (Manuel, 2003).
Yeso de placas de yeso-cartón	<ul style="list-style-type: none"> • Cama de arena para casa de pollos y pavos, mejoramiento de suelos con baja alcalinidad (Manuel, 2003). • Nuevas placas de yeso-cartón, mejoramiento de drenajes de suelos, crecimiento de plantas, producción de fertilizantes y cementos, operaciones de compostaje (Srouer <i>et al.</i>, 2010).
Ladrillos	<ul style="list-style-type: none"> • Se trituran para utilizarse en llenos (Srouer <i>et al.</i>, 2010). • Cubierta para botaderos municipales (Moussiopoulos <i>et al.</i>, 2007).
Metal	Nuevos metales (Tam y Tam, 2006; y Srouer <i>et al.</i> , 2010).
Vidrio	Sustituto de arena y áridos como material de cama de las tuberías (Tam y Tam, 2006).
Plástico	Para madera de plástico (Tam y Tam, 2006).
Alfombra	Algunas fibras se utilizan en nuevos productos (Srouer <i>et al.</i> , 2010)

3.2.5. Beneficios de gestionar los RC&D:

Los beneficios de gestionar los RC&D son múltiples (Tam *et al.*, 2006 a). Los económicos se dan por la reducción de los costos de disposición final, reducción de gastos de materiales ordenados en exceso que después se pierden e ingresos por la venta de artículos recuperados (Inglis, 2007). Los beneficios sociales incluyen la prevención de botaderos nuevos e indeseables, reducción de riesgos de salud ambiental y

la reducción de costos de construcción (Begum *et al.*, 2006 a y Lingard *et al.* 2000). Y los ambientales, entre otros, son el mejoramiento de estándares ambientales públicos, protección ambiental, reducción de riesgos ambientales (aire, suelo y agua contaminada), reducción de enfermedades y lesiones relacionadas con el ambiente (Tam y Le, 2008).

A pesar de que se han reportados los beneficios, no se ha desarrollado una metodología sistemática que

pueda cuantificar de manera conjunta los beneficios en los componentes económico, ambiental y social. Y, de esta manera, tener una magnitud asociada a dichos beneficios y tratar de vincularlos a los objetivos del proyecto.

3.2.6. Barreras para gestionar los RC&D:

Algunos autores han identificado las barreras o dificultades para implementar los métodos de gestión de RC&D que ayuden a la minimización de ellos. Tam (2007), encontró los siguientes: bajos incentivos financieros, incrementos de gastos generales, bajos costos de disposición, mercado competitivo, falta de entrenamiento y educación, cultura y comportamiento de la construcción, etc.

Se han identificado algunas barreras para la minimización de RC&D. Por ejemplo, Osmani *et al.* (2007) reportan, la falta de interés de clientes, legislación, premios financieros, políticas de administración de residuos en el sitio, entrenamiento, resistencia al cambio, etc. Chung y Lo (2002), identificaron la tendencia a utilizar materiales de mala calidad debido a la presión de reducir costos, falta de procedimientos sistemáticos de reutilización de encofrados, subutilización de moldajes durables especialmente para contratistas pequeños debido a los altos costos, inconsistencias en varios dibujos técnicos para el mismo proyecto, y falta de habilidades en trabajadores.

Quizás, estas barreras se dan porque la construcción se caracteriza por tener una gran inercia al cambio (Martínez, 2003), porque los contratistas perciben altos costos en la implementación, seguido de la falta de directrices e información disponible alrededor del tema, y la falta de herramientas prácticas acerca de planes de gestión de RC&D (Papargyropoulou *et al.*, 2011).

4. Conclusiones

En los últimos años se ha despertado un interés de investigación en los temas de gestión de RC&D, con el propósito de evitar y reducir la generación de estos, promover la reutilización y el reciclaje, y mejorar la gestión de aquellos residuos que no se puedan evitar. Por la complejidad de la industria de la construcción, la que cuenta con diferentes partes interesadas, diferentes actores, y diferentes intereses, la gestión de los residuos es mucho más compleja que en otros sectores. Esto debido a que la generación de residuos

en los proyectos de construcción se da desde etapas muy tempranas y su terminación es casi infinita dado que, cuando la vida útil de una obra civil llega a su fin, se convierte en residuos a menos que se recupere, y sin embargo si se llega a recuperar, esta recuperación no llega al 100%.

