

*APROVECHAMIENTO Y REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN GENERADOS POR UN EVENTO ADVERSO  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES SOSTENIBLES*

*MONOGRAFÍA INVESTIGATIVA*

*ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES*

*CRISTIAN LEONARDO ROCHA OSORIO  
INGENIERO AMBIENTAL*

*UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
MANIZALES - CALDAS  
JUNIO 2015*

**APROVECHAMIENTO Y REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA  
CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN GENERADOS POR UN EVENTO  
ADVERSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES SOSTENIBLES**

*Trabajo para optar por el título de*  
**ESPECIALISTA EN PREVENCIÓN ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES**

*Director del trabajo*  
**SANTIAGO OSORIO RAMÍREZ**  
**INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**MANIZALES - CALDAS**  
**JUNIO DE 2015**

*Quiero dedicar este trabajo de grado en primera instancia a Dios por el don de la vida, a mi familia y amigos por inspirarme a construir un lugar mejor. A la Universidad Católica de Manizales, por brindarme herramientas para materializar día a día esos sueños que siempre se van transformando en realidad... Dedico este trabajo de grado a mi hermosa sobrina Ana Isabella pues será siempre mi inspiración.*

## ESTRUCTURA MONOGRAFÍA INVESTIGATIVA

### APROVECHAMIENTO Y REVALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN GENERADOS POR UN EVENTO ADVERSO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES SOSTENIBLES

#### INDICE

#### CONTENIDO

3.4 Generación de residuos de construcción y demolición - RCD.....	14
4. Referentes Conceptuales: .....	15
Reciclaje de materiales para la construcción .....	15
4.1 El concreto reciclado .....	17
5. Referentes Teóricos: .....	18
5.1 Resultados de las mezclas .....	19
5.2 Factibilidad de uso en prefabricados de frecuente utilización en la construcción .....	19
5.3 Análisis de costos comparado entre un metro cúbico de concreto natural y reciclado.....	20
.....	23
5.4 Aprovechamiento de residuos valorizables .....	24
5.5 Disposición final .....	28
6. Investigación Complementaria .....	31
Posibles Aplicaciones de los Residuos de la Construcción y Demolición.....	35
7. Aplicaciones de materiales reciclados de RCD, en Colombia.....	35
PROYECTOS AMBIENTALES: .....	35
USO DE CORTES DE EXCAVACIÓN .....	35
CANALES CON SACOS DE SUELO CEMENTO .....	35
7.2 Aprovechamiento de materias primas alternativas .....	39
CAPÍTULO III:.....	41
Metodología .....	41
Desarrollo Metodológico.....	41
Etapas del manejo de escombros.....	41
8.1 Verificación del volumen y caracterización de escombros:.....	41
8.2 Programa de reúso y reciclaje.....	41
8.3 Disposición final de los escombros .....	41

8.4 Contexto local Manizales, Caldas .....	44
8.5 Artículo 7°, Sanciones del Comparendo Ambiental.....	45
8.6 Entidades responsables de la instauración y aplicación del Comparendo Ambiental .....	46
8.7 Macroproyecto San José como máximo generador de RCD .....	46
CAPÍTULO IV:.....	53
Conclusiones .....	53
Recomendaciones finales: .....	56
Anexos .....	57
ESTUDIO DE CASO: TERREMOTO DE ARMENIA, COLOMBIA* .....	57
Manejo de residuos sólidos.....	57
Problemas en la recolección.....	58
Sitios de disposición final.....	58
Generación de escombros.....	58
Creación de oportunidades de reúso y reciclaje .....	59
ESQUEMAS DE ALTERNATIVAS PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) .....	61
Selección de Páginas Web sobre Desastres.....	63
Bibliografía: .....	66

## CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes:

En cuanto a la revisión de material previo relacionado a la temática tratada, presento texto que sirvió como línea base para el desarrollo de la monografía, el texto es “Gestión de Residuos Sólidos en Situación de Desastre” 2003, desarrollado por la Organización Panamericana de la Salud , área de preparativos para situaciones de emergencia y socorro en casos de desastre, centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente series Environmental Health in Emergencies and Disasters, preparado por la organización mundial de la salud (OMS), el cual trata sobre la generación de escombros y otros residuos a causa de un desastre, la interrupción de los servicios de recolección, la pronta saturación de los lugares de disposición final, y la gestión de residuos en albergues y campamentos, entre otros importantes tópicos. El capítulo 5<sup>to</sup> trata sobre el manejo de escombros y restos de demolición: Generación, Aprovechamiento de residuos valorizables, Acumulación temporal y Disposición final. Lo más interesante del documento en mención es el acercamiento planteado sobre los métodos para el cálculo de generación de escombros después de un desastre natural; sobre todo la gestión previa para el manejo de escombros, Recuperado de “Gestión de Residuos Sólidos en Situación de Desastre” 2014

Otro documento interesante, el cual planteo como antecedente es el realizado por Carlos Mauricio Bedoya, como trabajo de grado para optar por su título de magister en hábitat, titulado “El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats sostenibles”, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2003. Este trabajo de grado busca aprovechar los residuos de la construcción y demolición, RCD (escombros), para la incorporación de los mismos en este sector, desde un enfoque tendiente hacia la sostenibilidad.

Adicionalmente el libro “construcción sostenible para volver al camino”, Medellín - Colombia 2011 del autor mencionado anteriormente aportó unas bases sólidas para el desarrollo de la presente monografía investigativa. Todos los trabajos de grado desarrollados fueron más que suficiente para contribuir a desarrollar el tema propuesto para optar por el título de Especialista en Atención Prevención y Reducción de Desastres, girando siempre en torno a las sinergias desarrolladas con la Ingeniería Ambiental área de formación de mi competencia.

Carlos Mauricio Bedoya llama la atención hacia una sensibilidad mayor en la construcción alejándose de la irracionalidad con que muchos agentes inmobiliarios, arquitectos, constructores e ingenieros la han asumido. Pareciera un poco utópico y con ese toque romántico de cierto ambientalismo ante la prepotencia de la industria de la construcción, pero los mismos ejemplos que destaca demuestran que se están dando pasos en otra dirección y que no es una ingenuidad pensar en una pluralidad de alternativas.

*“No hay duda que el autor se ha sensibilizado y dejado permear de una visión más humanista e integral, donde equilibra el positivismo y racionalidad tan propios del campo constructivo con los aspectos sociales, culturales, políticos y ambientales, es decir, una concepción humanista”.*

## *1.2 Justificación:*

La consolidación de información a lo largo de esta monografía demuestra la relevancia del tema, pues al hablar de recursos naturales y la implicación del reciclaje y reincorporación de materiales al ciclo productivo, demuestra su alta importancia en temáticas ambientales, donde presenta gran interés la sinergia desarrollada con la gestión del riesgo y cada una de sus etapas desarrolladas, quiero comenzar esta justificación citando las palabras de la Dra. Grethel Aguilar Rojas Directora Regional UICN-Mesoamérica y la Iniciativa Caribe y el Ing. Jorge Vieto Pineres, M.Sc. Gerente de Sostenibilidad y Energía Holcim (Costa Rica) S.A. Cada vez toma más fuerza la idea de que es posible desarrollar actividades económicas dentro del concepto de sostenibilidad. Lo que conlleva la necesidad de “un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades”\*. Para que sigamos construyendo el camino que nos permita alcanzar esta meta es necesario que el ser humano tenga una visión en la que el uso sostenible de los recursos naturales sea parte fundamental del desarrollo económico y social de los pueblos. Sera indispensable en esta tarea una interacción adecuada entre la conservación del ambiente, la aplicación de tecnologías limpias, el cumplimiento de la normativa existente y la generación de ingresos distribuidos solidariamente.

La problemática relacionada a la Gestión de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) en situación de desastre, es una temática actual que involucra no solo a la Gestión del Riesgo dentro del marco del dinamismo actual de los gobiernos a nivel mundial; sino que involucra el cambio de una perspectiva a nivel socio-cultural enmarcada desde la transversalidad y complejidad del medio ambiente incorporando así los efectos del cambio climático, visto el medio ambiente como el entorno donde convergen y se desarrolla la vida del ser humano, en los estadios social, económico, político, cultural, etc. Continuando con la idea planteada inicialmente, toda esta temática deberá girar en torno a principios de sostenibilidad, la reincorporación y revalorización de residuos de la construcción y demolición (escombros) es un claro ejemplo de ello, con el desarrollo de la presente monografía quiero resaltar la importancia de abordar la temática y resaltar el trabajo previo de investigadores citados en este trabajo, pues la idealización de un mundo sostenible, es posible si todos como actores contribuimos desde cada una de nuestras posibilidades.

Dada la alta cifra de eventos adversos desde todos los niveles: local, departamental, nacional, continental y mundial, se requiere de inmediato la solución a dichos problemas, cito caso concreto el terremoto de Haití donde la limpieza de los desechos y escombros se convirtió en una prioridad urgente. La creciente cantidad de residuos médicos, en especial de hospitales de campaña improvisados, fue una preocupación mayor, pues no estaban claras las opciones de eliminación segura de este material. A esto le sumamos los desechos generados por los supervivientes, pues no se contaba con sitios acordes para su disposición final.

El caso anterior se ha repetido a lo largo de la historia, pero visto desde el enfoque de la generación de residuos de la construcción y demolición (escombros) presenta cifras exorbitantes pues la forma en que los sismos afecta la estructura de las edificaciones aporta impactos no solo ambientales, sino en todas las dimensiones del ser humano, comenzando por la pérdida de vidas y todo lo relacionado a las líneas vitales de los afectados. En días recientes los medios de comunicación informan acerca de otro gran

evento adverso esta vez en Nepal cuyo epicentro fue Katmandú, afectando gravemente la población; el peor de los escenarios se presenta cuando ocurren réplicas al interior del área afectada dificultando la atención y transporte de heridos, lesionados y cuerpos sin vida de las víctimas fatales de este evento<sup>1</sup>.

Otro caso de interés llamado a colación en la presente monografía investigativa es el ocurrido el 11 de marzo del 2011, en Fukushima Japón. Azotado constantemente por movimientos telúricos de las placas tectónicas las cuales provocan maremotos o tsunamis. La magnitud del evento telúrico provoca un accidente nuclear con las siguientes consecuencias:

- \* Vertidos radioactivos al mar
- \* Daños en las personas
- \* Generación de escombros
- \* Consecuencias políticas
- \* Consecuencias económicas

Puedo mencionar que todos los desastres naturales nos golpean cada vez más fuerte cuando dimensionamos un desarrollo urbanístico, sin tener en cuenta la concepción de desarrollo sostenible, es decir la incorporación de esquemas de ordenamiento territorial dentro de los Planes Municipales de Gestión del Riesgo, cuando se realizan intervenciones a ecosistemas estratégicos como bosques, nacimientos, ríos o quebradas para el beneficio del ser humano, sin dimensionar las sinergias existentes entre lo natural, biológico con el desarrollo urbanístico.

Otro antecedente nacional fue el ocurrido en Armenia, Quindío El 25 de enero de 1999 ocurrió en el Eje Cafetero colombiano un sismo que afectó gravemente a 29 localidades de los departamentos del Quindío, Risaralda, Caldas, Tolima y Valle del Cauca, y dejó un saldo de más de 1.000 muertos, 4.000 heridos y 250.000 damnificados. Las últimas evaluaciones estiman que se destruyeron alrededor de 20.000 viviendas y aproximadamente 60.000 más quedaron averiadas. En pocas palabras la magnitud del sismo fue tan grande que genero más de un millón de m<sup>3</sup> de RCD.

Después de las lecciones aprendidas y vivencias a lo largo de la historia como el mencionado en Armenia, Quindío en el año 1999 la ciudad comienza una transformación urbanística en relación a la forma de construir. Estas experiencias demuestran que es hora de replantear el tema del aprovechamiento y revalorización de residuos de la construcción y la demolición para la creación de estructuras civiles sostenibles.

Este tipo de temáticas son interesantes vistas desde una perspectiva de integralidad, es decir una mirada holística que involucra todos los sectores, puesto que es transversal al desarrollo del ser humano. La idealización de modelos, estrategias, metodologías para disminuir el impacto ocasionado por eventos de gran complejidad son indispensables para afrontar la crisis ocasionadas por estos fenómenos, describiendo crisis desde los componentes: ambiental, socio-cultural, financiero, político, etc. Es por ello que se habla de la transversalidad de la temática abordada.

