Artículo de Revisión / Review Manuscript

Residuos de construcción y demolición Revisión sobre su composición, impactos y gestión

Construction and demolition waste

Review about their composition, impacts and management

Erica Mejía[1], Jim Giraldo[2], Luisa Martínez[3]

Fecha de recepción: 5 de junio de 2013

Fecha de aceptación: 20 de julio de 2013

Resumen

La construcción de obras públicas y privadas es una de las actividades económicas más rentables y generadoras del desarrollo. La actividad también incluye la demolición. Como consecuencia de ambas se produce inevitablemente la presencia de residuos o escombros. A raíz del crecimiento que ha tenido la industria de la construcción son considerados un problema ambiental y social para las ciudades, pues hay una gran ausencia de gestión, control y correctivos desde las políticas públicas, además de poca educación y sensibilización de los constructores en cuanto al control de generación y disposición de los residuos de su actividad. En el presente documento se pretende realizar un análisis bibliográfico sobre el tema de los Residuos de la Construcción y la Demolición (RCD), abarcando temas como los efectos sobre la salud y el medio ambiente, gestión de residuos, tendencias mundiales para

1 Universidad de San Buenaventura Erika.mejia@usbmed.edu.co

2 Institución Universitaria Pascual Bravo, jim.giraldo@pascualbravo.edu.co

3 Universidad Nacional de Colombia lmartinez@pascualbravo.edu.co

E. Mejía, J. Giraldo, L. Martínez "Residuos de construcción y demolición. Revisión sobre su composición, impactos y gestión" Revista CINTEX, Vol. 18, pp. 105-130. 2013.

la disposición de los mismos, recomendaciones para una buena gestión, específicamente en Colombia, centrándose especialmente en el área metropolitana del Valle de Aburrá.

PALABRAS CLAVE: Residuos de la construcción y la demolición, impactos ambientales, materiales peligrosos

Abstract

Public and private construction works are one the most profitable economic activities and one the most that generate development in countries. These activities also include demolition works and as a result, the inevitable presence of waste or debris comes up. Nowadays, the debris are considered as a social and environmental problem for the cities located in developing countries, due to the large growth that has taken the construction industry, lack of management, control and corrective practices from policies and the little education and the awareness of builders for the control of generation and disposal of generated waste from these activities. This document aims to make a literature review on the subject of Construction and Demolition Waste (RCD), covering topics such as the effects of these residues on human health and environment, waste management, global trends for the disposition, recommendations for good management and specifically, their situation in Colombia, focusing especially on the Valle de Aburrá metropolitan area.

KEYWORDS: Construction and demolition waste, environmental impacts, dangerous materials

1. Introducción

La industria de la construcción es uno de los sectores más importantes y estratégicos para el desarrollo [1]. En Colombia la misma ha tenido un adelanto acelerado en los últimos años lo que lleva al consumo desmedido de recursos para la construcción, teniendo como consecuencia una gran producción de residuos sólidos (escombros particularmente), los cuales tienen una gestión descontrolada tanto en Colombia como en la mayoría de los países en desarrollo [2]. A pesar de que el decreto 357 de 1997 regula el manejo, transporte y disposición final de escombros y materiales de construcción, es muy frecuente observar la disposición no adecuada de un alto volumen de los materiales en lugares inapropiados, cerca del sitio de generación o en vertederos no controlados. La falta de gestión y disposición de los materiales está asociada a los grandes volúmenes generados, a los altos costos de transporte y al gran espacio requerido para su disposición [3].

Es la razón por la que el reto principal, local y nacionalmente, es mejorar el entorno ambiental y la competitividad empresarial, mediante la produc-

ción bajo estándares de responsabilidad ambiental y social, y del fomento de patrones de consumo sostenibles. De esta manera se busca minimizar los efectos negativos, incentivando la modernización de la industria productiva y fomentando la producción y el consumo sostenible [4], [5].

Por lo anterior, el objetivo de este documento es dar información sobre los residuos de la construcción y la demolición (RCD) en Colombia, especialmente en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, efectos sobre la salud y el medio ambiente, gestión de este tipo de residuos, tendencias mundiales para la disposición de los mismos y, finalmente, recomendaciones para una buena gestión; con el fin de suministrar información preliminar que permita a lectores e investigadores interesados en este tema, un punto de partida para posteriores trabajos.

2. Residuos de la construcción y la demolición

Los residuos de la construcción y demolición (RCD) hacen parte de los residuos sólidos, los cuales se clasifican en i) no peligrosos: no presentan riesgo para la salud humana o el medio ambiente; ii) peligrosos, por sus características (corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas y radiactivas) pueden afectar o causar riesgo para la salud humana y el medio ambiente (Decreto 4741 de 2005); y iii) especiales, son aquellos residuos que por su volumen, peso o tamaño deben ser dispuestos de manera especial, entre ellos se encuentran los electrodomésticos, colchones, residuos de poda, tala y rocería, lodos y escombros [6], [8].

Los RCD son aquellos residuos que proceden de la construcción, demolición de los edificios, obras públicas y de urbanización, y se pueden clasificar según la actividad de la que provengan, como se muestra en la Tabla 1 [9]. Estos residuos incluyen los provenientes de construcción o demolición de estructuras residenciales y no residenciales, y los proyectos de repavimentación, reparación de puentes y limpieza asociada con desastres hechos por el hombre o la naturaleza, como huracanes, terremotos, tornados e inundaciones [8]. Dentro de esta categoría de residuos encontramos asfalto, maderas, metales, yesos, tejas, entre otros [10].

La generación de RCD se encuentra íntimamente ligada a la actividad de la industria de la construcción, como consecuencia de demolición de edificaciones e infraestructura (vías, puentes, entre otras obras civiles) que han

quedado obsoletas o por construcciones nuevas. Se ha encontrado que, en el mundo, alrededor del 15 al 25% de los residuos generados pertenecen a este grupo [7], [8]. Según la Legislación Colombiana se clasifican en:

- Materiales: dentro de este ítem se encuentran escombros, concretos, materiales de construcción y demolición, y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación
- Elementos: ladrillos, cemento, acero, mallas, madera, formaletas y similares
- Agregados sueltos: encontramos la grava, gravilla, arena, recebos y similares

Tabla 1. Clasificación general de los rcd atendiendo a la actividad generadora tomado de [9].