Se han puesto de manifiesto las causas y fuentes de la generación de residuos, así como las acciones y estrategias para su minimización, pero hace falta más desarrollo en la integración de los hallazgos individuales en el campo de la gestión de residuos, de tal forma de reunirlos en un esquema unificado a través de herramientas prácticas de fácil implementación tanto a nivel de empresa como a nivel de proyecto, de tal forma de incorporarlas como un componente del proceso de planificación de los proyectos.

Cada proyecto de construcción es diferente por lo que un plan de gestión de residuos realizado para un proyecto en específico no es replicable a todos los proyectos, y este, se debe adecuar a las necesidades propias de cada uno de ellos. Es necesario disponer de metodologías de diseño de planes de gestión de residuos para tener directrices de cómo elaborar un plan de gestión independientemente del tipo de proyecto de construcción.

La medición de los volúmenes de residuos generados en un proyecto de construcción es posible a través de metodologías que se enfocan en etapas previas o posteriores al proceso de construcción. Es necesario desarrollar metodologías de medición de los residuos durante el proceso de construcción de los proyectos y que sean de bajo costo de implementación, con el propósito no solo de ir conociendo cuánto es el volumen generado de los residuos, sino también, como información de entrada para la toma de decisiones en cuanto a la gestión de ellos durante el proceso de construcción.

Es necesario contar con medidas legislativas, ventajas fiscales e intervención en el mercado que favorezcan e incentiven la gestión de los residuos, que promueva la reutilización, el reciclaje, y otras acciones que eviten el consumo de materiales nuevos y por ende del consumo de recursos naturales y energía, para de esta forma contribuir a la minimización de los residuos.

Una porción de los residuos producidos en un proyecto de construcción puede ser utilizada y consumida por medio de la reutilización y el reciclaje en la propia construcción. Sin embargo, es necesario establecer procedimientos para hacerlo de manera efectiva.

Referencias

- Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. (1998). La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Recuperado el 14 de junio de 2010, de <http://habitat.aq.upm.es/b/n4/apala.html>.
- Al-Hajj, A. & Hamani, K. (2011). Material Waste in the UAE Construction Industry: Main Causes and Minimization Practices. *Architectural Engineering and Design Management*, v 7, pp 221-235.
- Begum, R.A., Siwar, C., Pereira, J.J., & Jaafar, A.H. (2006 a). A benefit-cost analysis on the economic feasibility of construction waste minimization: The case of Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, v 48 (1), pp 86-98.
- Begum, R.A., Siwar, Ch., Pereira, J. & Jaafar, A.H. (2006 b). Implementation of waste management and minimisation in the construction industry of Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, v 51 (1), p 190-202.
- Bossink, B.A.G., & Brouwers, H.J.H. (1996). Construction Waste: Quantification and Source Evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, v 122 (1), p 55-60.
- Clark, C., Jambeck, J., & Townsend, T. (2006). A review of Construction and Demolition Debris Regulations in the United States. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v 36 (2), pp 141-186.
- Chen, Z., Li, H., & Wong, C.T.C. (2002). An application of bar-code system for reducing construction wastes. *Automation in Construction*, v 11 (5), pp 521-533.
- Chung, S. S., & Lo, C. W. H. (2002). Evaluating sustainability in waste management: the case of construction and demolition, chemical and clinical wastes in Hong Kong. *Resources Conservation & Recycling*, v 37 (2), pp 119-145.
- Del Río, M., Izquierdo, P., & Salto, I. (2009). Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. *Waste Management and Research*, v 28 (2), pp 118-129.
- Deng, X., Liu, G., & Hao, J. (2008). A study of construction and demolition waste management in Hong Kong. *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, WiCOM 2008*, pp 1-4.
- Ekanayake, L.L., & Ofori, G. (2004). Building waste assessment score: design-based tool. *Building and Environment*, v 39 (7), pp 851-861.
- Fatta, D., Papadopoulos, A., Avramikos, E., Sgourou, E., Moustakas, K., Kourmoussis, F., Mentzis, A., & Loizidou, M. (2003). Generation and management of construction and demolition waste in Greece – an existing challenge. *Resources, Conservation and Recycling*, v 40 (1), pp 81-91.
- Hao, J.L., Hills, M.J., & Huang, T. (2007). A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong. *Construction Innovation*, v 7 (1), pp 7-21.
- Halliday, S. (2008). *Sustainable Construction*. Butterworth-Heinemann. Slovenia.
- Horvath, A. (2004). Construction materials and the environment. *Annual Review Environment Resources*, v 29, pp 181-204.
- Huang, W. L., Lin, D. H., Chang, N.B., & Lin, K.S. (2002). Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process. *Resources Conservation & Recycling*, v 37 (1), pp 23-37.
- Inglis, M. (2007). Construction and demolition waste – best practices and cost saving. SB07 New Zealand. Paper number: 057.
- Jaillon, L., Poon, C.S., & Chiang, Y.H. (2008). Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. *Waste Management*, v 29, pp 309-320.
- Kartam, N., Al-Mutari, N., AL-Ghusain, I., & Al-Humoud, J. (2004). Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. *Waste Management*, v 24 (10), pp1049-1059.
- Katz, A. & Baum, H. (2011). A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. *Waste Management*, v 31, pp 353-358.
- Keys, A., Baldwin, A., & Austin, S. (2000). Designing to encourage waste minimization in the construction industry. *Proceedings of CIBSE National Conference Dublin 2000*. Recuperado el 19 de junio de 2010, de: <http://www.cibse.org/pdfs/Construction%20waste%20minim.pdf>.
- Kibert, Ch. (2007). The next generation of sustainable construction. *Building Research & Information*, v 35 (6), pp 595-601.
- Kofoworola, O.F. & Gheewala, S.H. (2008). Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste Management*, v 29, pp 731-738.