---

*Diario el país, terremoto Nepal 2015, <sup>1</sup>*



Con la reincorporación y revalorización de residuos (escombros) de la construcción y demolición, “aparece entonces la perspectiva de lo que se ha denominado la Construcción Sostenible, aquella que, como cita el autor, es respetuosa y comprometida con el Medio Ambiente, hace un uso sostenible de la energía, minimiza sus impactos, reduce el consumo energético, no desperdicia materiales sino que reutiliza y recicla, entre otros aspectos”. Carlos Mauricio Bedoya Montoya, 2011 Construcción Sostenible para Volver al Camino.

Quiero aportar con este trabajo monográfico mi perspectiva frente a una problemática tangible a nivel mundial, con la revisión de la información consultada generaré mis aportes como profesional en formación específicamente con todos los saberes aprehendidos a lo largo de la especialización, logrando una sincronía con la ingeniería ambiental inmersa a lo largo de la temática tratada.

---

\* Definición de la Comisión de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas, <sup>2</sup>

## *2. Objetivos de la monografía*

### *2.1 Objetivo General:*

- ✓ Demostrar alternativas para el aprovechamiento y revalorización de residuos de la construcción y demolición generados por un evento adverso de gran magnitud y complejidad.

### *2.2 Objetivos Específicos:*

- ✓ Establecer la viabilidad e importancia de la reincorporación de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD), para la reconstrucción y/o construcción de estructuras sostenibles.
- ✓ Analizar la cantidad, calidad y fuente de los principales residuos generados en un evento adverso, para identificar las mejores opciones para una correcta disposición final, aprovechamiento y/o reincorporación a los ciclos productivos.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 3. Referentes:

#### 3.1 Principales problemáticas ocasionadas por la industria de la construcción a nivel mundial

- ✗ Extracción intensiva e irracional de materias primas renovables y no renovables
- ✗ Generación de residuos de construcción y demolición
- ✗ Altos consumos energéticos en edificios

#### 3.2 Extracción intensiva e irracional de materias primas renovables y no renovables

Los materiales más empleados en la industria de la construcción históricamente han sido: la tierra, la madera, el concreto, el acero y el vidrio. A excepción de la tierra y de la madera, los demás son materiales compuestos que se fabrican con materias primas no renovables. Son también los materiales predominantes en los últimos cien años en ciudades, pueblos y, desafortunadamente, hasta en los campos. Las más recientes soluciones de vivienda para campesinos e indígenas del departamento de Antioquia, están siendo construidas en bloques de concreto, ladrillos y tejas de asbesto cemento. (Salazar, 1972, 1998; Bedoya, 1998, 2003).

#### 3.3 El concreto

Según el científico colombiano Alejandro Salazar Jaramillo, al siglo XX bien podría llamársele la edad del concreto. Este material compuesto cada día crece más en popularidad, basta con observar los proyectos de vivienda masiva que se desarrollan actualmente en una ciudad como Medellín, para concluir que los sistemas constructivos basados en muros macizos de concreto son representativos. (Escalante, 2006).

A la utilización de este material en viviendas y edificios del tipo comercial e institucional, debe sumársele su empleo en las grandes obras de ingeniería como puentes, intercambios viales, centrales hidroeléctricas y aeropuertos. También se emplea a gran escala en mobiliario urbano, andenes y placas polideportivas.

Su uso tan generalizado, se debe a las muy óptimas propiedades físicas y mecánicas que el concreto ofrece<sup>2</sup>. Además de brindar estabilidad en el tiempo y una casi inagotable fuente de formas arquitectónicas, su producción puede hacerse en obra o premezclarse en empresas especializadas en este servicio. A sus bondades desde el punto de vista técnico y económico, desafortunadamente se les presentan unas debilidades que desde el punto de vista ambiental, son críticas. Éstas son:

- Para la confección del concreto se requieren materias primas no renovables, principalmente agregados. Estos ocupan más del 70 % del total de la masa.
- La extracción de sus materias primas se dan –en el caso colombiano– en minas a cielo abierto, siendo este un factor de enorme deterioro ambiental ya que

desplaza la flora y la fauna de estos lugares, altera el paisaje con daños casi irreversibles en la mayoría de las veces y puede dejar estériles los suelos.

- La producción de estos agregados no solo afecta el área que rodea la mina, sino que a través de las corrientes de viento, el material particulado se transporta por varios kilómetros contaminando el aire y causando infecciones de respiración aguda.
- Cuando los sitios de explotación de las canteras están ubicados en el área metropolitana, los edificios cercanos ven afectada la vida útil de los recubrimientos de sus fachadas, por un fenómeno conocido como abrasión eólica (CONGET, 2003).
- Emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

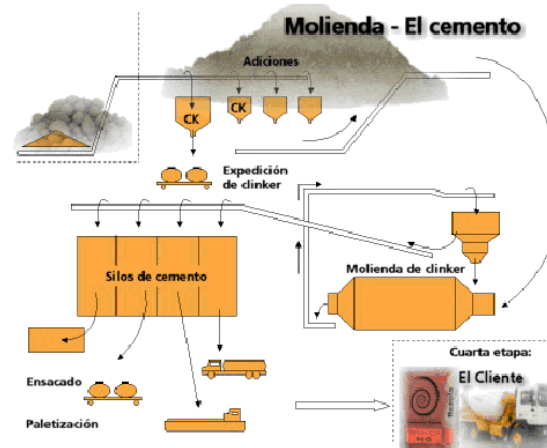


Figura N° 1. Molienda del cemento, proceso productivo. Recuperada producción de cemento en Perú

Lo anterior hace necesario el diseño de nuevos materiales o de nuevas formas de confeccionar estos materiales tan tradicionales, que permitan desarrollar la actividad edilicia en armonía con el ambiente. Las pautas para lograr este noble propósito, están contempladas en el marco de una construcción sostenible.

El concreto es la mezcla del cemento, agregados inertes (arena y grava) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo formando una piedra artificial. Los elementos activos del concreto son el agua y el cemento de los cuales ocurre una reacción química que después de fraguar alcanza un estado de gran solidez, y los elementos inertes, que son la arena y la grava cuya función es formar el esqueleto de la mezcla, ocupando un gran porcentaje del volumen final del producto, abaratándolo y disminuyendo los efectos de la reacción química de la "lechada".

Este material de construcción es el más extensamente utilizado por varias razones, primero, porque posee una gran resistencia a la acción del agua sin sufrir un serio deterioro, además de que puede ser moldeado para dar una gran variedad de formas y tamaños gracias a la facilidad de trabajar la mezcla, siendo esta de gran popularidad entre los ingenieros civiles por su pronta disponibilidad en las obras y su bajo costo.<sup>3</sup> Durante el proceso de fraguado y de endurecimiento del concreto ocurre un cambio de volumen conocido como contracción por fraguado y que generalmente se expresan en unidades de longitud en vez de hacerlo en unidades de volumen, debido a la comodidad y fácil manejo de las unidades longitudinales.<sup>4</sup>

Esta contracción se debe principalmente a la pérdida de humedad durante el fraguado, donde se podría decir que el concreto contiene agua en cinco diferentes estados:

- El agua de cristalización o combinada químicamente.
- El agua de gel.
- El agua intercrystalina o zeolítica.
- El agua absorbida, estando adherida a los granos del árido y pasta formando meniscos.
- El agua capilar o libre.

De estos cinco estados, los tres primeros pueden evaporarse por calentamiento a temperaturas más elevadas, de manera en que ascienden en la lista y los dos últimos pueden sufrir evaporaciones a temperatura normal.

Pero además hay otros factores que influyen en este fenómeno como son:

- El tipo, clase y categoría del cemento obteniendo una mayor contracción en los de mayor resistencia y los de fraguado rápido.
- A mayor finura del cemento tenemos una contracción mayor.
- La presencia de finos en el concreto, provenientes de los áridos o de adiciones inertes que posee el cemento, resultando en un apreciable aumento de la contracción.
- La cantidad de agua de amasado está relacionada directamente con la contracción, aumentando con la relación agua / cemento, es decir, a mayor agua se obtendrá mayor contracción lineal.
- Dependiendo del espesor del elemento que se encuentre en contacto con el medio ambiente la contracción se afectará de manera directamente proporcional por el efecto de desecación con relación al volumen de la pieza.
- El concreto armado tiene una menor contracción que el concreto en masa debido a que el acero de refuerzo se opone a esta acción. A mayor acero de refuerzo tenemos una menor contracción.

Aún con los avances en la tecnología del concreto, no se ha podido fabricar ningún tipo de mezcla que no se vea afectada por la contracción, aún con los denominados cementos sin retracción y cementos expansivos, que en realidad lo único que hacen es tratar de compensar esta contracción con una expansión igual o superior a base de yeso y otras materias como el polvo de aluminio, tratándose en estos casos de cementos especiales de empleo muy limitado y que además necesitan de un riguroso control por lo que no es recomendable su uso.

Los efectos de la contracción y las restricciones del concreto provocan esfuerzos de tensión y, por consiguiente, agrietamiento. Y aun cuando se cuenta con juntas de contracción este fenómeno puede palparse, pero no puede evitarse de forma total, de manera que habrá veces que se podrán aceptar estas fisuras siempre y cuando no perjudiquen a los elementos estructurales.

---

3 Kumar Mehta y Paulo Monteiro. *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Págs. 1 y 2.

4 Portland Cement Association. *Proyecto y control de mezclas de Concreto*. Pág. 109

Para la contracción existen valores medios determinados en el caso de que no sea necesario una evaluación más precisa, obteniéndose para el caso de concreto en masa de 0.35 mm por metro y para el concreto reforzado de 0.25 mm por metro.

Sin embargo el uso de fibras distribuidas aleatoriamente ha demostrado ser un método efectivo para resistir la propagación de las grietas en materiales cementantes.

Estas fibras no alteran significativamente la contracción libre del concreto, pero pueden aumentar considerablemente la resistencia al agrietamiento y disminuir el ancho de la grieta. Se llama concreto reforzado con fibra a la mezcla de cemento, grava, arena, agua y fibras discretas discontinuas. Varios investigadores han intentado minimizar el agrietamiento usando diferentes tipos de fibras como las de acero, polipropileno e incluso haciendo combinaciones entre estas, seleccionando distintas dosificaciones hasta encontrar el porcentaje necesario para disminuir la contracción, analizando las propiedades del concreto como su trabajabilidad y su resistencia mediante pruebas de laboratorio como la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura entre otras pruebas experimentales de laboratorio.

### *3.4 Generación de residuos de construcción y demolición - RCD*

Las ciudades del mundo, sin distingo alguno de su grado de desarrollo, experimentan dos problemas que además de crecientes, ocasionan presiones y coyunturas ambientales de alta significación para su óptimo desenvolvimiento. Ellos son: la contaminación del aire por el transporte urbano y la generación de residuos a todo nivel. Dentro del segundo aspecto, la generación de residuos a todo nivel, se encuentran cobijadas las actividades de la construcción y la demolición.

Al ejecutar un puente, una vía o un edificio, se llevan a cabo actividades de movimiento de tierra y excavaciones. En estas actividades se generan los primeros residuos de la obra. Luego se producen otro tipo de residuos que son catalogados como inertes y pétreos, identificándose las siguientes tipologías:

- Restos de concreto.
- Restos de ladrillo y mortero de pega.
- Restos de material cerámico.
- Restos de tuberías plásticas.
- Madera.
- Empaques de materiales.

Cabe anotar, que los dos primeros tipos de residuos son los predominantes en Colombia y parte de América Latina, dadas sus técnicas de construcción similares.

En la demolición de obras antiguas o que han sufrido daños irreparables por causas externas, se generan obviamente cantidades de residuos que suelen ser más variados. Por ejemplo, a las anteriores, se les suman también restos de manto asfáltico, tejas de arcilla cocida, fibro-cemento, aluminio y morteros de revoque. Estos residuos son más difíciles de tratar que los producidos en la construcción nueva, porque al no contar con programas de recuperación de escombros, no se demuele selectivamente, sino que se

vierten a un mismo sitio, contaminando los susceptibles de ser aprovechados y disminuyendo así la posibilidad de su reciclaje o reutilización.

Para tener una idea de la magnitud del problema de los residuos generados por la construcción y la demolición, basta con referenciar que en Medellín, con aproximadamente dos millones doscientos mil habitantes, se generan más escombros que residuos sólidos urbanos. Las cantidades son las siguientes:

- Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en Medellín: 2 400 Ton/día.
- Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Medellín: 6 900 Ton/día<sup>5</sup>.