	OBJETO	ELEMENTOS PRINCIPALES	CONSIDERACIONES
DEMOLICIÓN	Viviendas	Antiguas: marroquinería, ladrillo, madera, yeso, tejas. Recientes: ladrillo, hormigón, hierro, acero, metales y plásticos.	Los materiales dependen de la edad del edificio y del uso concreto del mismo, en el caso de los de servicio.
	Otros edificios	Industriales: hormigón, acero, ladrillo, mampostería. Servicios: hormigón, ladrillo, mampostería, hierro, madera.	
	Obras públicas	Mampostería, hierro, acero, hormigón, armado.	Los materiales dependen mucho de la edad y del tipo de infraestructura a demoler. No es una actividad frecuente.
CONSTRUCCIÓN	Edificación y obras publicas	Hormigón, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales cerámicos, plásticos, materiales no férreos	Normalmente se reutilizan en gran parte.
	Reparación y mantenimiento	Suelo, roca, hormigón, productos bituminosos	Originados básicamente por recortes, materiales rechazados por su inadecuada calidad y roturas por deficiente manipulación.
	Reconstrucción y rehabilitación	Viviendas: cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillo. Otros: hormigón, acero, mampostería, ladrillo, yeso, cal, madera.	Generación de residuos poco significativos en el caso de edificación.

3. Componentes de los RCD

Los RCD están compuestos, en su mayoría, por rocas, ladrillos, paneles de yeso, hormigón, acero, vidrio, madera, tejas, elementos de plomería, techos de asfalto, elementos para calefacción y electricidad, entre otros [8]. Pero debido al cambio constante de la industria de la construcción, la composición de los escombros es altamente variable en el tiempo. Actualmente ha aumentado la fracción de metales (acero, aluminio, cobre, plomo, entre otros), vidrio, y en particular, compuestos sintéticos como polímeros y aditivos químicos [8], [11].

Debido a este fenómeno se realizan investigaciones que permitan determinar la composición química y mineralógica de los RCD. Los análisis realizados para la caracterización comprenden: pruebas físico-químicas con espectrometría de fluorescencia de rayos X (permite determinar óxidos), análisis por Difracción de Rayos X, espectroscopia electrónica de barrido, espectroscopia de infrarrojo con trasformada de Fourier, entre otros, para determinar la mineralogía de los RCD.

En la investigación realizada en el 2003 por Angulo, Kahn y Ulsen [12], se encontró en dos plantas de reciclaje en Brasil, que los RCD los constituyen esencialmente silicatos y carbonatos.

Mediante ensayos petrográficos, realizados a RCD de la planta de reciclaje La Palentina, ubicada en Madrid, España, como se reseña en Calvo *at al.* [13], encontraron que en muestras de ladrillo, los principales componentes son minerales arcillosos y cuarzo. En muestras de mortero de cal se encontraron cuarzo, sericita, minerales arcillosos y opacos, y óxidos de hierro. En muestras de hormigón se identificaron, principalmente, cuarzo y calcita. En todas las muestras se realizaron ensayos de difracción de rayos X, confirmándose la presencia de cuarzo y calcita, encontrando también feldespato [13].

En trabajos realizados por Bianchini *et al.* [14], a través de análisis realizados a los RCD, por medio de fluorescencia de Rayos X (XRF) y Difracción de Rayos X (XRD), se encontró que los elementos que se hallan en mayor porcentaje son óxido de silicio (SiO_2), óxido de titanio (TiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de manganeso, (MnO), óxido de magnesio (MgO), óxido de calcio (CaO), óxido de sodio (Na_2O), óxido de potasio (K_2O), y óxido de potasio (P_2O_5), y en forma de trazas, plomo (Pb), zinc (Zn), níquel (Ni), cobalto (Co), cromo (Cr), vanadio (V) y torio (Th).

4. Sustancias Contaminantes en los RCD

Los RCD están compuestos, en su mayoría, por residuos inorgánicos, por lo tanto se ha tenido la creencia que generan poca o nula contaminación comparado con los residuos sólidos municipales [15].

Nada más alejado de la realidad, ya que estos residuos pueden contener diferentes sustancias que bajo ciertas condiciones pueden llegar a ser biodegradadas y convertirse en sustancias que contaminantes en diferentes formas: i) gaseosa, que va al aire, ii) lixiviados, que van a aguas superficiales y subterráneas, o iii) en forma de sedimentos para los suelos.

Un ejemplo de esta situación es la producción de sulfuro de hidrógeno (H_2S) en las escombreras o lugares donde se almacenan los RCD; resulta de la reducción biológica del sulfato contenido en los paneles de yeso, normalmente usados en las construcciones, que al ser expuesto al agua es disuelto como sulfato y calcio. El sulfato disponible, bajo condiciones anaeróbicas, puede ser atacado por bacterias reductoras de sulfato, proceso que convierte éste en un receptor de electrones que, al reaccionar con el hidrógeno del aire, produce H_2S [16]. Las reacciones que se describen anteriormente, se representan de la siguiente forma:

$$S_4^{2-} + C(materia\ orgánica) \rightarrow S^{2-} + H_2O + CO_2 \quad (1)$$

$$S^{2-} + 2H^+ \rightarrow H_2S \quad (2)$$

Entre las propiedades del Sulfuro de Hidrógeno (H_2S) se incluyen su desagradable olor, su naturaleza corrosiva y la toxicidad a altas concentraciones[17]. Tales propiedades lo hacen un elemento que debe ser evitado en el aire. La exposición a concentraciones bajas puede causar irritación de los ojos, la nariz o la garganta. También puede causar dificultad para respirar en personas asmáticas y, si se expone un ser vivo a altas concentraciones del mismo, se pude llegar hasta la inconciencia [18].

Los RCD no pueden ser considerados solo como residuos inertes, ya que además de tener la capacidad de producir Sulfuro de Hidrógeno durante su disposición, una pequeña fracción de éstos contienen sustancias como pinturas con contenidos considerables de plomo, mercurio (en las lámparas

fluorescentes), sustancias de tratamiento para la madera, contenedores de solventes y asbestos. Contienen elementos peligrosos para la salud y el medio ambiente [17], [19]. En la Tabla 2 se clasifican los desechos y las respectivas sustancias nocivas que podrían contener.

Debido al contenido de sustancias nocivas que pueden contener los RCD para la salud y el medio ambiente, los esfuerzos se han enfocado en el análisis de los elementos tóxicos producidos en las escombreras, luego de que los materiales son dejados a la intemperie e intervienen procesos fisicoquímicos que los trasforman.

Un estudio realizado en la Florida a RCD domésticos analizó lixiviados producidos por muestras que están en condiciones similares a las que tienen estos desechos en las escombreras. Los análisis incluyeron medición de Componentes Orgánicos Volátiles (VOC), Componentes Orgánicos Semi-Volátiles (Semi-VOC),

Tabla 2. Principales residuos peligrosos de la demolición. Modificada de n. Roussat *et al*. 2008

Desecho peligroso	Sustancia peligrosa en el desecho
Tejas, baldosas, cemento	Asbesto
Lámparas fluorescentes	Mercurio
Maderas tratadas	Arsénico, cromo, pentaclorofenol, creosota, lindano
Pintura con base en plomo	Plomo
Tubos de plomo	Plomo
Revestimiento bituminoso	PAH (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)
Baterías de señales de salida, de emergencia, etcétera	Plomo y Cadmio
Juntas y selladores	PCB (Policlorobifenilos)

Metales y parámetros convencionales de calidad del agua. Todas las muestras analizadas presentaron una alta concentración de cloruros y sulfatos; en

cuanto a los VOC, etilbenzeno y tolueno fueron las más comúnmente detectadas en las muestras, y sólo el di-n-butil phthalato fue encontrado para los semi VOC. Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) y policlorobifenilos (PCB) también fueron encontrados. Adicional, se detectaron metales pesados en concentraciones considerables como Al, As, Cr, Fe, Mn, and Pb [17].