- Kourmpianis, A., Papadopoulos, K., Moustakas, M., Stylianou, K.J., Haralambous, & Loizidou, M. (2008). Preliminary study for the management of construction and demolition waste. *Waste Management Research*, v 26 (3), pp 267-275.
- Laquatra, J. & Pierce, M.R. (2002). Waste management at the construction site.
- Lingard, H., Graham, P., & Smithers, G. (2000). Employee perceptions of the solid waste management system operating in a large Australian contracting organization: implications for company policy implementation. *Construction Management and Economics*, v 18, pp 383-393.
- Lu, M., ASCE, M., Poon, C.S., & Wong, L.C. (2006). Application Framework for Mapping and Simulation of Waste Handling Processes in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, v 132 (11), pp 1212-1221.
- Lu, W. & Yuan, H. (2011). A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Management*, v 31, pp 1252-1260.
- Manuel, J. (2003). Unbuilding for the environment. *Environmental Health Perspectives*, v 111 (16), pp 880-887.
- Martínez, P. (2003). Rol de la industria de la construcción en el desarrollo sustentable. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, v XIX (1), pp 19-25.
- McDonald, B., & Smithers, M. (1998). Implementing a waste management plan during the construction phase of a project: a case study. *Construction Management and Economics*, v 16 (1), pp 71-78.
- McGrath, C. (2001). Waste minimization in practice. *Resources, Conservation and Recycling*, v 32 (3-4), pp 227-238.
- Moussiopoulos, N., Papadopoulos, A., Iakovou, E., Achillas, H., Aidonis, D., Anastaselos, D., & Baniyas, G. (2007). Construction and demolition waste management: state of the art trends. *Proceedings of the 10 International Conference on Environmental Science and Technology*.
- Nahmens, I. (2009). From Lean to Green Construction: A Natural Extension. *Proceedings of the 2009 Construction Research Congress*, pp 1058-1067.
- Osmani, M., Glass, J., & Price, A.D.F. (2007). Architects' perspectives on construction waste reduction by design. *Waste Management*, v 28 (7), pp 1147-1158.
- Papargyropoulou, E., Preece, C., Padfield, R., Abdullah, A. (2011). Sustainable construction waste management in Malaysia: a constructor's perspective. *Proceedings of the MISBE 2011 - International Conference on Management and Innovation for a Sustainable Built Environment*.
- Peng, C.L., Scorpio, D.E., Kibert, C. (1997). Strategies for successful construction and demolition waste recycling operations. *Construction Management and Economics*, v (15), pp 49-58.
- Pinto, T.P., & Agopyan, V. (1994). Construction waste as raw materials for low-cost construction products. *Proceeding of the First Conference of CIB TG 16 on Sustainable Construction*. Tampa, Florida, pp 335-342.
- Polat, G., & Ballard, G. (2004). Waste in Turkish construction: need for lean construction techniques. *Recuperado el 14 de junio de 2010, de http://www.iglc2004.dk/_root/media/13080_067-polat-ballard-final.pdf*.
- Poon, C.S., Yu, A.T.W., & Ng, L.H. (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling*, v 32 (2), pp 157-172.
- Poon, C.S., Yu, A.T.W., & Jaillon, L. (2004). Reducing building waste at construction sites in Hong Kong. *Construction Management and Economics*, v 22 (5), pp 461-470.
- Rodríguez, G., Alegre, F.J., & Martínez, G. (2006). The contribution of environmental management systems to the management of construction and demolition waste: The case of the Autonomous Community of Madrid (Spain). *Resources, Conservation and Recycling*, v 50, pp 334-349.
- Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes, M.V., & Ramírez, A. (2009). A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management*, v 29 (9), pp 2542-2548.
- Srouf, I., Chong, W.K. & Zhang, F. (2010). Sustainable Recycling Approach: An Understanding of Designers' and Contractor's Recycling Responsibilities Throughout the Life Cycle of Buildings in Two US Cities. *Sustainable Development*.
- Shen, L.Y., Tam, V.W.Y., Tam, C.M., & Ho, S. (2000). Material wastage in construction activities – a Hong Kong survey. *Proceedings of the 1st CIB-W107 International Conference – Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries*, pp 125-131.