Lo preocupante de estas cifras, es que no se implementan medidas rigurosas para reducirlas, como tampoco para su valoración y recuperación como nuevas materias primas. Sin embargo, el estudio de Asociación Social Popular (ASOP) y la Secretaría del Medio Ambiente del Municipio de Medellín, da luces para las estrategias a desarrollar en aras de minimizar el problema, resaltándose la necesidad de ejecutar procesos de construcción sostenible más reflexivos, a través de la valoración de residuos: *“Es clara la posibilidad de valorizar los RCD a través de prácticas como la reutilización y el reciclaje. Se pueden obtener materiales compuestos de uso masivo en la construcción, tanto a nivel estructural como de baja sollicitación físico-mecánica.”* El mismo estudio resalta en una de sus conclusiones: *“Con una adecuada gestión y valoración de los escombros urbanos, la ciudad gana en paisaje y en competitividad económica, pues las normas ambientales internacionales cada día son más exigentes con el origen y la composición de los productos”*.

Queda claro que el asunto de los residuos generados por la actividad de la construcción, es crítico y merece ser tratado profesionalmente por académicos, empresarios y autoridades, por lo cual el presente texto, contempla este tópico en sus contenidos posteriores.

Como referente local en la ciudad de Manizales el promedio de escombros anuales depositados por el municipio oscila entre 100.000 m<sup>3</sup> de RCD, para el 2014 la cifra fue de 101.000 m<sup>3</sup> Actualmente la mayor cantidad de residuos de la construcción y demolición generados en la ciudad de Manizales, se debe en gran medida al macroproyecto de renovación urbanística al interior del barrio San José.

#### **4. Referentes Conceptuales:**

##### *Reciclaje de materiales para la construcción*

Para comprender un poco más la temática abordada es pertinente aclarar los siguientes conceptos, para crear contexto acerca de los temas tratados, veamos los siguientes conceptos:

**Reciclaje:** por reciclaje entendemos el tratamiento o manipulación de los desechos, de forma artesanal o industrial, para crear un componente o un material nuevo, una materia prima.

Como ejemplo el caso del concreto u hormigón, del cual, una vez demolido, se recupera el árido y la pasta cementante tras un proceso industrial para confeccionar nuevos concretos. Así mismo, el papel cumple un ciclo de reciclaje interesante, ya que con las cantidades de papel descartadas en oficinas, hogares y colegios, se fabrican nuevos papeles que van a sustituir en un porcentaje entre el 50 % y el 80 % recursos naturales como los árboles talados para la obtención de la pulpa, esto quiere decir, que una tonelada de papel reciclado, bien puede tener entre 500 kg y 800 kg de material reciclado, quedando entonces un porcentaje bajo de material extraído por tala de árboles, dando así un mayor margen de tiempo para la recuperación de bosques.

**Reutilización:** se puede definir la reutilización, como el uso de un material de desecho, sin manipulación ni tratamiento posterior alguno, a excepción de su saneado, limpieza o tratamiento superficial, para una función igual o parecida a la que tenía anteriormente.

La reutilización la podemos ejemplificar con la actividad de “quitar y poner” en el caso de la demolición de una construcción antigua, en la cual sus elementos tales como puertas, ventanas y rejas en buen estado después de ser desmontadas cuidadosamente, son instaladas en otra edificación, necesitándose solo de la limpieza de éstos para su ubicación en otro proyecto diferente al ocupado inicialmente.

**Reciclable y reciclado:** un material puede ser reciclable pero no necesariamente reciclado; así mismo, un material puede ser, además de reciclable, reciclado. Esto quiere decir que un pliego de papel obtenido de la celulosa de la madera es reciclable, dado que una vez sea utilizado y desechado en la oficina o el colegio, podrá transformarse en materia prima para un nuevo ciclo, allí se convierte en un material reciclado, pues ha pasado por un proceso manual o industrial de reciclaje. Este nuevo producto es ya un material reciclado y también tendrá la posibilidad de ser reciclable. Una analogía similar se puede establecer con un agregado grueso para confeccionar concreto. Cuando éste proviene de la cantera, no es reciclado, pero sí tiene todas las posibilidades de ser reciclable. De tal manera que una vez los residuos provenientes de la demolición de una estructura de concreto, son valorados como agregados para una nueva mezcla, tendremos en nuestro proyecto un material que además de ser reciclado tiene la factibilidad de ser reciclable. En síntesis, el material reciclable es aquel que una vez cumple su vida útil, presenta un potencial de ser valorado como posible nueva materia prima a través del reciclaje. En tanto que un material reciclado es aquel que una vez clasificado como residuo o desecho, es valorado y transformado como materia prima para ser incluido en un nuevo ciclo de producción.

**Composición de los residuos de construcción:** Se entiende por residuos de la construcción todos los generados en una actividad de este tipo, incluyendo los de madera y escombros. Dentro de los escombros, encontramos residuos de concreto de



repellos y pegas, pedazos de ladrillos y bloques de tierra contaminada (Programa CYMA, 2007).

**Cuadro 1. Composición de los escombros de construcción**

Material	Porcentaje
Rebabas de concreto	20
Tierra contaminada (mezclada con otros materiales)	40
Sobrantes de concreto	5
Ladrillos (pedazos pequeños)	25
Pedazos de bloque	5
Otros	5

Fuente: Programa CYMA, 2007, p. 40

*Cuadro N° 1. Composición de los escombros de construcción*

#### **4.1 El concreto reciclado**

Cuando se exponen importantes ventajas de la reutilización y el reciclaje de escombros para confeccionar nuevos concretos, es indudable que el beneficio ambiental para los ecosistemas urbanos es evidente y cuantificable; basta con mencionar que si se reciclara cuando menos el 40 % de los residuos de construcción y demolición producidos en Medellín diariamente, se estaría hablando de unas 2400 toneladas que no llegarían a puntos negros, ni a rellenos sanitarios y, que además, no se estarían extrayendo de las laderas altamente afectadas del Valle de Aburrá. Pero, de acuerdo a las dinámicas de una sociedad en la cual hasta ahora el factor económico predomina por encima del factor ambiental, se hace necesaria la comprobación técnica y económica acerca del desempeño de un material que utilizará escombros como agregados. Tal comprobación se basa fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Resistencia del concreto confeccionado con escombros al esfuerzo de la compresión a los 28 días de edad;
- Factibilidad de uso en prefabricados de frecuente utilización en la construcción;
- Y análisis de costos comparado entre un metro cúbico de concreto natural y reciclado.

Para tal efecto, se mostrarán los análisis acerca del comportamiento físico y mecánico de un concreto, cuyos agregados naturales, han sido reemplazados en un 100 % por áridos provenientes del reciclaje de escombros, así como su viabilidad económica. El objetivo general es demostrar la viabilidad técnica y económica de un concreto no convencional, confeccionado con agregados provenientes del reciclaje de escombros, de tal manera que se pudiera ubicar la actividad de la construcción en un marco de sostenibilidad urbana.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Bedoya Montoya, Carlos Mauricio (2011), *Construcción sostenible para volver al camino*

## 5. Referentes Teóricos:

### Resistencia del concreto confeccionado con escombros al esfuerzo de la compresión a los 28 días de edad

Se seleccionaron tres tipos de escombros:

- Concreto resultante de una demolición.
- Ladrillo y mortero de pega resultante de una demolición residencial.
- Material cerámico proveniente de una industria de la ciudad de Medellín, tales como baldosas rotas durante su producción.

Luego de almacenar las cantidades de escombros recolectadas, además de los áridos naturales para elaborar la mezcla de control, se procedió a triturarlas por separado, empleando una máquina trituradora de mandíbulas graduada para un tamaño máximo de 19,05 mm (3/4"). Una vez triturado el material se separó en árido grueso y fino, tomando como árido grueso, aquel que queda retenido en la malla # 4: 4.75mm de apertura, inclusive y como árido fino, el material que pasa por la misma malla, según los parámetros técnicos de agregados para concreto. Seguidamente se realizaron los ensayos correspondientes tanto de los áridos como del cemento. El cemento que se utilizó para esta investigación fue Portland normal, ASTM tipo 1.

A continuación, se muestran los resultados más relevantes de los ensayos practicados a los áridos reciclados y a los agregados naturales para la mezcla de control.

#### Porcentaje de absorción de los áridos finos

Muestra	% de absorción
Control	3 , 45
Reciclado concreto	8 , 34
Reciclado cerámicos	5 , 66
Reciclado ladrillo y mortero	4 , 82

#### Porcentaje de absorción de los áridos gruesos

Muestra	% de absorción
Control	1 , 26
Reciclado concreto	5 , 35
Reciclado cerámicos	5 , 24
Reciclado ladrillo y mortero	15 , 10

Cuadro N° 2. Porcentaje de absorción de los áridos finos

- En los áridos finos reciclados, se presenta una menor densidad aparente seca comparada con el árido natural. Se puede observar una mayor absorción de agua por parte de los finos reciclados en comparación con el árido natural, en la mayoría de los casos sobrepasan en más del 200 % al elemento de control.
- Los porcentajes de absorción de los áridos gruesos reciclados son muy elevados respecto al cascajo natural, notándose en las partículas de la mezcla de ladrillo y mortero de pega los más altos porcentajes. Las superficies de las muestras recicladas, mostraron porosidades notorias y en gran cantidad, además de las grietas presentadas en la pasta de cemento que ya se ha hidratado para los casos de concreto y mortero, estos factores explican la elevada absorción de agua por parte de estos materiales.

### 5.1 Resultados de las mezclas

Se diseñaron mezclas con una relación agua/cemento de 0,488 por resistencia. Los agregados fueron secados para observar el comportamiento de la mezcla fresca y la concordancia con los elevados porcentajes de absorción presentados por los áridos reciclados. En ninguna de las mezclas se utilizaron agentes inclusores de aire, ya que se trata de preparar concretos lo más estándar posible en el campo de la construcción, donde los aditivos especiales son usados con poca frecuencia.

En todas las mezclas, a excepción de la de control, tanto el árido fino como el árido grueso fue sustituido en su totalidad por material reciclado.

#### Resistencia al esfuerzo de compresión a diferentes edades\*\*

Muestra	7 días ( MPa )	28 días ( MPa )
Control	14,12	21,56
Reciclado concreto	13,90	21,53
Reciclado cerámicos	13,10	20,47
Reciclado ladrillo y mortero	10,24	17,45

\*\* Se diseñó para una resistencia a los 28 días de 21 MPa.

Cuadro N° 3. Resistencia al esfuerzo de compresión a diferentes edades.

### 5.2 Factibilidad de uso en prefabricados de frecuente utilización en la construcción

Los resultados, llevaron a confeccionar prototipos de elementos prefabricados de uso común en la construcción en la ciudad de Medellín, como es el caso de los bloques huecos de hormigón para muros, bordillos para andenes y corta-goteras para el remate de paredes expuestas a la intemperie.

Para estos prefabricados se escogió la mezcla cuyos áridos eran reciclados de concreto demolido, por ser este un tipo de escombros abundante. Para comprobar su viabilidad técnica, se fallaron tres muestras de un bloque hueco de hormigón con dimensiones de 10 × 20 × 40 cm de acuerdo a lo establecido por la Norma Técnica Colombiana 247. Esta norma establece que los bloques para ser utilizados en muros de carga deben presentar una resistencia a la compresión de sección bruta igual o mayor a 4,0 MPa en promedio.

A continuación se muestran las resistencias obtenidas de los elementos prefabricados reciclados.

### **Resistencia a la compresión de los bloques reciclados a los 28 días**

Muestra	Bloque N°	Resistencia área bruta MPa
Bloque 10 × 20 × 40 cm	1	4,5
Bloque 10 × 20 × 40 cm	2	4,8
Bloque 10 × 20 × 40 cm	3	5,0
<b>Promedio</b>	-	<b>4,8</b>

*Cuadro N°4. Resistencia a la compresión de los bloques reciclados a los 28 días*

Según los resultados obtenidos del fallado de los bloques reciclados a la edad de 28 días, éstos cumplen con los requisitos para ser empleados en la construcción como elementos de mampostería, tanto de uso exterior con revestimiento, como interior sin necesidad de revestimiento.

Queda claro que el concreto reciclado, confeccionado con agregados provenientes del reciclaje de escombros, puede ser utilizado en obras de construcción tanto estructural como no estructural. Su resistencia a la compresión a nivel de concreto para ser empleado en columnas y vigas, como también a nivel de prefabricados como bloques huecos estructurales, lo hacen viable según la NSR-98 para desempeñarse ante movimientos sísmicos y ante las sollicitaciones normales de un edificio, como son, las cargas muertas y vivas que actúan sobre éste.