Otras sustancias contaminantes, que se deben mencionar, presentes en los RCD, son los retardantes de fuego bromados (BFR), utilizados en los textiles, plásticos y materiales de construcción, cuyo interés desde el punto de vista medioambiental, se incrementó considerablemente durante las últimas dos décadas. Estos compuestos incluyen varios grupos químicos; los más comunes son los tetrabromobisfenoles A (TBBPA), polibrominatos difenil éter (PBDE), polibrominatos difenilos (PBB) y los hexabromoclorodecanos (HBCD). El HBCD fue estudiado en diferentes campos donde puede existir emisión del compuesto al ambiente (entre los cuales las escombreras), encontrándose que este compuesto que se acumula en los RCD, allí depositados, es emitido al aire. Al ser un compuesto persistente, se mantiene en los sedimentos, lo que permite que sean contaminadas las aguas superficiales y subterráneas; su peligrosidad radica en que se ha demostrado que el compuesto es un contaminante bioacumulativo [20].

5. Situación de generación de RCD en el área metropolitana del Valle de Aburrá

Una de las principales características de una ciudad es su ciclo ininterrumpido de demolición-construcción. Se ha encontrado que en una ciudad se destruye anualmente un 0,6% de lo construido y el volumen edificado aumenta en un 5% [20]. Por lo tanto, cada día es mayor la demanda de materiales (recursos no renovables) para la construcción, lo que incrementa la cantidad de residuos por el proceso ininterrumpido de demolición-construcción [21].

En el área metropolitana del Valle de Aburrá se presenta una problemática diferente y posiblemente más grave a la planteada anteriormente, ya que dentro de las ciudades se presenta también la extracción de materias primas para la fabricación de materiales de construcción. En la parte norte del área metropolitana se encuentran las canteras de agregados usados en la fabricación de concreto, hormigón, entre otros [1], [21]; lo que muestra, por consecuencia, las laderas más degradadas de Colombia, ubicadas en Girardo-

ta, Copacabana y Bello, y en la zona noroccidental de la ciudad de Medellín (San Javier), donde se encuentran importantes canteras para concreto. En el sur del valle, en la zona de Guayabal e Itagüí se presentan minas para la extracción de arcillas utilizadas en la confección de ladrillos y cerámicas [21].

Adicionalmente, los residuos son dispuestos dentro del mismo Valle de Aburrá, tornando crítico el problema de disposición de materiales y escombros [1], [21].

Por las situaciones ya descritas, la gestión de residuos en el área metropolitana se ha convertido en un problema complejo. Éstos llegan a escombreras (4.600 t/día) y rellenos sanitarios legales (2.400 t/día), bastante cuestionados, y a cursos de agua o zonas que no están acondicionadas para ello (3.400 t/día). Lo que provoca obstrucciones en ríos, terrenos y vías públicas, y riesgos directos e indirectos sobre la salud humana, elevados costos de mantenimiento y restauración ambiental de aproximadamente 8.000 millones al año [3], [22]. Desafortunadamente, en el área metropolitana sólo se recicla aproximadamente 1.000 t/día [3], [11], [22]. De los residuos depositados en escombreras, 45.5 toneladas son residuos vegetales que se mezclan con los escombros, agravando aún más el problema de gestión. Otro dato relevante es que por cada metro cuadrado construido de vivienda se generan alrededor de 1.35 m^3, de los cuales entre el 50 y el 70% son residuos potencialmente reutilizables [22].

Al realizar la gestión inadecuada de los RCD, enviándolos a vertederos, no solo se pierde el material potencialmente reutilizable, reciclable o valorizable, sino que además se afecta de manera negativa el entorno, ya que los RCD se depositan sin ningún tipo de separación previa, conteniendo en ellos residuos peligrosos que no son inmovilizados, generando contaminación química sobre el suelo, aguas subterráneas, entre otros. Por eso la separación en la fuente es indispensable; dependiendo del tipo de material que constituya el residuo, se puede proceder con algunas técnicas de reúso y reciclaje de los RCD, como se puede observar en la Tabla 3, donde se encuentran listadas las formas en que se puede realizar la gestión, de acuerdo con el tipo de material. En general, los RCD son usados como material soporte o de relleno para aplicaciones industriales o en el diseño de nuevos materiales o productos.

Con el fin de generar estrategias efectivas en la reutilización y reciclaje de los RCD se debe tener en cuenta la complejidad en la generación de estos

residuos, para lo cual las normas y legislación vigente solo hablan de una disposición final adecuada que consiste en depositar estos materiales en escombreras autorizadas o legales, pero no se contempla lo mismo que hace para la gestión de otro tipo de residuos: que estén sea separado desde el origen. Esto facilitaría enormemente la gestión integral de este residuo. Para realizar un aprovechamiento de los RCD se debe tener en cuenta la separación en la fuente, lo que se traduce en campo en una demolición selectiva que permita separar los diferentes componentes aprovechables, generando beneficios como un menor costo de transporte y tasas de aseo, disminución de los impactos ambientales por la operación de escombreras y aumento de su vida útil, mejora de las condiciones del hábitat urbana, con lo que se evita el deterioro del paisaje [21], [23].

Tabla 3. Aplicaciones de los materiales que pueden formar parte de los rcd, tomado de [9].

TIPO DE MATERIAL	**APLICACIONES (REUTILIZACION** O RECICLAJE)	
ÁRIDOS NATURALES (arenas y gravas, rocas trituradas)	**CONSTRUCCIÓN**	**MORTEROS, HORMIGONES,** prefabricados, materiales de relleno, bases y sub-bases de carretera, balasto de construcción de vías férreas, firme de aglomerados asfalticos, piedras para escollera
	INDUSTRIA	**INDUSTRIA DE** la cerámica y vidrio, lechos filtrantes, revestimientos aislantes y refractarios, materiales abrasivos, industria papelera, industria de plásticos, industria de pintura y detergentes, fabricación de cemento, industrias químicas y farmacéuticas, tratamiento de aguas, cargas, usos agrícolas, aditivos para piensos, corrección de suelos
ÁRIDOS LIGEROS (densidad de partícula <2000 kg/m^3)	**MORTEROS PUZOLÁNICOS,** hormigones ligeros, rellenos especiales, prefabricados ligeros, cerámicas	