- Shen, L.-Y., Hao, J.L., Wing-Tam, V., & Yao, H. (2007). A checklist for assessing sustainability performance of construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, v 13 (4), pp 273-281.
- Shen, L.Y. & Tam, V.W.Y. (2002). Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry. *International Journal of Project Management*, v 20, pp 535-543.
- Shen, L.Y., Tam, V.W.Y., Tam, C.M., & Drew, D. (2004). Mapping Approach for Examining Waste Management on Construction Sites. *Journal of Construction Engineering and Management*, v 130 (4), pp 472-481.
- Spoerri, A., Lang, D., Binder, C., & Scholz, R. (2009). Expert-based scenarios for strategic waste and resource management planning – C&D waste recycling in the Canton of Zurich, Switzerland. *Resources, Conservation and Recycling*, v 53 (10), pp 592 – 600.
- Tam, V.W.Y. (2007). On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction. *Waste Management*, v 28, pp 1072-1080.
- Tam, Vivian W.Y., & Tam, C.M. (2006). Evaluations of existing waste recycling methods: A Hong Kong study. *Building and Environment*, v 41 (12), p 1649 – 1660.
- Tam, V.W.Y., Shen, L.Y., & Tam, C.M. (2006 a). Assessing the levels of material wastage affected by sub-contracting relationships and projects types with their correlations. *Building and Environment*, v 42 (3), pp 1471-1477.
- Tam, Vivian W.Y., & Tam, C.M. (2006). Evaluations of existing waste recycling methods: A Hong Kong study. *Building and Environment*, v 41 (12), p 1649 – 1660.
- Tam, V.W.Y., Tam, C.M., Chan, J.K.W., & Ng, W.C.Y. (2006 b). Cutting construction wastes by prefabrication. *International Journal of Construction Management*, pp 15-24.
- Tam, V. W.Y. & Le, K.N. (2009). On Implementation of Waste Management Systems in the Hong Kong Construction Industry Spectral Methods. *Proceedings of the 2009 IEEE IEEM*, pp 573-577.
- Tam, V. W.Y. & Le, K.N. (2008). On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction. *Waste Management*, v 28 (6), pp 1072-1080.
- Torres, C., Luis, E., & Hitomi, E. (1999). Method for waste control in the building industry. *Proceedings IGLC-7*, pp 325-334.
- Turk, A.M. (2008). The benefits associated with ISO 14001 certification for construction firms: Turkish case. *Journal of Cleaner Production*, v 17, pp 559-569.
- Wang, J., Yuan, H., Kang, X., & Lu, W. (2010). Critical success factors for on-site sorting of construction waste: A china study. *Resources, Conservation and Recycling*, v 54, pp 931-936.
- Wimalasena, B.A.D.S., Ruwanpura, J.Y., & Hettiaratchi, J.P.A. (2010). *Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice*, pp 1498-1507.
- Yahya, K. & Boussabaine, H. (2006). Eco-costing of construction waste. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v 17 (1), pp 6-19.
- Ye, G., & Yuan, H. (2010). Estimating the generation of construction and demolition waste by using system dynamics: a proposed model. *4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, iCBBE 2010*.
- Yuan, H. & Shen, L. (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, v 31, pp 670-679.
- Zhao, W., Leefink, R.B., & Rotter, V.S. (2009). Evaluation of the economic feasibility for the recycling of construction and demolition waste in China – The case of Chongqing. *Resources, Conservation and Recycling*, v 54 (6), pp 377-389.