#### ***5.3 Análisis de costos comparado entre un metro cúbico de concreto natural y reciclado***

Aunque el concreto reciclado con escombros presenta un balance ambiental y técnico positivo, susceptible entonces de ser empleado en la construcción de nuevas obras y en la remodelación de aquellas existentes, aún no es motivo suficiente para que se introduzca como un material de uso normal en una comunidad, ya que tanto para habitantes, constructores y autoridades municipales es fundamental el factor económico, es decir, el costo que un material actualmente no convencional tendrá en el mercado. Esta es una realidad a la que no se le puede dejar de lado; en tal sentido se mostrará a continuación un análisis económico del concreto reciclado, analizando estrictamente lo concerniente a su confección, pues el análisis de los escombros y su flujo en la ciudad, son su valor agregado. Hay que aclarar que, al igual que en el caso de los bloques, para

el análisis económico, se escogió la mezcla con áridos reciclados de concreto demolido, por ser representativo en nuestro medio y mostrar un óptimo desempeño durante los ensayos de laboratorio.

#### Costo por metro cúbico de concreto normal

1:2:3 Rel A/C mezclas = 0,45	
Cemento:	7 sacos · m <sup>3</sup> (350 kg) = 7 · \$15 500 = \$108 500
Agua:	350 · 0,45 = 0,158 · \$1 071 = \$169
Arena:	700 kg/1 800 kg/m <sup>3</sup> = 0,39 · \$24 200 = \$9 438
Cascajo:	1 050 kg/1 800 kg/m <sup>3</sup> = 0,58 · \$21 700 = \$12 586
Preparación:	Mano de obra = \$11 500
<b>Total: \$ 142 193</b>	

Cuadro N° 5. Costo por m<sup>3</sup> de concreto normal. Estudio realizado en el 2006

#### Costo por metro cúbico de concreto reciclado

1:1,8:1,9 Rel A/C mezclas = 0,45	
Cemento:	7 sacos m <sup>3</sup> (350 kg) = 7 · \$15 500 = \$ 108 500
Agua:	350 · 0,45 = 0,158 · \$1 071 = \$ 169
Arena:	630 kg/1 500 kg/m <sup>3</sup> = 0,42 · \$10 976 = \$ 4 610
Cascajo:	665 kg/1 500 kg/m <sup>3</sup> = 0,44 · \$10 976 = \$ 4 829
Preparación:	Mano de obra = \$11 500
<b>Total: \$ 129 608</b>	

Cuadro N° 6. Costo por m<sup>3</sup> de concreto reciclado. Estudio realizado en el 2006

Los costos por metro cúbico de cada tipo de concreto, arrojan un ahorro del 8,85 % al elaborar concretos reciclados en comparación con un concreto natural o tradicional. Este ahorro, es producto de la obtención del material de desecho para luego ser reciclado, aunque debe aclararse que, de acuerdo a las resistencias obtenidas, en ocasiones será recomendable incrementar la cantidad de cemento en el caso de los materiales reciclados para elevar la resistencia al nivel del concreto natural, por lo cual su costo bien podría ser igual en ambos casos, con la ventaja para el material ecológico, de poseer un valor agregado representado en sus ventajas ambientales.

Analizando los resultados obtenidos, se puede deducir que la posibilidad desde los aspectos técnico y económico para el concreto reciclado como material de construcción es alta. Pero queda a su vez el reto por llevar este ejercicio a la escala de un modelo de gestión a nivel urbano, donde se analicen las interrelaciones entre el desarrollo de un material no convencional y las políticas de manejo de residuos de la municipalidad, las

posibilidades desde el punto de vista de recursos y la participación de los diferentes actores de los ecosistemas urbanos.

A continuación, se ilustra el proceso de valoración de escombros que se llevó a cabo durante el año 2004 entre la División de Estudios Técnicos e Investigaciones-DETIN de ASOP, la Escuela de Construcción de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y la Fundación SERVIVIENDA, esta última dedicada a la producción de viviendas prefabricadas de concreto. En este caso se implementó un modelo de gestión integral de residuos que recicló el 100 % de los escombros generados en la producción de los paneles prefabricados de concreto.



*Fotografía 1. Escombros generados en la elaboración de paneles prefabricados.*



*Fotografía 2. Trituración de los escombros en el CIMEX de la Universidad Nacional.*



*Fotografía 3. Agregados reciclados para una nueva mezcla.*



*Fotografía 4. Almacenamiento de paneles prefabricados reciclados.*



*Fotografía 5. Armado de la vivienda prefabricada confeccionada en concreto reciclado.*



*Fotografía 6. Aspecto exterior de la vivienda prefabricada en paneles de concreto reciclado.*

Al respecto cito el admirable trabajo que el profesor y científico Alejandro Salazar Jaramillo, viene desarrollando desde la década de los setentas, alcanzando actualmente un importante grado de desarrollo en cuanto a la producción de materiales cementicios obtenidos a partir del reciclaje de residuos. Su aporte en el diseño de materiales reciclados para la construcción, hoy puede verse reflejado en cientos de construcciones en el Valle del Cauca, especialmente, en estratos socioeconómicos bajos, como también, en empresas dedicadas enteramente a la confección y comercialización de diversos materiales ecológicos. Algunos de los productos son precisamente cementos reciclados que, según su composición química, podrán emplearse en la elaboración de morteros o concretos, logrando resistencias acordes con las exigidas por el ICONTEC y el ACI<sup>7</sup>, con costos que oscilan entre un 40 % y un 50 % respecto de un cemento tradicional.



*Fotografía 7. Residuos industriales para la elaboración de cementos reciclados. Ing. Alejandro Salazar Jaramillo. Ecomat, Cali.*



*Fotografía 8. Horno para la calcinación de residuos industriales. Ecomat*

En este interesante tema de los cementos reciclados, el semillero de investigación en Ciencias y Tecnologías de la Construcción-CITEC, adscrito a la facultad de arquitectura

<sup>7</sup>American Concrete Institute.

ha venido desarrollando una propuesta en cuanto a la elaboración de cementos ecológicos, obtenidos a partir del reciclaje de residuos cerámicos. Durante el año de 2006 se desarrolló el 50 % de la investigación, etapa en la cual, se establecieron los tipos de residuos óptimos como materia prima, también su tamaño de grano y se realizaron los ensayos de tiempo de fraguado y consistencia, normal en morteros. En cuanto al ensayo de consistencia normal, es alentador saber que la mezcla confeccionada con el 50 % de cemento reciclado, estuvo dentro del rango exigido por las normas técnicas colombianas; el comportamiento durante el mezclado fue satisfactorio; en cuanto a su coloración, se notó un predominio del tono terracota, debido a la materia prima empleada obtenida del reciclaje de cerámicos cocidos. En la segunda etapa de la investigación, se espera realizar ensayos de resistencia a la compresión y análisis de costos.

#### *5.4 Aprovechamiento de residuos valorizables*

Las posibilidades de valorización y aprovechamiento por reutilización, reciclaje o co-procesamiento de los residuos de construcción y demolición dependen de los mercados de materiales individuales de los residuos, y de la habilidad para procesar los que no han sido seleccionados o para separar cada material. Los materiales que predominantemente se encuentran en los escombros y que pueden ser aprovechados en la fabricación de agregados reciclados pertenecen a dos grupos:

- a) Materiales compuestos de cemento, cal, arena y piedra: concretos, argamasas y bloques de concreto.
- b) Materiales cerámicos: tejas, tubos, ladrillos, baldosas.

Un tercer grupo de residuos no aprovechables en agregados reciclados, pero que pueden tener un destino de reciclaje o co-procesamiento en otras industrias está compuesto por materiales como: tierra, yeso, metal, madera, papel, plástico, cartón, materia orgánica, hules, telas, vidrio y anime. De estos materiales, algunos pueden ser seleccionados y encauzados para otros usos. Así, los envases de papel y cartón, madera, y el mismo vidrio y metal pueden ser recogidos para reuso, reciclaje o valorización por co-procesamiento.

La composición de los escombros depende de varios factores como, por ejemplo, las características regionales (geológicas y morfológicas); hábitos y costumbres de la población; nivel económico etc. (Asociación para la Defensa del Ambiente y de la Naturaleza).

El reciclaje de los escombros urbanos puede representar ventajas socioeconómicas si va acompañado por una serie de medidas como la reducción o eliminación de descargas ilegales (la limpieza de botaderos y de las quebradas obstruidas puede llegar a tener altos costos).

Existen ventajas importantes de carácter ecológico, puesto que los escombros reciclados sustituyen a los agregados tradicionales provenientes de reservas naturales que muchas veces son devastadas en la actividad de extracción.

También existe la posibilidad del reciclaje de los escombros en el propio sitio generador. Los fragmentos y restos de material cerámico, concretos y argamasas pueden ser reutilizados en la propia construcción generadora de los escombros, luego de ser triturados con equipo apropiado. Además, puede darse el reaprovechamiento en la obra de los escombros, utilizándolos de nuevo para llenar zanjas, pisos, etc. En estos casos, la preparación de los materiales reciclables exige mayor cuidado, ya que este tipo de



elementos debe tener un alto contenido de pureza para que puedan ser vinculados con éxito a los procesos productivos. Debido a lo anterior, su escogencia, selección y limpieza debe hacerse a diario en la obra, junto con las actividades de utilización de los mismos materiales.

Con respecto a las opciones de reciclaje, el material recuperado se puede usar en obras de mejoramiento del sistema de manejo de residuos (recubrimiento de rellenos o construcción de caminos en el relleno sanitario), en obras civiles (vías de acceso en la zona afectada, diques, taludes, reforzamiento de riberas, etcétera). Para conformar un programa de reutilización y reciclaje, es necesaria la evaluación del potencial de reutilización y reciclaje, así como un análisis económico de la reutilización y reciclaje frente a un desarrollo de un programa de rellenos con residuos sólidos.

Se recomienda dar seguimiento a programas que permitan conocer cuáles son los materiales que puedan aprovecharse; el equipo necesario para su recolección y transporte; el valor aproximado de los materiales recuperados o reciclados y el mercado para colocarlos; la participación de la comunidad; y la viabilidad económica, social y ambiental del programa de aprovechamiento. (Organización Panamericana de la Salud, 2002).

En el establecimiento del programa de aprovechamiento se requiere una identificación y un manejo selectivo de los principales componentes de los residuos de escombros y de los restos de demolición. Por ejemplo: Materiales o subproductos valorizables en buen estado que se pueden reusar. Entre los cuales encontramos: ventanas, puertas, electrodomésticos, accesorios y equipos de cocina y sanitarios (Organización Panamericana de la Salud, 2002). Otros ejemplos son:

- **Asfalto:** La mayor parte de los residuos de asfalto proceden de proyectos de repavimentación. La mayor parte del pavimento reutilizado se procesa para formar una capa de base de carretera, pero hasta el 40% puede incluirse en nuevos pavimentos. El pavimento de asfalto se procesa solo o con el hormigón y otros escombros; se rompe la mezcla, se separan magnéticamente los metales féreos y se criba el material roto al tamaño deseado. Al material tamizado se le añaden otros escombros rotos y cribados, y se utiliza como capa de base de carreteras, o se mezcla con aglomerante asfáltico fresco, para fabricar material nuevo de pavimentación.
- **Hormigón:** La mayor parte del hormigón recuperado procede de carreteras, puentes y cimentaciones; se procesa para usarlo como capa de base de carreteras, áridos de pavimentos asfálticos y como sustituto de grava en el árido de hormigón nuevo. Los áridos recuperados deben ser competitivos respecto a los materiales nuevos y los procesadores pueden mantener precios bajos, mediante el cobro de tarifas de vertido para materiales de hormigón.
- **Madera:** Los residuos de madera procedentes de la construcción o demolición provienen de estructuras y encofrados de madera laminada y de conglomerado, y de madera contaminada con pintura, amianto o material de aislamiento. Como la mayoría de los residuos de madera son procesados para producir combustible o cubrimiento en paisajismo, los procesadores normalmente aceptan solamente madera limpia. Los residuos de madera se trituran en una cuba trituradora u otras trituradoras comerciales para madera, y se pasan a través de una clasificadora o tropel, donde se separan las piezas grandes. Los metales féreos

se separan magnéticamente y los finos (materiales pequeños a menudo vendidos para enmiendas de suelo) se separan mediante cribado.