TIPO DE MATERIAL	**APLICACIONES (REUTILIZACION** O RECICLAJE)
ÁRIDOS SECUNDARIOS (artificiales) y áridos secundarios	**MATERIAL DE** relleno, rabricación de hormigón, cemento o ladrillos, bases y sub-base para carretera
HORMIGÓN	**FABRICACIÓN DE** hormigón o cemento, material de relleno, construcción de carreteras
MAMPOSTERÍAS DE PIEDRAS	**MATERIAL DE** segunda mano, material de relleno
LADRILLOS	**MATERIAL DE** segunda mano, material de relleno, fabricación de hormigón o ladrillos, construcción de carreteras, arena para pistas de tenis
TEJAS	**MATERIAL DE** segunda mano, material de relleno
SUELOS	**MATERIAL DE** relleno, paisajismo, jardines
MADERA	**FABRICACIÓN DE** mobiliario y otros productos, material de segunda mano, compostaje
ASFALTO	**FABRICACIÓN DE** asfalto, construcción de carreteras
VIDRIO	**FABRICACIÓN DE** productos de vidrio, fabricación de hormigón, construcción de carreteras, paisajismo
PAPEL Y carton	**FABRICACIÓN DE** aislamientos de celulosa, **FABRICACIÓN DE** papel y cartón
METALES	**FABRICACIÓN DE** metales, fabricación de segunda mano
PLÁSTICOS	**FABRICACIÓN DE** gran variedad de productos de plástico, suelos, recubrimientos
ACEITES	**REGENERACIÓN DE** aceites, minimizar
SUSTANCIAS QUÍMICAS	**MUY POCAS** aplicaciones, minimizar
AMIANTO	**USO PROHIBIDO,** minimizar
YESO	**MATERIAL DE** relleno, fabricación de tabiques, minimizar
SOLUCIONES ACUOSAS	**MUY POCAS** aplicaciones, minimizar

6. Efectos en la Salud de los RCD

Los efectos en la salud de este tipo de residuos se deben principalmente a las emisiones atmosféricas generadas por su descomposición, lo que produce ácido sulfhídrico (H_2S) [24]. Este gas, de acuerdo con National Institute for Occupational and Safety Health (NIOSH), tiene un límite recomendado de exposición (REL) de 10 ppm (15 mg/m^3)[25]. Los efectos en la salud son preocupantes, dependiendo del nivel y duración de la exposición, bajas concentraciones con efectos irritantes en los ojos, nariz, garganta y sistema respiratorio. Concentraciones medianas pueden causar irritación severa de ojos y sistema respiratorio, y la exposición a altas concentraciones puede causar shock, convulsiones, dificultad para respirar, inconciencia, coma y muerte. Los efectos consiguen aparecer con unas pocas respiraciones, incluso hasta con una sola aspiración [26].

Es muy importante tener en cuenta estas características de peligrosidad para el diseño del manejo de los escombros, ya que no son materiales exentos de generar riesgo en la población. En la ciudad de Medellín y el área metropolitana del Valle de Aburrá, esto no ha sido tenido en cuenta. Los lugares donde se realiza actualmente el depósito de RCD tienen como vecinos asentamientos que podrían verse expuestos a estos riesgos.

Otro riesgo al que se exponen las personas que están en contacto con los escombros, especialmente aquellos que realizan las tareas de demolición, es la aparición de neumoconiosis por la exposición a polvos de sílice cristalina [27] presentes en este tipo de residuo. Esta sustancia puede mostrarse de varias maneras, siendo la más común, la mineral en la corteza terrestre. Cuando el trabajador se expone a la sílice cristalina, el tejido pulmonar reacciona desarrollando nódulos fibróticos y generando cicatrices alrededor de éstos. A esta condición se le denomina silicosis. Cuando los nódulos crecen demasiado, la respiración se hace difícil y puede producir la muerte [28].

La guía de atención integral basada en la evidencia para neumoconiosis (GATI-NEUMO) define la silicosis como una enfermedad pulmonar atribuible a la inhalación de dióxido de silicio (sílice), en formas cristalinas, como la cristobalita, y la tridimita. Estas formas reciben el nombre de sílice libre para diferenciarlas de los silicatos. Existen tres tipos de Silicosis dependiendo de la exposición [29]:

- Crónica: aparece después de una evolución repetida por una exposición de varios años
- Aguda: forma clínica rápidamente progresiva que puede evolucionar en un corto período, después de exposición intensa a sílice
- Acelerada: es otra forma clínica intermedia entre la aguda y la crónica

El cuadro clínico de la silicosis puede ser de disnea o dificultad para respirar, presencia de tos, secundaria a bronquitis por exposición ocupacional a polvos, consumo de tabaco o ambos. Con menos frecuencia, hemoptisis, sibilancias y opresión torácica. Otros síntomas son fiebre y pérdida de peso, lo que sugiere complicaciones por infección. Las formas avanzadas de silicosis se asocian a insuficiencia respiratoria progresiva con o sin cor pulmonale (insuficiencia cardíaca derecha). En la silicosis los signos de la enfermedad pueden ser escasos a menos que existan complicaciones [30].

Adicionalmente, las malas prácticas en la gestión de los RCD conlleva efectos indirectos sobre la salud humana por arrastre de sedimentos, hacia drenajes de aguas lluvias y corrientes de agua, lo cual imprime riesgos de obstrucciones, turbiedad y sedimentación de cauces. Se ha considerado esta situación como la responsable de desastres en asentamientos urbanos, en zonas irregulares que han involucrado pérdidas humanas [31], [32]. Muchos de estos efectos se pueden acentuar dado el incremento en la intensidad de los períodos de lluvia que inestabilizan los terrenos [33], [36].

7. Impactos al Medio Ambiente

El vertido de RCD tiene numerosos efectos negativos en el medioambiente: contaminación, utilización excesiva de materiales con la consecuente pérdida de recursos naturales, degradación de la calidad del paisaje, alteración de drenajes naturales o pérdida de área de suelo productivo. Por otra parte, el transporte de los residuos tiene asimismo consecuencias negativas, ya que genera emisiones de gases efecto invernadero a la atmósfera y deterioro de las vías de circulación debido a su volumen y peso [37].

Los RCD producen impactos ambientales negativos en: i) el medio inerte, que se define como la parte del entorno compuesta por el medio físico, es decir, el clima, la atmósfera, la geología y la hidrología (tanto superficial

como subterránea); ii) el medio biótico, que se define como la parte del medio natural compuesta por las condiciones edáficas del suelo, la vegetación y la fauna, y iii) el medio humano, que se define como las condiciones socioeconómicas, las condiciones de calidad ambiental de los seres humanos, los sistemas de aprovechamiento de recursos, la calidad y presencia de patrimonio y las condiciones perceptuales del medio (el paisaje). De acuerdo con lo anterior, se pueden entonces clasificar los impactos así [38]:

- Impacto de los RCD en medio inerte

  -Consumo de materias primas y energía

  -Modificaciones geomorfológicas

  -Contaminación de acuíferos

  -Contaminación de ríos

  -Contaminación atmosférica

- Impactos de los RCD en el medio biótico

  -Pérdida de hábitat por la extracción de materias primas

  -Pérdida de hábitat por la ocupación de suelos para el vertido

  -Pérdida de calidad edáfica en los suelos en los que se han acopiado residuos, aunque se retiren posteriormente

- Impactos de los RCD en el medio humano

  -Ruido y las vibraciones por el tráfico de vehículos pesados, tanto en la extracción como en el vertido

  -Degradación paisajística en entornos naturales por el vertido y la extracción

  -Degradación paisajística en entornos urbanos por la acumulación de residuos en solares, descampados y márgenes de calles y caminos

  -Ocupación de suelos en entornos urbanos que podrían destinarse a otros usos

Todos los efectos mencionados, finalmente pueden agruparse de acuerdo con las siguientes categorías de impacto: i) Aumento de la vulnerabilidad urbana, que incluye la inestabilidad de terrenos, en especial de aquellos en pendiente, que ocasiona alteraciones de los drenajes naturales y planifica-

dos, obstruyendo el cauce normal de quebradas y cursos de agua, lo que ocasiona riesgos geotécnicos y deslizamientos de tierra; ii) Contaminación ambiental, manifiesta en la contaminación del suelo, de las aguas superficiales y subterráneas, y del aire por el material particulado en suspensión; y iii) Degradación de la calidad del paisaje, por la ocupación del suelo por escombros, lo que ocasiona la pérdida de la capa vegetal; esto como consecuencia puede eventualmente afectar las especies de fauna en la zona, las cuales deben migrar a buscar alimento [37], [39].

8. Gestión de Residuos en el área metropolitana del Valle de Aburrá

En la generación de los residuos de la construcción y demolición, la edificación de nuevas construcciones es responsable del 78% de la generación diaria de este residuo sólido. Además se estimó que la proyección del crecimiento de la construcción en el área metropolitana incrementaría la cantidad de residuos generados en 2% anualmente [40].

Estos datos revelan la magnitud de la importancia que tiene el manejo de los escombros en las ciudades que conforman el el valle, y muestran las proyecciones de crecimiento en su generación, lo cual impacta de forma directa en la gestión que se hace para realizar el manejo de este residuo.

Para el caso Medellín, el municipio, través de la Secretaría del Medio Ambiente, publicó una guía donde realiza recomendaciones para el manejo ambiental en la construcción de obras de infraestructura pública [41], con lineamientos para realizar la gestión de los escombros, se dan recomendaciones como la separación en la fuente, dependiendo del tipo material, ya sea para ser reciclado (es el caso de los cuescos de concreto o asfalto, metales y la disposición final en rellenos como el PVC, icopor y otros materiales no recuperables). La guía realiza recomendaciones sobre el reciclaje de estos materiales, pero este proceso está supeditado a la existencia de una planta que realice el aprovechamiento de estos materiales. Otra recomendación que se hace es la disposición que se debe realizar en escombreras con autorizaciones ambientales.

Una herramienta importante dentro de la gestión de los residuos son las 3R (reducir, reciclar, reutilizar). Existen además autores que proponen la incorporación de otras R dentro de le gestión ambiental, sin importar el proce-

so. Reordenar, reformular, refabricar, revalorizar, rediseñar, recompensar y renovar [42].

Para un correcto manejo de los residuos de la construcción [43], propone la implementación de un programa de gestión de los RCD en el mismo sitio donde se realiza la obra, con el fin de disminuir la cantidad de llega a los botaderos y escombreras, y además para realizar una separación selectiva y un aprovechamiento en la fuente. Este programa incluye los siguientes aspectos:

- Reducción en la generación de escombros
- Separación en la fuente
- Control de escombros durante las actividades preliminares
- Control de tierra útil proveniente de excavaciones
- Control de escombros provenientes de estructuras de concreto y mortero, durante obra gris, instalación de tubería, acabados y durante la limpieza en áreas de trabajo

Un aspecto importante de analizar en el momento del reciclaje de escombros es la composición con el fin de poder determinar la factibilidad técnica del proceso.

Se han realizado estudios con el fin de determinar la factibilidad de producir concreto a partir de escombros. En uno de ellos, se efectuaron prototipos prefabricados de uso común en la industria, en Medellín, como bloques huecos de hormigón para paredes, bordillos para andenes y corta goteras, los cuales fueron analizados de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana 247. En esta norma se establece que los bloques de los muros de carga deben resistir una compresión de sección bruta igual o mayor a 4.0 Mpa en promedio. Los resultados obtenidos muestran un promedio de resistencia de 4.8 Mpa. De acuerdo con estos resultados los bloques cumplen con los requisitos para ser empleados en la construcción [44].

Algunas de las ventajas del reciclado de materiales pueden ser [45]:

- Disminución de la generación de lixiviados en los rellenos sanitarios, los cuales causan contaminación en las aguas
- Evitar la proliferación de vectores de enfermedades

- Ahorro de espacio en los rellenos o escombreras, aumentado la vida útil de los lugares
- Protección de los recursos naturales
- Disminución de los costos financieros, al reincorporar al ciclo económico los materiales considerados desechos

En el área metropolitana existen propuestas para la correcta gestión de los residuos de la construcción, como es el caso de la empresa Recicom S.A., surgida del interés de dos estudiantes de la Universidad Nacional [46], la cual se dedica a fabricar agregados a partir desechos de obras civiles.

Durante 2008 se presentó en el Concejo de Medellín un proyecto de acuerdo en el que se pretendía mejorar la gestión por parte de los constructores en relación con el manejo de los escombros y su disposición final. En el documento se resalta la disposición que realiza para la escombrera Municipal, la empresa Escombros Sólidos Adecuados (ESSA). En la Tabla 4 se pueden ver las cantidades y porcentajes de residuos ingresados en esta escombrera, la cual es apoyada por cinco centros de acopio parciales de Empresas Varias de Medellín E.S.P [47]. En total, en el Valle de Aburrá se tienen identificados dieciséis sitios denominados escombreras, y seis de acopio temporal. En Medellín se encuentran ubicadas cinco, y en Itagüí una. De los dieciséis, sólo once están legalizadas o con autorización de funcionamiento, licencia o permiso ambiental [48].

9. Recomendaciones para una buena disposición de los RCD

Se debe tener en cuenta que los RCD son peligrosos, no solo por estar constituidos con sustancias que afectan la vida, sino que también pueden llegar a convertirse en peligrosos al estar en contacto por mucho tiempo con el medio ambiente. Igualmente si son mezclados con otros materiales peligros por una mala disposición [49]. Por tanto, es importante hacer una correcta separación desde la fuente, y una muy buena selección de los sitios donde se disponen; de esto depende que no haya una mezcla incorrecta de residuos, exista control de los lixiviados y se prevenga la formación de algún tipo de gas contaminante.