*Ejemplo de un equipo móvil con trituradora de impacto. Los materiales aptos para este grupo móvil son las piedras naturales, escombros, asfalto y gravilla*

*Fotografía N° 9. Equipo móvil con trituradora de impacto*

- Los residuos de madera se categorizan según la fuente de generación: residuos de madera cosechada (generados por la limpieza del terreno y las actividades de gestión forestal); rechazos de fábrica de residuos de productores primarios, como fábricas de pulpa y tabla; de productores secundarios, tales como fabricantes de muebles y ebanistas; paletas y residuos de contenedores; residuos de construcción y demolición; y otros residuos de madera (residuos de jardín, huertos, centros de jardinería y agrícolas).

La reutilización de la madera se ha incrementado durante la última década como consecuencia de las altas tarifas de vertido, programas de desvío de residuos y mercados en desarrollo. Los principales usos finales son: combustible para calderas y paisajismo, con menores cantidades utilizadas para cubrimiento de vertederos, alimentación de fábricas de pulpa y papel, cubrimiento intermedio de vertederos y compostaje de los fangos de plantas de tratamiento de aguas residuales. La fracción fina se utiliza para compostaje y enmiendas del suelo. La viruta en polvo y las astillas pequeñas y limpias son muy deseadas como lechos para animales.

- Metales: principalmente el hierro y el acero, que pueden fundirse posteriormente para su recuperación y aprovechamiento. Normalmente, el acero de forjado utilizado en cimentaciones, losas y pavimentos se recupera y se vende a los comerciantes de chatarra. Los procesadores también recuperan la chatarra no férrea, como marcos de ventanas de aluminio, puertas, canalones, chapa, tubería de cobre e instalaciones de fontanería.
- Concreto: Podrá usarse en la recuperación de terrenos, diques, rellenos que no soportaran carga y taludes, entre otros, o podrá disponerse en rellenos sanitarios para material inerte dispuestos para tal fin. (Información basada en documentación de la Organización Panamericana de la Salud, 2002). Aunado a lo anterior, para que la tarea del reciclaje sea exitosa, deben identificarse los siguientes riesgos:

- Certeza del mercado: las iniciativas de reciclaje deben estar ligadas a los mercados de material reciclado. También debe tomarse en cuenta el tiempo de aprovisionamiento, envío e instalación de los equipos. El riesgo se reduce si se concatenan adecuadamente los tiempos de desarrollo y planeamiento con los del proceso de reciclaje.
- Control de calidad: la calidad del producto final reciclado está estrechamente ligada a la de los escombros que alimentan la producción. Se recomienda que el material reciclado mantenga la mayor exigencia técnica requerida para material similar nuevo.



Fotografía N° 10. Planta de reciclado de escombros de San en Almendraremos, España<sup>8</sup>.

Fuente: <http://www.interempresas.net/ObrasPublicas/FeriaVirtual/>

- Certeza del abastecimiento de los materiales: la eficiencia de la operación de reciclaje depende, entre otros factores, del ingreso de una cantidad y de una calidad previsible de suministros. El riesgo se minimiza si se ponen en marcha mecanismos para asegurar el abastecimiento adecuado del programa de reciclaje.
- Creación de una estructura institucional para el reciclaje: es necesario definir una aplicación futura de la tecnología que se utilice para atender la emergencia, con el fin de darle valor posterior. Para esto, se deben promover políticas destinadas a impulsar el reciclaje de escombros y a difundir su utilidad en diferentes aplicaciones de ingeniería (Asociación para la Defensa del Ambiente y de la Naturaleza, 1999).

Existen limitaciones para el uso general del agregado reciclado, cuando se compara con el tradicional, pero existen también otros aspectos positivos que pueden ser explorados. Por ejemplo, los residuos cerámicos -que por un lado no pueden tener la resistencia deseada- una vez polvorizados, pueden presentar propiedades interesantes de plasticidad y retención de agua, factores importantes para argamasas de revestimiento y asentamiento. Pueden inclusive presentar propiedades puzolánicas, lo cual podría ser un factor de reducción del consumo de cemento o cal. Por lo tanto, es recomendable abrir y complementar líneas de investigación aplicada en estos temas, con la participación de entidades e instituciones públicas y privadas, de manera que se tenga una base de datos teórico-técnica actualizada, que facilite la transferencia de conocimientos en el campo.

---

<sup>8</sup>Ejemplo de un equipo móvil con trituradora de impacto. Los materiales aptos para este grupo móvil son las piedras naturales, escombros, asfalto y gravilla.

El agregado reciclado de los escombros urbanos posee, potencialmente, una calidad inferior al agregado tradicional y, en particular, puede haber características muy variables de un lote a otro, debido a la heterogeneidad de los residuos, por lo cual se prefiere la utilización de agregados reciclados en concreto y argamasas no estructurales.

En el reciclaje de escombros de construcción cerámica, de arena y piedra, concretos y argamasa, se debe tener presente que la calidad de los agregados obtenidos puede ser muy variable e inferior a la de los agregados convencionales. El material reciclado puede usarse directamente como agregado o mezclarse con cemento para producir concreto. A la hora de aplicar las normas técnicas tradicionales de agregados para concreto y argamasa, los agregados reciclados pueden no satisfacer algunos valores límite especificados, principalmente si proceden de materiales cerámicos (aunque esto depende, en alguna medida, de la separación adecuada de residuos).

Por estas razones, se recomienda utilizar el agregado reciclado en elementos no estructurales, como por ejemplo: bloques de concreto de ventilación, sub-base de pavimento, así como también en guías y cunetas. El relleno de inertes para escombros alivia los botaderos tradicionales y permite gerenciar adecuadamente el reaprovechamiento de los escombros, ya sea como material reciclado o no.

### *5.5 Disposición final*

Las escombreras son lugares destinados a la eliminación de los restos de demolición no aprovechables y los escombros (materiales inertes). Es preferible utilizar aéreas naturales, aunque en este caso los aspectos de impacto ambiental -como la dirección del viento y la contaminación de aguas subterráneas- no son significativos, debido a las características inertes de los materiales. Es recomendable que el Estado y los gobiernos locales elaboren planes de zonificación para este tipo de función, de manera que se tenga claro cuales zonas son más aptas para ello y en cuales puntos sensibles no debe permitirse.

Los materiales que tienen como destino las escombreras son los desperdicios y escombros que, por exceso o por imposibilidad de ser reutilizados o reciclados, deben disponerse en esos sitios. Estos materiales no requieren una preparación específica, pero si su disposición temporal dentro de la obra mientras son trasladados a las escombreras.

En síntesis, las escombreras son los sitios destinados para la disposición final de los escombros, materiales y elementos de construcción, demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación. Se busca localizarlas principalmente en aéreas cuyo paisaje se encuentra degradado, tales como minas y canteras abandonadas. Se debe considerar siempre que, por los volúmenes que se van a disponer, se requieren aéreas extensas, de preferencia en depresiones naturales fuera de cursos de agua o quebradas.

Los siguientes son algunos lineamientos básicos de diseño, ejecución y manejo ambiental de escombreras que deben ser tomados en cuenta a la hora de escoger el lugar que se utilice con este fin:

- El tamaño y la forma de las escombreras estará determinado por el volumen de estéril que se removerá para la extracción de estériles y escombros, así como material mineral. Tal cantidad de material dependerá no solamente de la estructura geológica del sitio de construcción y de la topografía del área, sino también del valor económico de la remoción de escombros y de los costos de extracción del estéril.

- Se deben definir las medidas de mitigación y manejo para disminuir el impacto paisajístico, de ruido y calidad del aire. Se debe considerar el uso de barreras visuales.
- Para establecer los sitios de las escombreras, se requiere tener en cuenta la zonificación ambiental, evitar las aéreas más sensibles, que el sitio proyectado permita la disposición de los escombros de una manera económica, y que se puedan prevenir y minimizar los efectos del impacto ambiental.
- Se deben determinar las obras de drenaje que Sean requeridas tanto en el interior de la escombrera como en su perímetro, para garantizar la adecuada circulación del agua.
- No se acepta descargar materiales o elementos mezclados con otros residuos como basura, residuos líquidos, tóxicos, peligrosos, hidrocarburos o material que estuviera en contacto con ellos (Organización Panamericana de la Salud, 2002).
- Las salidas de vagonetas del sitio de las obras y del sitio de disposición final, así como las calles aledañas, deben rotularse con "SALIDA DE EQUIPO PESADO".
- Las escombreras de estériles requieren revisiones periódicas, con el fin de detectar fallas en la formación y procurar su relleno; conforme se vaya terminando la escombrera, se debe exponer la menor área posible a la dirección predominante del viento.

También están definidos algunos criterios geológicos que deben ser tomados en cuenta para la ubicación de escombreras (Organización Panamericana de la Salud, 2002):

1. Análisis de la geología de la zona para identificar adecuadamente los posibles sitios degradados por la explotación minera indiscriminada, las zonas de suelos poco productivos y las modificaciones morfológicas que pueden utilizarse como escombreras.
2. Geomorfología, ya que es importante conocer el estado original de las formas (valles, colinas, terrazas y pendientes), a fin de evaluar los efectos que se puedan producir en su modificación.
3. Procesos erosivos, tanto de origen natural como humano, y el proceso de denudación del suelo (agotamiento de la capa vegetal).
4. Condiciones geotécnicas (estabilidad, características de los suelos, nivel freático, posibilidad de confinamiento, fallas y cortes, entre otros). Es importante tener en cuenta los cambios en el patrón de uso de las tierras y las afectaciones potenciales del recurso agua para atender las necesidades de irrigación e, incluso, de consumo humano (desviación o contaminación de fuentes de agua, riesgo de sedimentación y alteración de la disponibilidad del recurso en términos de cantidad y de calidad).

Paralelo a su avance y desarrollo, se considera conveniente establecer barreras vivas que permitan minimizar el impacto visual y la contaminación del aire por emisión de partículas en suspensión originadas por la erosión eólica.

Las escombreras de estériles deben ser ubicadas lejos de toda fuente o cuerpo de agua, y tienen que considerarse las condiciones hidrográficas locales (inundaciones, nivel freático, nivel de escorrentía superficial y nivel de drenajes superficiales). El dimensionamiento físico debe contar con la suficiente capacidad para manejar el total de estériles y escombros que se planee depositar allí, y permitir el adecuado drenaje de las aguas de escorrentía, así como causar el menor impacto visual.

El desafío principal de los constructores de escombreras es diseñar, construir y operar estructuras que permanezcan seguras y estables en el tiempo y que ocasionen un mínimo impacto en el ambiente.

*Sistema empleado para la implementación - modelo de control al interior de la construcción de escombreras municipales*

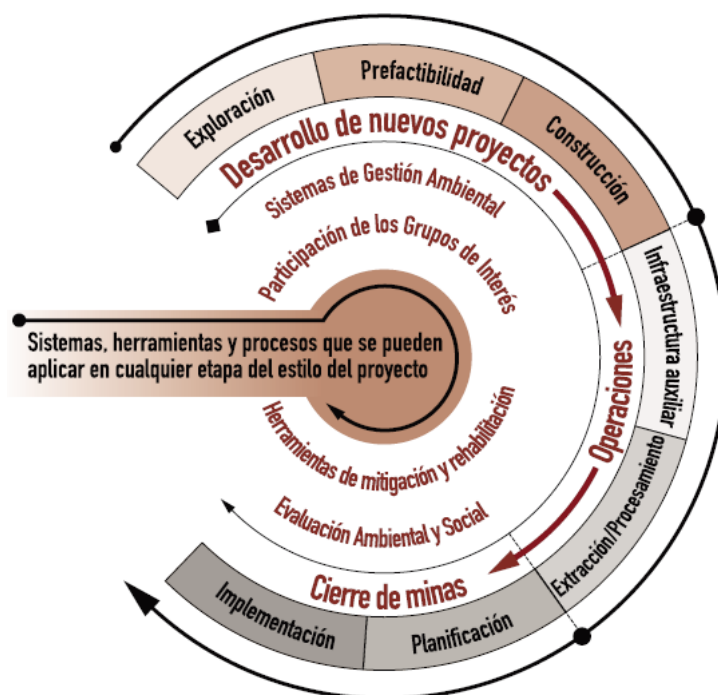


Figura N° 2. Recuperada del libro *Escombreras ubicación, estabilidad y contaminación ambiental*, Ing. Raúl Alberto ACTIS, 2009. *Etapas de planificación* (ICMM, 2006)

A pesar del impacto que supone una actividad extractiva sobre el suelo donde se crea la apertura del hueco y las escombreras, su repercusión se minimiza por la baja potencialidad original que presentan los suelos en zonas serranas y el posterior uso agrícola que se puede hacer de los terrenos restaurados, aumentando la superficie útil para la agricultura.

Se define como restauración al conjunto de actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.