Tabla 4. Residuos depositados en la escombrera municipal, 2005.
Tomado de proyecto de acuerdo n° 042 de 2008, Concejo de Medellín.

Material	%	Cantidad Total (Toneladas)
Tierra	44	1.240
Cuesco de Asfalto	17	470
Piedras	14	390
Residuos Ordinarios (Plásticos, madera, empaque, cerámica, y demás)	11	310
Ladrillo	7	190
Cuesco de Concreto	6	170
Arenilla	1	30
Total	100	2.800

En la industria de la construcción y la demolición es importante que se establezca desde la administración pública, modelos de gestión de RCD, que permita que los responsables conozcan exactamente qué tipo de materiales están presentes en su entorno de trabajo, lo cual los haría aptos para controlar el flujo de dichos materiales. Como resultado de este conocimiento, es posible entonces predecir qué tratamiento tendría que tener cada flujo, para alcanzar una correcta separación. Un diagrama de flujo que podría tenerse en cuenta en el momento de hacer una demolición o construcción, en cuanto a separación de materiales y el correcto tratamiento, se muestra en la Figuras 1 y 2, con una visión preliminar de la manera en que se puede hacer la gestión de los RCD desde la fuente. Se explica esquemáticamente cómo podría realizarse una completa separación de los residuos, teniendo en cuenta el potencial de reutilización que puede tener cada flujo de material [50].

En la gestión integral de los RCD se debería: i) reducir: mediante un correcto diseño, tratar de minimizar la cantidad de materiales utilizados en la construcción; ii) reutilizar: esta es la opción más deseable, ya que desaparece el residuo, pasando a formar parte de un nuevo proceso de producción. Las opciones de reutilización son: reúso directo en la propia obra o en otras obras; iii) reciclar: Consiste en la reconversión o transformación de los resi-

duos en nuevas materias primas que pueden ser usadas en la fabricación de otros productos.

10. Tendencias para la gestión de los RCD

En la actualidad, debido al creciente interés por la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible, muchos países han implementado políticas que aseguran el uso de agregados reciclados a partir de los RCD en las construcciones, y la correcta separación y disposición, especialmente para reciclaje y valorización de los RCD en las demoliciones. Estas políticas incluyen altos costos e impuestos para la disposición en escombreras, implementación de tasas para el uso de materiales vírgenes en la construcción, lo que impulsa e incentiva las inversiones en la clasificación en el sitio de los RCD, para su uso en agregados reciclados de nuevos materiales de construcción. Estas políticas actualmente han sido establecidas en Europa y se implementan en los países desarrollados en los demás continentes [22], [51].

La aplicación del método jerárquico de las 3R (reducir, reusar y reciclar) es lo comúnmente usado para clasificar las estrategias de gestión de los RCD. Está jerarquía está dada según los impactos que tienen en el medio ambiente, siendo reducir la de menor impacto, y reciclar la de mayor.

Dentro de las estrategias de reducción más usadas en los últimos años están: i) la reducción de los residuos por las reglamentaciones gubernamentales; ii) reducción de los residuos por el diseño; iii) desarrollo y uso de tecnología baja en la producción de residuos, y iv) capacitación de personas implicadas en la generación para impulsar un desempeño encaminado a la reducción de los residuos [52]. Una vez se apliquen estrategias de reducción, es deseable implementar estrategias de reúso, las cuales incluyen el uso del material de nuevo en la misma función o reusarlo para una nueva función, sin que el residuo se someta a un procesos intensivos o de mucha energía en su reutilización [53].

Cuando los procesos de reducción y reúso llegan a ser complicados dentro de la gestión de los RCD, deben ser usadas las estrategias de reciclaje antes de proponer la disposición final en escombreras. El reciclaje puede ofrecer tres beneficios: i) reducción en la demanda de nuevos recursos; ii) disminución en los costos de transporte y energía, y iii) utilización de desechos que, de otra manera, hubieran sido dispuestos en escombreras, y que implican cantidad de espacio considerable y deterioro paisajístico de la zona [54].

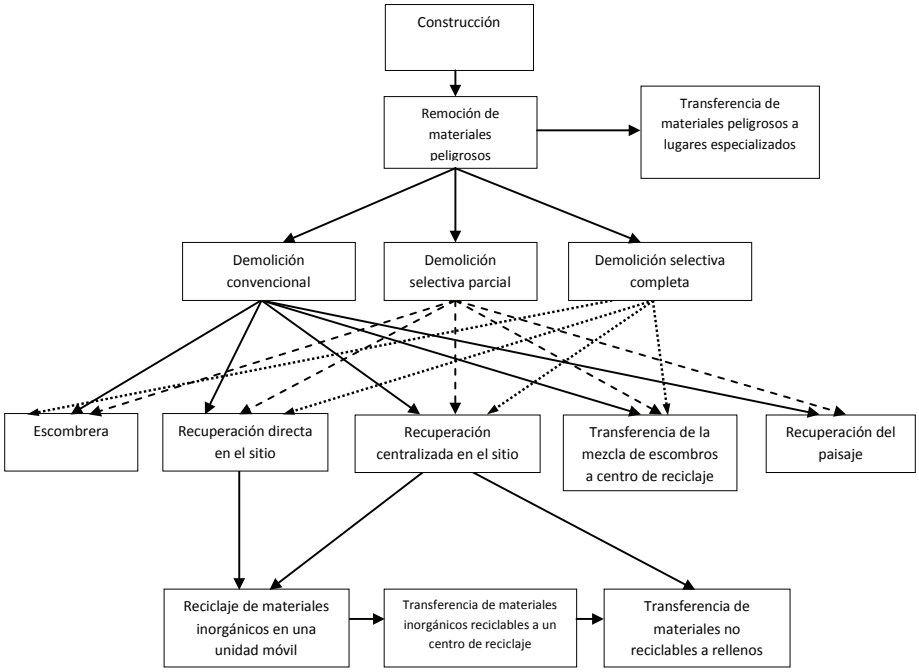

Figura 1. Diagrama de correcta disposición de residuos de demolición. Modificado de b. Kourmpanis *et al*. 2008

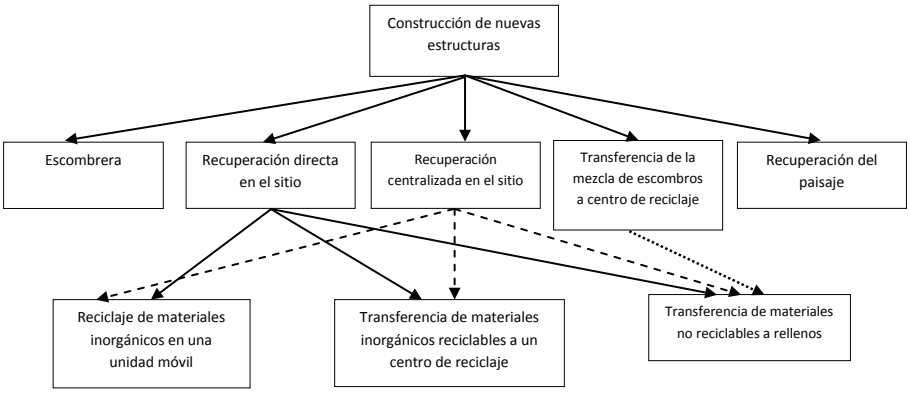

Figura 2. Diagrama de correcta disposición de residuos de construcción. Modificado de b. Kourmpanis *et al*. 2008

11. Dificultades en la implementación de gestión de RCD

Entre las principales dificultades presentadas para la implementación de gestión de RCD se encuentran: i) los altos costos iniciales, dentro de los cuales se incluyen, por ejemplo, los cursos de formación. Éstos constituyen el primer paso, son el soporte de la implementación y la compra del material necesario para la implementación de la gestión en el sitio [55]; ii) la falta de experiencia empírica sobre los métodos para soportar el desarrollo de la guía práctica del plan de gestión y la falta de conocimiento de métodos de gestión efectivos; iii) el desinterés del personal involucrado en la estrategia, falta de compromiso desde la cabeza de la organización para exigir a sus empleados el correcto uso y desarrollo del plan de implementación; y por último, iv) la poca o nula coordinación que normalmente existe entre el gobierno, la industria y el comercio, que involucran, por ejemplo, la nula financiación de iniciativas de implementación, falta de promoción de medidas de minimización de residuos, bajas tasas de disposición en escombreras [56].

12. Conclusiones

A pesar de existir una reglamentación colombiana sobre la gestión de los RCD, se evidencia la notoria debilidad en la gestión integral de ofrecer la disposición final en vertederos o rellenos sanitarios controlados como única opción para su manejo. Una de las principales premisas del ciclo es evitar generar los residuos, pero en el caso de los RCD, muchas veces resulta imposible evitarlos debido al constante crecimiento que se reporta en el sector de la construcción. Por tanto, debe pensarse en soluciones que involucren muchas más acciones que la simple disposición final en rellenos.

Se sabe que los RCD constituyen alrededor de un 20–25% de los residuos totales generados en las ciudades. En los últimos años se trabaja en encontrar formas mediante las cuales esos residuos puedan ser reutilizados y reciclados, de manera que se reduzca la cantidad producida de RCD. En los estudios realizados se ha buscado determinar la composición química y mineralógica de los RCD. Ello permitiría conocer algunas propiedades útiles de estos materiales, según la composición, de manera que puedan ser usados en la producción de nuevos materiales. Los RCD dejarían de ser residuos y pasarían a convertirse en materia prima.

Se ha tenido siempre la percepción errada de que los RCD son residuos inertes, lo cual ha hecho que sean dispuestos sin un control estricto en las instalaciones de disposición. Gracias a estudios recientes se ha concluido que estos materiales en su disposición pueden ser biodegradados. Los elementos que los constituyen y el contacto con las condiciones ambientales causan contaminación a los suelos, las aguas superficiales y subterráneas, e incluso al aire, por los gases producidos. Todo esto hace que los RCD deban tener más atención en la gestión y disposición, con separaciones desde la fuente de generación y adecuación de una mejor manera de disposición final.

13. Referencias

[1] G. Carcamo. "Gestión interna de los residuos sólidos producidos en las obras de construcción de tipo urbanístico utilizando como herramienta tecnológica de ayuda los sistemas de información geográfica". Universidad del Norte. Barranquilla. 2008

[2] IDEAM (ed.). Inventario Nacional de gases de efecto invernadero. Años 2000 y 2004. Bogotá D.C.

[3] G. Serrano, y S. Ferreira S. "Aprovechamiento de escombros para la producción de concreto". II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009.

[4] República de Colombia. Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014. Prosperidad para Todos. Dirección Nacional de Planeación, 2011.

[5] Gobernación de Antioquia. Plan de Desarrollo Departamental 2012-2015. Antioquia La más educada. Mayo 2012.

[6] Área Metropolitana del Valle de Aburrá, "Capacitación manejo integral de Residuos Sólidos". 15-may-2013. [En línea]. Disponible en: http://www.metropol.gov.co/compartidos/docs/capacitacion_manejo_integral_de_residuos_solidos.pdf.

[7] M. Weil, U. Jeske, and L. Schebek. "Closed-loop recycling of construction and demolition waste in Germany in view of stricter environmental threshold values". Waste Management & Research. 24, pp. 197-206, 2006

[8] H. Wen-Ling, L. Dung-Hung, C. Ni-Bin, L. Kuen-Song. "Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process". Resources, conservation and recycling. 37, pp. 23-37. 2002

[9] L. M. Aneiros. "Gestión de RCD y su repercusión en el desarrollo sostenible". Residuos. La Revista Técnica del Medio Ambiente. No. 102, pp. 48-60, feb-2008.

[10] F. Kreith y G. Tchobanoglous, *Handbook of Solid Waste Management*. Second. United States: McGraw-Hill, 2002.

[11] F. Yuan., L. Shen., Q. Li. "Energy analysis of the recycling options for construction and demolition waste". Waste Management. 31, pp. 2503–2511. 2011

[12] S.C. Angulo, V.M. H. Kahn, C. Ulsen. "Characterization and recyclability of construction and demolition waste in Brazil". In: Quinta Conferencia Internacional sobre Medio Ambiente e implicaciones técnicas con materiales alternativos. España. ISBN 84-95520-00-1. pp. 209-218. 2003

[13] B. Calvo, J. Parra, B. Astudillo, C. Sanabria, R. Carretón. "Áridos reciclados para hormigones y morteros. Caracterización mineralógica y química". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. Laboratorio Oficial para el Ensayo de Materiales de Construcción (LOEMCO). Madrid. 2006

[14] G. Bianchini, E. Marrocchino, R. Tassinari, C. Vaccaro. "Recycling of construction and demolition waste materials: a chemical–mineralogical appraisal". Waste Management. 25, pp. 149–159. 2005.

[15] B.E. Flynn. "Invisible threat: odors & landfill gas from C&D waste". Waste Age, Vol. 29, ene. 1998.

[16] C. Plaza, Q. Xu, T. Townsend, G. Bitton, y M. Booth. "Evaluation of alternative landfill cover soils for attenuating hydrogen sulfide from construction and demolition (C&D) debris landfills". *J. Environ. Manage.* Vol. 84, N° 3, pp. 314-322, 2007.

[17] W. J. Weber, Y.-C. Jang, T. G. Townsend, y S. Laux. "Leachate from land disposed residential construction waste". *J. Environ. Eng.*, Vol. 128, N° 3, pp. 237-245, 2002.

[18] Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. ATSDR, "Resumen de Salud Pública. Ácido Sulfhídrico". Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., jul-2006.

[19] N. Roussat, J. Méhu, M. Abdelghafour, y P. Brula. "Leaching behaviour of hazardous demolition waste". *Waste Manag.*, Vol. 28, N° 11, pp. 2032-2040, 2008.