La evaluación del daño producido es fundamental para encarar su reparación. En primera instancia se pensara en medidas de mitigación, o sea medidas para reducir los daños potenciales sobre la vida y los bienes que puedan causar los eventos de carácter geológico, hidrológico o industrial.

Las medidas de remediación son todas las medidas inmediatas que se toman para evitar daños mayores y siempre tendientes a la reparación del daño provocado. Es el conjunto de acciones que se llevan a cabo de limpieza de cualquier descarga o sospecha de descarga de contaminantes.

## 6. Investigación Complementaria

La etapa de “Investigación Complementaria” constituyó una fase del proyecto destinada a determinar científicamente y empíricamente las características técnicas de los áridos reciclados adecuadas para cada categoría de material y uso recomendado.

Este estudio se ha orientado a:

- Comprobar la resistencia y estabilidad del material.
- Establecer requisitos normativos y técnicos adecuados para el uso de árido reciclado como zahorras y, en su caso, subbalasto.
- Analizar su impacto medioambiental. (contexto ambiental)

El material a estudiar para el uso como zahorra en capas no ligadas se centró principalmente en un todo uno, buscando el mayor ajuste posible a los usos granulométricos previstos, es decir, con tamaños máximos de 20 o 25 mm. En cuanto a la composición, la intención es centrar la investigación en los áridos mixtos, ya que suponen la mayor parte de la producción en España. Ya el (PG 3) Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes. Contempla en su artículo 510 la posibilidad de emplear materiales reciclados procedentes de capas de aglomerado de firmes de carretera o de demoliciones de hormigones de resistencia a compresión final superior a treinta y cinco megapascuales (35 MPa). De acuerdo con la propuesta de clasificación de los áridos reciclados recogida en el Propuesta de Prescripciones Técnicas, se estudió tres tipos de áridos, uno predominantemente compuesto por material pétreo, uno predominantemente compuesto por material de hormigón y mortero, y, finalmente, uno predominantemente compuesto por material cerámico. En todos los casos se ha considerado un porcentual de 100% de sustitución de árido natural. Las granulometrías, buscando adaptarse a lo estipulado, tienen como tamaños máximos 20-25 mm.

**Resistencia a la compresión** Dependiendo del porcentaje de agregado reciclado incluido en la mezcla la resistencia puede disminuir hasta en un 10%-25%, sustituyendo solamente el agregado grueso de la mezcla. Como se muestra en la *Figura 3*. Para resultados de pruebas realizadas por diferentes autores tomando como referencia concretos con agregados naturales (Li, 2008).

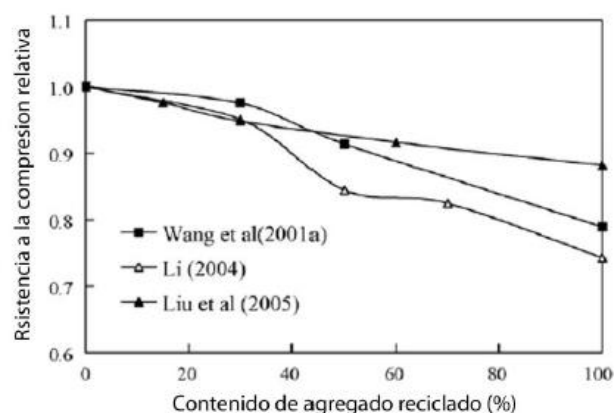


Figura 3. Resistencia a la compresión de concretos con diferentes porcentajes de sustitución de agregado grueso reciclado (Li, 2008).

De igual manera, se pueden incluir parcialmente los finos producto de la trituración del concreto como agregado fino reciclado, pero se ha encontrado que la disminución de la resistencia para relaciones a/c variables, puede llegar a el 30% como se muestra en la *Figura 2*, por lo que se recomienda no incluir este material en mezclas normales sin aditivos (Corinaldesi, 2010). La disminución de la resistencia a la compresión en concretos con finos reciclados, es usualmente atribuida por varios autores (Breccolotti & Materazzi, 2010) (Padmini, Ramamurthy, & Mathews, 2009), a la porosidad y absorción de agua significativamente superior que aporta el mortero presente en el agregado reciclado. De forma complementaria la *Figura 4*, muestra que el efecto de la variación de la relación a/c en la resistencia a la compresión es proporcional para los diferentes tipos de agregados, natural, grueso reciclado y fino reciclado.

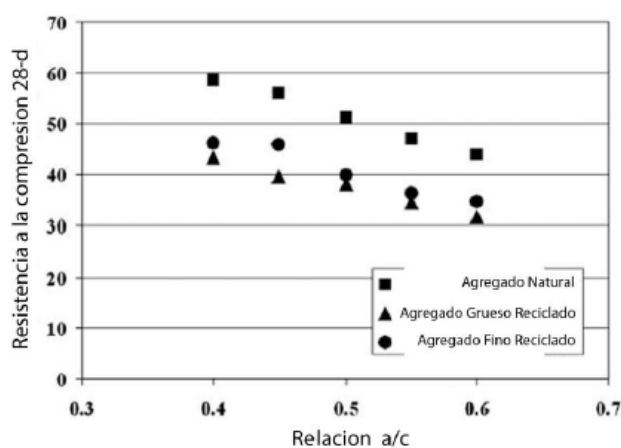


Figura 4. Resistencia a la compresión a 28 días de concretos con agregados finos reciclados para diferentes relaciones agua cemento tomado de (Corinaldesi, 2010).

Con respecto a lo anterior se determina que es posible realizar mezclas con sustituciones de agregado natural por agregado reciclado que mantengan la resistencia a la compresión de diseño deseada pero para lograr esto se recomienda lo siguiente:

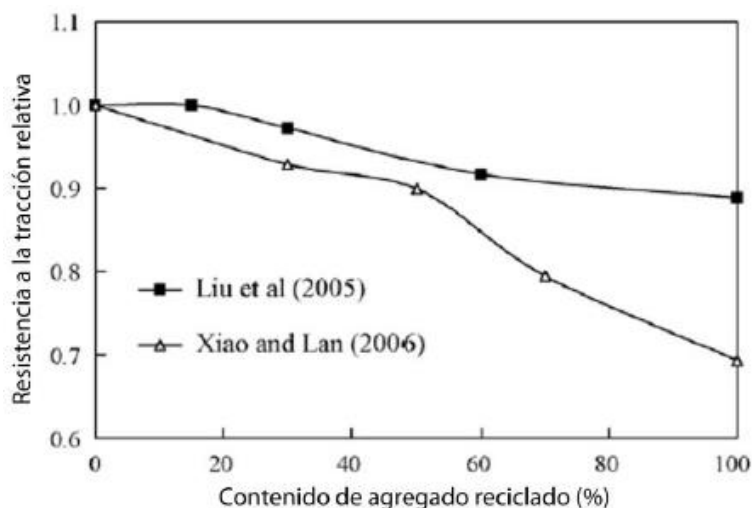
1. Los agregados reciclados deben incorporarse a la mezcla con niveles de humedad altos. Las partículas deben estar casi totalmente saturadas de agua para que el alto porcentaje de absorción de estas debido a la porosidad del contenido de mortero no incida en la relación a/c de la mezcla (Etxeberria, Vázquez, Marí, & Barra, 2007). Por esto, el proceso de mezcla debe tener un control de calidad riguroso que asegure una etapa de pre humedecimiento del agregado para que pueda ser agregado a la mezcla garantizando su mejor desempeño e interacción con los demás componentes de la mezcla (Fong & Yeung, 2002).
2. Es necesario aumentar la cantidad de cemento incorporado a la mezcla, disminuyendo así la relación a/c de esta para garantizar una correcta adherencia en los componentes de la mezcla y así poder lograr las resistencias deseadas. Las cantidades de cemento para llegar a resistencias deseadas puede aumentar entre un 8% y 10% (Etxeberria, Vázquez, Marí, & Barra, 2007).
3. Se pueden realizar mezclas con sustituciones de agregado reciclado de hasta un 100% pero para esto la relación a/c deberá ser muy baja y aumentara los costos de producción del concreto por el aumento de material cementante requerido. Por esto se recomienda



en base a estudios internacionales (Cement Concrete & Agregates Australia, 2008), realizar sustituciones de hasta un 30% de agregado reciclado en mezclas de concreto con resistencias de entre 21MPa y 45 MPa (Etxeberria, Vázquez, Marí, & Barra, 2007).

4. Para conservar manejabilidad y asentamiento de las mezclas con agregados reciclados que puede empeorar por la necesidad de una relación a/c más baja, es necesario el uso de aditivos plastificantes reductores de agua (Etxeberria, Vázquez, Marí, & Barra, 2007). La proporción de adición de aditivos es proporcional al porcentaje de agregado reciclado incluido en la mezcla por lo tanto a mayores porcentajes de agregado reciclado, mayor cantidad de aditivos. Añadiendo que la inclusión de estos aditivos plastificantes puede favorecer otras propiedades como la retracción por secado (Corinaldesi, 2010).

**Resistencia a la tracción** Para concretos con agregados reciclados en diferentes porcentajes de sustitución, según estudios recopilados por (Li, 2008), se presentan valores de resistencia a la tracción igualmente inferiores como las demás propiedades físicas y mecánicas. A medida que se aumenta el porcentaje de sustitución de agregado natural por agregado reciclado esta propiedad puede llegar a disminuir hasta un 30% como se muestra en la *Figura 5*.



*Figura 5. Resistencia a la tracción relativa para diferentes porcentajes de agregado reciclado tomado de (Li, 2008).*

Cabe aclarar que para porcentajes de hasta un 20% de sustitución de agregados reciclados en mezclas sin aditivos, la resistencia a la tracción puede mantenerse en valores muy similares a los que presenta un concreto mezclado en su totalidad con agregados naturales (Li, 2008).

Se ha encontrado en estudios realizados (Etxeberria, Vázquez, Marí, & Barra, 2007) que en concretos con sustitución de agregado reciclado al incluir aditivos plastificantes, se presenta un incremento en la resistencia a tracción del concreto a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución de agregado natural por agregado reciclado. Estos resultados particulares se presentan en la *Tabla 1*, en donde se evidencia que la resistencia a la tracción al sustituirse el 100% de los agregados naturales por agregados gruesos reciclados, puede aumentar hasta un 9% con respecto al concreto mezclado con agregados naturales.

Tipo de concreto	Densidad (kg/dm <sup>3</sup> )	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
0% agr. reciclado	2.42	29	2.49	32,561.7
25% agr. reciclado	2.40	28	2.97	31,300.4
50% agr. reciclado	2.39	29	2.70	28,591.7
100% agr. reciclado	2.34	28	2.72	27,764.0

Tabla 1. Propiedades mecánicas de concretos con diferentes porcentajes de agregado reciclado y aditivo plastificante tomado de (Etxeberria, Vázquez, Marí, & Barra, 2007)

RCD	Tipo de Agregado	Aplicación	Recomendaciones
Ladrillos y materiales cerámicos	Agregados finos y gruesos producto de la separación y trituración de residuos de ladrillos, materiales cerámicos y mortero, sin contenido de materia orgánica, metales o residuos peligrosos	Bloques y ladrillos de concreto prefabricados	Se pueden realizar mezclas de concreto para estos elementos con un 55 y 20% de agregados gruesos y finos reciclados respectivamente Para lograr resistencias a la compresión que cumpla con estándares como el NTC 4026 se requiere de relaciones a/c más bajas que en las mezclas con agregado natural Se recomienda el uso de aditivos plastificantes para disminuir la porosidad, aumentar la densidad y mejorar la durabilidad del elemento
		Bases y Sub - Bases granulares para pavimentos	Dependiendo de los porcentajes de inclusión de agregados reciclados tanto de ladrillo como de concreto, la densidad seca de la mezcla puede bajar hasta un 19% y la humedad óptima de compactación puede aumentar hasta un 200% El California Bearing Ratio (CBR) puede disminuir según los porcentajes de inclusión de agregado reciclado en la mezcla por lo tanto se deben generar porcentajes para cumplir con especificaciones como la INVIAS 300-7 para bases como para sub-bases granulares
		Rellenos, Terraplenes y Nivelaciones topográficas	Condiciones adecuadas de compactación y la composición e porcentajes de finos y gruesos deberá cumplir con lo especificado en la tabla 220.1 de la especificación INVIAS 220-07
Vidrio	Vidrio pulverizado similar a la arena	Concreto hidráulico	Reemplazo parcial de agregado fino natural en concreto hidráulico (con cambios en la mezcla)
Llantas y neumáticos	Llantas y neumáticos procesados para obtener partículas de caucho o migas pulverizadas	Mezclas asfálticas	Puede ser usado pulverizado como sello asfáltico
Concreto	Agregados finos y gruesos producto de la separación y trituración de residuos de concreto y mortero, sin contenido de materia orgánica, metales o residuos peligrosos	Concreto hidráulico	Pueden realizarse mezclas hasta con 100% de agregado reciclado Para elementos estructurales se recomienda un máximo de 20% de sustitución El agregado debe estar totalmente saturado de agua para evitar que su alta tasa de absorción disminuya manejabilidad de la mezcla El porcentaje de gruesos y finos puede ser variable pero la inclusión de finos implica menores resistencias y mayor retracción Para obtener buenos resultados se requieren relaciones a/c bajas del orden de 0.4 Es recomendable el uso de aditivos plastificantes para garantizar manejabilidad y disminuir retracción por secado
		Bloques y ladrillos de concreto prefabricados	Se pueden realizar mezclas de concreto para estos elementos con un 55 y 25% de agregados gruesos y finos reciclados respectivamente Se recomienda el uso de aditivos plastificantes para disminuir la porosidad, aumentar la densidad y mejorar la durabilidad del elemento

Tabla 2. Tipos de agregado reciclado y aplicaciones. Recuperado de diagnóstico técnico y económico del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en edificaciones de la ciudad de Bogotá.

## *Posibles Aplicaciones de los Residuos de la Construcción y Demolición*

### *7. Aplicaciones de materiales reciclados de RCD, en Colombia*

Los estudios e investigaciones de aplicaciones con materiales reciclados de RCD en Colombia han sido escasos, muy sectorizados y limitados en sus alcances, solo se han estudiado propiedades como la resistencia a la flexión, a la compresión y para algunas aplicaciones específicas como bloques y adoquines prefabricados, se ha estudiado la tasa de absorción y la resistencia a la tracción respectivamente (Castellanos & Quiroga, 2010).

A nivel local la empresa PROCOPAL S.A se ha encargado de implementar este tipo de iniciativas al interior de sus obras, veamos un poco de la organización: Es una compañía constructora totalmente Colombiana, cuyo objeto social comprende la explotación y comercialización de materiales con destino a la industria de la construcción, procesamiento elaboración y comercialización de mezclas asfálticas y de concreto, construcción, mantenimiento, rehabilitación y mejoramiento de vías urbanas, carreteras, puentes, líneas férreas, muelles, y en general obras civiles de ingeniería.

#### **PROYECTOS AMBIENTALES:**

##### **USO DE CORTES DE EXCAVACIÓN**

##### **CANALES CON SACOS DE SUELO CEMENTO**

Utilización del material proveniente de la excavación en una proporción 5:1 con cemento para el llenado de los costales con los que se conformaran canales para la canalización de las aguas.



*Fotografías recuperadas – Presentación BORSI – PROCOPAL – Ing. Ambiental Harold Moreno*

##### **MUROS EN TIERRA ARMADAS**

Obra de contención que permite la reutilización de materiales provenientes de la excavación en combinación con geotextiles para prestar funciones de estabilización.



*Fotografías recuperadas – Presentación BORSI – PROCOPAL – Ing. Ambiental Harold Moreno*

## LLENOS ESTRUCTURALES

Llenos en material granular seleccionado proveniente de las mismas excavaciones, el cual es mejorado en algunas ocasiones con base granular en proporciones de 3:1, dependiendo del sitio donde se vaya a utilizar y el tipo de estructura.



*Fotografías recuperadas – Presentación BORSI – PROCOPAL – Ing. Ambiental Harold Moreno*

Las fotografías expuestas anteriormente hacen parte del proyecto reconstrucción y estabilización de sitios críticos en la vía puente la libertad - fresno, desde el PR 6+283 hasta el PR 16+340 de la ruta 5006.

**EMPRENDER PARA LA VIDA:** Empresa ubicada en Medellín (Antioquia) encargada de los procesos de reciclaje de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) que son generados todos los días en las ciudades debido al crecimiento y desarrollo de las mismas, con el fin de valorarlos mediante una selección especializada, transformación y homogeneización de los RCD, produciendo agregados pétreos, diseñando mezclas de mortero y concreto ecológicos para ser utilizadas en la construcción y producción de prefabricados ecológicos de alta calidad.



Figura 6. Recuperada página web [www.bernardochavesrivas.com](http://www.bernardochavesrivas.com)

## INDURAL S.A

Es una empresa Colombiana con más de medio siglo de experiencia, especializada en la producción, comercialización e instalación de prefabricados de concreto.

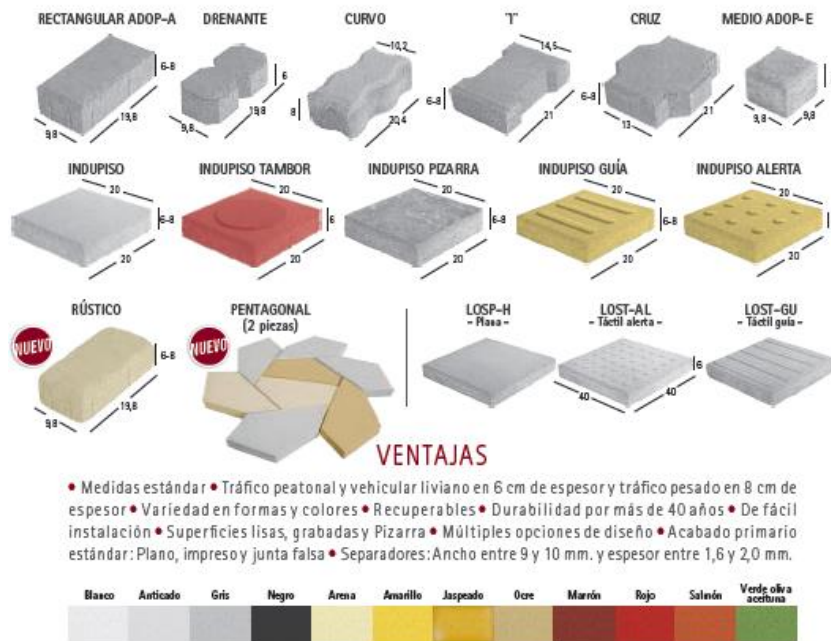
Es una empresa sólida, rentable y socialmente responsable, que sirve al sector de la construcción y la comunidad, con idoneidad y compromiso, diferenciándonos por nuestra tecnología, investigación e innovación.

Indural con su gestión ambiental garantiza procesos bajo estándares de producción más limpia, que cumplen con la normatividad vigente, promoviendo en su talento humano una cultura de sostenibilidad.

## Estructurales y Divisorios



## Adoquines y Losetas



*Figuras 7 y 8 tomadas del catálogo 2014 Indural – piezas elaboradas a partir del aprovechamiento de RCD*

Entre la gran variedad de diseños, estructuras y formas de utilizar los residuos de la construcción y demolición para la elaboración de prefabricados de concreto encontramos las siguientes:

- Estructurales y divisorios
- Arquitectónicos y decorativos
- Bloques tipos Split
- Calados
- Contención y paisajismo
- Placa prefabricada
- Adoquines y losetas
- Sistema Deck
- Gramoquines
- Revestimiento para fachadas y pisos
- Revestimiento especializado para piscinas
- Enchapes arquitectónicos
- Mobiliario urbano

Los anteriores diseños y tipificaciones de agregados de concreto demuestran su importancia en el tema de la reincorporación de estos elementos nuevamente a ciclos productivos, los diseños innovadores se encuentran a la vanguardia del mercado, los cuales compiten fácilmente con los materiales elaborados con recursos vírgenes extraídos de canteras.

## 7.2 Aprovechamiento de materias primas alternativas

Indural a la vanguardia de la construcción sostenible, realiza este aprovechamiento hace 20 años, formando parte importante en el tema de sostenibilidad, que tiene como beneficios:

- Aumento de la vida útil de las escombreras
- Aumenta la vida útil de las canteras
- Aprovechamiento y reincorporación de RCD para la creación de obras civiles sostenibles
- Generar una cultura ambiental en la comunidad sobre las buenas prácticas de la construcción y separación de sus residuos.



*Indural incorpora al proceso productivo mensualmente 9000 toneladas de residuos RCD y está en capacidad de incorporar muchos residuos más durante el proceso. Fotografías que evidencian el paso a paso de los RCD y su proceso de triturado.*



*Figura 9. Recuperada Experiencias público - privadas en el Valle de Aburrá. Fortalecimiento de la cadena de generación de RCD*



Fotografía N° 11. Aprovechamiento de materias primas alternativas: Demolición, Aluvión, Cerámicas

En SINESCO S.A.S se preocupan no solo por los residuos de construcción, sino también por brindar una solución ambiental a la problemática de los escombros y permitiéndole al constructor dedicar todo su esfuerzo y capacidad al desarrollo de la obra.



Fotografía N° 12 recuperadas experiencias público – privadas en el Valle de Aburrá



Beneficios:

- ✓ Acompañamiento en obra con capacitaciones, se han beneficiado 1500 personas
- ✓ Asesorías y visitas mensuales para la evaluación de la operación y soporte técnico con la gestión integral de RCD
- ✓ Plan de incentivos, capacitación y sensibilización para el personal que realiza la separación de residuos
- ✓ Generación de empleo.
- ✓ En temas ambientales son pioneros en la reincorporación de residuos de la construcción y demolición para la generación de estructuras sostenibles.
- ✓ Ya se ha mencionado con anterioridad la importancia del tema para disminuir el impacto ocasionado por la sobre explotación de los recursos en las canteras, y más aún la saturación de las escombreras a nivel nacional.

## CAPÍTULO III:

### *Metodología*

#### *Desarrollo Metodológico*

#### *Etapas del manejo de escombros*

##### *8.1 Verificación del volumen y caracterización de escombros:*

- ✓ Reuniones con personal de las instituciones locales y especialistas.
- ✓ Verificación del volumen de escombros.
- ✓ Definición de los volúmenes de escombros que van a ser reubicados.
- ✓ Caracterización de los escombros.
- ✓ Desarrollo del plan operativo de remoción y transporte de escombros.

##### *8.2 Programa de reúso y reciclaje*

- ✓ Evaluación del potencial de reúso y reciclaje, desarrollo del programa.
- ✓ Análisis económico del reúso y reciclaje versus desarrollo de un programa de rellenos con residuos sólidos.

##### *8.3 Disposición final de los escombros*

- ✓ Evaluación de las escombreras existentes.
- ✓ Selección de escombreras para la disposición final de los desechos.
- ✓ Establecer una metodología para la localización de sitios.
- ✓ Estudio para la operación de escombreras posibles y selección final de los lugares.

A lo largo del trabajo se ha estipulado que el aprovechamiento de materiales RCD es directamente dependiente de una separación en la fuente y de un proceso de transformación industrial que le permita ser reutilizado en cualquier tipo de aplicación deseada (Fong & Yeung, 2002) (Eguchi, Teranishi, Nakagome, Kishimoto, Shinozaki, & Narikawa, 2007). Estos procesos de separación y transformación deben acoplarse dentro de un marco de gestión integral partiendo del sistema para la gestión tradicional de los RCD. Según diversos autores (Yuan, Shen, & Li, 2011) (Nagataki, Gokce, Saeki, & Hisada, 2004) el cambio en la gestión integral de RCD disponiendo la totalidad de los materiales en rellenos y escombreras, cambia al incluir el aprovechamiento de estos como se muestra en las Figuras 10 y 11



Figura 10 Gestión integral tradicional de RCD

Se evidencia en la Figura 5 entonces que la gestión que incluye el aprovechamiento de RCD se fundamenta en las tres actividades básicas de la gestión tradicional, almacenamiento temporal, transporte y disposición final, pero para lograr un grado de aprovechamiento de RCD se agregan actividades indispensables como la separación selectiva en obra, la transformación de los materiales y su reutilización. Cada una de estas actividades debe estar soportada por normativas y parámetros legales que regulen su correcta ejecución respectivamente. Actualmente se encuentra la guía de la Secretaría Distrital de Ambiente (Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá, 2010) que reúne todas las medidas y parámetros para regular la gestión integral tradicional de RCD y la reciente resolución 2397 de 2011 (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011) que es una primera aproximación a regular las actividades implícitas en el aprovechamiento de RCD.