[20] M. Remberger, J. Sternbeck, A. Palm, L. Kaj, K. Strömberg, y E. Brorström-Lundén, "The environmental occurrence of hexabromocyclododecane in Sweden". *Chemosphere*, Vol. 54, N° 1, pp. 9-21, 2004.

[21] C.M., Bedoya. "El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles". Tesis Facultad de Arquitectura Universidad Nacional. 2003.

[22] Área Metropolitana del Valle de Aburra y Corantioquia. "Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Regional del Valle de Aburrá". Abr-2006.

[23] A. Bedoya. "Propuesta para el manejo integral de los residuos de las construcción y la demolición. Caso de Aplicación: Medellín, Antioquia". Trabajo de grado, Universidad de San Buenaventura, Medellín, 2011.

[24] M. College y L. Wilder. "Construction and Demolition (C&D) Landfills: Emerging public and occupational health issues". Agency for toxic substances and disease registry. *ASTDR*, Vol. 71, No. 2, pp. 50-52.

[25] National Institute for occupational and safety health. "NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards", 15-may-2013. [En línea]. Disponible en: http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0337.html.

[26] Occupational Safety and Health Administration, OSHA. "Osha fact Sheet. Hydrogen sulfide". oct-2005.

[27] A. Arroyave Echeverri. "Enfermedades profesionales en obreros del sector de la construcción por exposición a agentes químicos". Dic. 2011.

[28] CDC - Publicaciones de NIOSH, "Prevenir la silicosis y las muertes entre los trabajadores de la construcción" (96-112) [En línea]. Disponible en: http://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/96-112_sp/. [Accedido: 27-may-2013].

[29] Ministerio de la Protección Social. República de Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. "Guía de atención integral basada en la evidencia para neumoconiosis. (Silicosis, neumoconiosis del minero de carbón y Asbestosis) (GATI- NEUMO)". 2006.

[30] J. E. Parker y G. R. Wagner. "Aparato respiratorio. Silicosis". En Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo, 1998.

[31] D. Salgar. "Otro desastre minero". Diario El Espectador, Colombia. [En línea]. Disponible en http://www.elespectador.com/impreso/nacional/articulo-248425-otro-desastre-minero. [Accedido: 15-may-2013]. 2011.

[32] M.L. Becerra. "Desastre minero ambiental" Diario El Tiempo, Colombia. [En línea]. Disponible en http://www.eltiempo.com/opinion/columnistas/manuelrodrguezbecerra/ARTICULO-WEB-NEW_NOTA_INTERIOR-10946241.html [Accedido: 1-may-2013]. 2012.

[33] IDEAM (ed.) Colombia. Información Técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Subdirección de Meteorología. 2007

[34] IDEAM (ed.) Colombia. Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, Trade Link Ltda., Bogotá D.C. 2011

[35] IDEAM (ed.) Colombia. Análisis de Vulnerabilidad para los Nodos Regionales de Cambio Climático. Bogotá D.C. 2011

[36] H., Kanamaru, C., Hiepe, S., Ramasamy. «Cambio climático» [En línea]. Disponible en: http://www.fao.org/climatechange/49383/es/ [Accedido: 10-may-2013]. 2012.

[37] D. Acosta, «Reducción y gestión de residuos de la construcción y demolición (RCD).» Tecnol. Construcción, Vol. 18, No. 2, 2013.

[38] David de Santos Marián, B. M. Delgado, y Augusto García Martínez, Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición, Segunda Edición. Madrid, España: Tornapunta Ediciones, S.L.U, 2011.

[39] L. Álvarez Alves, «Análisis medio ambiental de la gestión de los residuos de la construcción y demolición (RDC's)», 2011.

[40] Área Metropolitana del Valle de Aburra y Universidad de Antioquia. «Formulación del Plan de Gestión Integral de residuos sólidos Regional del Valle de Aburrá – PGIR-SR - Proyecciones de generación y gestión de residuos sólidos con dinámica de sistemas», mar-2006.

[41] Alcaldía de Medellín, Secretaría del Medio Ambiente. «Guía de manejo socio ambiental para la construcción de obras de infraestructura pública», 2006.

[42] W. P. Livia, Estrategias Ambientales de las 3R a las 10R., Primera Edición. Ecoe Ediciones, 2007.

[43] M. F Serrano y D. Pérez. «Propuesta de un programa de gestión integral de escombros», II simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, 24-sep-2009.

[44] C. M. Bedoya Montoya. «El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles: la ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural», 2003.

[45] G. V. C. Meola. «Gestión interna de los residuos sólidos producidos en las obras de construcción de tipo urbanístico utilizando como herramienta tecnología de ayuda los sistemas de información geográfica», Universidad del Norte, Barranquilla. Colombia, 2008.

[46] «Reciclan escombros para producir agregados de construcción». [En línea]. Disponible en:http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/reciclan-escombros-para-producir agregados-de-construccion/. [Accedido: 29-may-2013].

[47] Concejo de Medellín. «PROYECTO DE ACUERDO N° 042 DE 2008. 2008.

[48] Área Metropolitana del Valle de Aburra y Universidad de Antioquia. «Formulación del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Regional del Valle De Aburrá, Ordenamiento Ambiental de la disposición final de escombros en el Valle de Aburrá». Dic-2005.

[49] Symonds Group Ltd. «Report to DGXI: Construction and demolition management practices and their economic impacts», Brussels, Belgium, 1999.

[50] B. Kourmpanis, A. Papadopoulos, K. Moustakas, M. Stylianou, K. J. Haralambous, y M. Loizidou. "Preliminary study for the management of construction and demolition waste", *Waste Manag. Res.*, Vol. 26, N° 3, pp. 267-275, 2008.

[51] Department of Civil and Structural Engineering. "Management of construction and demolition waste". Waste Manag., Vol. 27, pp. 159 - 160, 2007.

[52] W. Lu y H. Yuan. "A framework for understanding waste management studies in construction". Waste Manag., Vol. 31, N° 6, pp. 1252-1260, 2011.

[53] X. Duran, H. Lenihan, y B. O'Regan. "A model for assessing the economic viability of construction and demolition waste recycling—the case of Ireland". Resour. Conserv. Recycl., Vol. 46, N° 3, pp. 302-320, 2006.

[54] V. W. Tam. "On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction". *Waste Manag.*, Vol. 28, N° 6, pp. 1072-1080, 2008.

[55] L. Y. Shen y V. W. Tam, "Implementation of environmental management in the Hong Kong construction industry". Int. J. Proj. Manag., Vol. 20, N° 7, pp. 535-543, 2002.

[56] K.-Y. Chan y X.-D. Li. "A study of the implementation of ISO 14001 environmental management systems in Hong Kong". J. Environ. Plan. Manag., Vol. 44, N° 5, pp. 589-601, 2001.