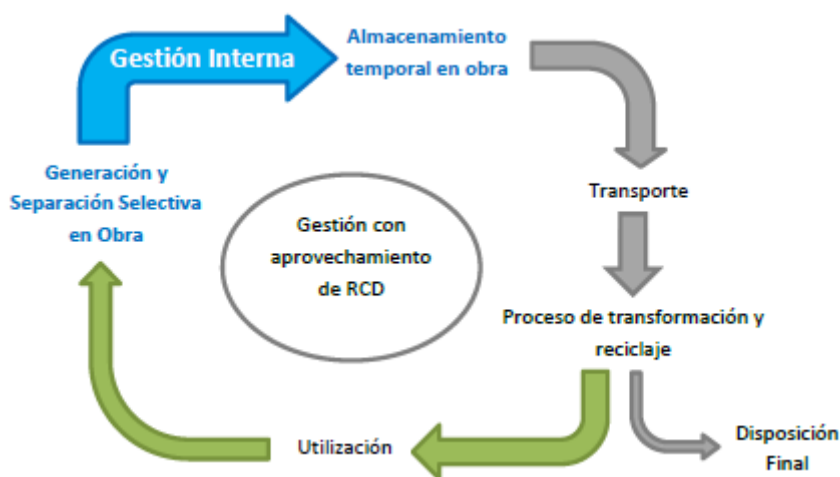


Figura 11. Gestión integral para el aprovechamiento de RCD

Igualmente por medio de experiencias en otros países como Holanda, Dinamarca, Alemania, Reino Unido y otros, se estipula que la colaboración por parte del estado mediante la implementación instrumentos económicos como subsidios e incentivos son el principio para incluir la gestión integral de residuos y aprovechamiento de estos dentro de la cotidianidad del medio de la construcción en cualquier ciudad (Yuan H., Shen, Hao, & Luc, 2011).

Es necesario entonces plantear un plan de gestión integral de residuos sólidos que articule las diferentes fases de la gestión de los residuos de construcción e incluso se puede generalizar para los residuos peligrosos y domésticos en la ciudad de Bogotá. Con base en planes de gestión integral de residuos sólidos formulados e implementados en diversos países de la unión europea como (Pro Waste Management Services, 2011) y (Recycling Aggregates NE LTD, 2011), se puede formular un plan de desarrollo de infraestructura en la ciudad de Bogotá para la gestión integral de todo tipo de residuos generados en la ciudad (Rodríguez, Alegre, & Inez, 2007). Igualmente tomando como referencia el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) implementado desde el 2006 y en actual desarrollo en el Valle de Aburrá - Antioquia, como el primero de este tipo de planes de gestión integral en Colombia (Villada & García, 2007).

Enmarcado en el desarrollo de un plan de gestión integral de residuos sólidos, también debe incluirse el análisis de ciclo de vida o *Life cycle analysis* (LCA) de los materiales incluidos dentro de este plan, herramienta que facilita la transformación de una gestión tradicional de residuos lineal a una gestión cíclica. (Craighill & Powell, 1997).

Dentro de la formulación e implementación de un plan de gestión integral de residuos sólidos para la ciudad de Bogotá, deben incluirse ejes de trabajo como componentes estratégicos para la estructuración de dicho plan enunciados a continuación:

- Implementación de instrumentos económicos
- Proceso de aprovechamiento de materiales reciclables comunes
- Proceso de aprovechamiento de materiales reciclables orgánicos - Proceso de aprovechamiento de RCD
- Disposición final

La infraestructura necesaria para realizar estas actividades idealmente debería ser administrada y controlada por un ente o empresa de carácter público, y financiada por el gobierno como medida para impulsar las actividades amigables con el medio ambiente ejemplificando ante el sector privado de la construcción y la gestión de residuos, el éxito de estas actividades enmarcadas en el plan de gestión integral de residuos (Desechos.net, 2009).

En cuanto a la implementación de instrumentos económicos, deberían incluirse subsidios e incentivos como por ejemplo reducciones tributarias y demás a las empresas que se destaquen por su desempeño en las actividades en pro a la construcción sostenible tomando como referencia sistemas de calificación como LEED y GREENSTAR (U.S. Green Building Council, 2011).

Adicional a estas actividades, dentro del plan de gestión integral deberían crearse manuales y publicaciones con el fin de divulgar políticas para disminuir la generación de RCD desde las fases de diseño de los proyectos como las impulsadas y aplicadas en el reino unido por el WRAP (Waste and Resources Action Programme, 2011). Además

de aplicar políticas de producción más limpia en las obras mediante selección de materiales, tecnologías limpias y soluciones constructivas que vayan de la mano del bienestar medioambiental. La implementación de dichas políticas en el medio de la construcción deberá ser fomentada como parte de una serie de beneficios ambientales, pero también económicos, de seguridad laboral y una mejor imagen institucional de las empresas constructoras (Mercante, 2007).

Teniendo en cuenta que el objetivo de esta monografía gira alrededor del aprovechamiento y revalorización de RCD, a continuación se plantean parámetros para las actividades de separación, recolección selectiva y procesos de transformación que complementan la gestión integral en pro de un aprovechamiento de RCD con el fin de disminuir los volúmenes de residuos que se llevan a las escombreras actualmente a disposición final.

En cuanto a la disposición final y el transporte, la regulación y reglamentación se mantiene de acuerdo a la expuesta anteriormente en base a la guía publicada por el SDA (Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá, 2010), integrando estas pautas y parámetros de control al plan de gestión integral de residuos.

#### *8.4 Contexto local Manizales, Caldas*

Al interior de la ciudad en los últimos años se ha desarrollado actividades que han contribuido enormemente a la generación de escombros por toda la ciudad, la falta de control por parte de la autoridad competente es evidente, al observar en las zonas verdes de la ciudad, nacimientos, laderas, prados y zonas boscosas puntos ilegales donde la propia comunidad se ha encargado de disponer toda clase de RCD sin ninguna restricción. La noche es el mejor de los casos escenario propicio para la práctica de este tipo de actividades insostenibles. El llamado de atención no solo va dirigido para la Policía Nacional y la Autoridad Competente en el tema de cumplimiento del comparendo ambiental, sino también para la comunidad, quien se encarga de replicar dichas actividades insostenibles.

Veamos un poco del comparendo ambiental:

Ley 1259 de 2008:

La finalidad de la presente ley es crear e implementar el Comparendo Ambiental como instrumento de cultura ciudadana, sobre el adecuado manejo de residuos sólidos y escombros, previendo la afectación del medio ambiente y la salud pública, mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos; así como propiciar el fomento de estímulos a las buenas prácticas ambientalistas.

En el Artículo 6° habla de las respectivas infracciones, se encuentran en total 18 infracciones, de las cuales 5 hablan de los residuos de la construcción y demolición (RCD), son las siguientes:

3. Disponer residuos sólidos y escombros en sitios de uso público no acordados ni autorizados por la autoridad competente.

4. Disponer basura, residuos y escombros en bienes inmuebles de carácter público o privado, como colegios, centros de atención de salud, expendios de alimentos, droguerías, entre otros.

5. Arrojar basura y escombros a fuentes de aguas y bosques

10. Realizar quema de basura y/o escombros sin las debidas medidas de seguridad, en sitios no autorizados por autoridad competente.

15 Fomentar el trasteo de basura y escombros en medios no aptos ni inadecuados.

Las anteriores son las 5 infracciones encontradas entre las 18, las cuales presentan incidencia directa en el tema de residuos de la construcción y demolición.

### *8.5 Artículo 7°, Sanciones del Comparendo Ambiental.*

Las sanciones a ser impuestas por medio del Comparendo Ambiental serán las contempladas en la normatividad existente, del orden nacional o local, acogidas o promulgadas por las administraciones municipales, y sus respectivos concejos municipales, las cuales son:

1. Citación al infractor para que reciba educación ambiental, durante cuatro (4) horas por parte de funcionarios pertenecientes a la entidad relacionada con el tipo de infracción cometida, sean Secretarías de Gobierno u otras.

2. En caso de reincidencia se obligará al infractor a prestar un día de servicio social, realizando tareas relacionadas con el buen manejo de la disposición final de los residuos sólidos.

3. Multa hasta por dos (2) salarios mínimos mensuales vigentes por cada infracción, seis cometida por una persona natural. La sanción es gradual y depende de la gravedad de la falta.

4. Multa hasta veinte (20) salarios mínimos mensuales vigentes por cada infracción, cometida por una persona jurídica. Este monto depende de la gravedad de la falta, sin embargo nunca será inferior a cinco (5) salarios mínimos mensuales legales vigentes.

5. Si es reincidente, sellamiento de inmuebles. (Parágrafo del artículo 16 de la Ley 142 de 1994).

6. Suspensión o cancelación del registro o licencia, en el caso de establecimientos de comercio, edificaciones o fábricas, desde donde se causan infracciones a la normatividad de aseo y manejo de escombros.

Si el desacato persiste en grado extremo, cometiéndose reiteradamente la falta, las sanciones antes enumeradas pueden convertirse en arresto.

## **8.6 Entidades responsables de la instauración y aplicación del Comparendo Ambiental**

### **Artículo 8º. De la instauración del Comparendo Ambiental.**

En todos los municipios de Colombia se instaurará el instrumento de Comparendo Ambiental, para lo cual los Concejos Municipales deberán aprobar su reglamentación a través de un acuerdo municipal.

La anterior normatividad ambiental funciona como herramienta de control para toda la comunidad con el fin de garantizar la correcta disposición de residuos especiales, caso concreto los RCD.



*Instrumento de control que permite la imposición de sanciones a las personas naturales o jurídicas que con su acción u omisión, causen daños que impacten el ambiente, por mal manejo de los residuos sólidos o disposición indebida de escombros.*

## **8.7 Macroproyecto San José como máximo generador de RCD**

### **¿POR QUÉ EL MACROPROYECTO SAN JOSÉ?**

Se determinaron áreas para la expansión urbana en el largo plazo. En el área consolidada se determinaron las zonas que serían objeto de diferentes tratamientos urbanísticos. Renovación Urbana. El Macroproyecto fue aprobado por el concejo municipal en el Plan de Desarrollo 2008 - 2011 (Acuerdo 680 de 2008)

Año 2011 Continúa la compra de predios de los proyectos Avenida Colón y VIP Avanzada. Continúa la intervención social y de Comunicaciones en el sector y la ciudad.

Año 2010 Inicio de la adquisición de predios para el desarrollo de los proyectos Avenida Colón y VIP Avanzada. Constitución del Patrimonio Autónomo. Gestión ante el MAVDT para consecución de recursos para el desarrollo VIP. Gestión de recursos en Acción Social para el Proyecto Centro Integral de Servicios Comunitarios.

Año 2009 Ajustes a propuesta urbana del sector, gestión ante Gobierno Nacional para consecución de recursos. Resolución de adopción 1453 de 27 de julio del MISN. Decreto de compensaciones 0533 de 9 de diciembre de 2009.

Año 2008 Gestión ante entidades nacionales para vinculación a los diferentes proyectos Propuesta de formulación urbanística del proyecto con Universidad Nacional. Caracterización socioeconómica de la zona con Universidad Autónoma de Manizales Inicio de la gestión social con la comunidad del sector.

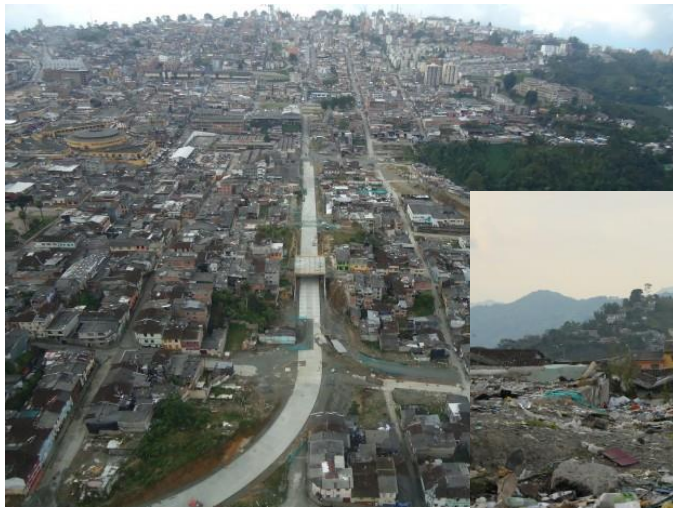


Foto | Fredy Arango | LA PATRIA Los lotes que quedaron después de las demoliciones se convirtieron en basureros públicos.





*Todos los derechos reservados, Residente de obra demoliciones. Macroproyecto San José. Juan Sebastián Hernández - Arquitecto. Especialista en atención prevención y reducción de desastres.*











## CAPÍTULO IV: Conclusiones

El análisis de las características técnicas y económicas del concreto reciclado arroja un panorama alentador. Sus capacidades físicas y mecánicas permiten pensar en la utilización de este material reciclado en la construcción de edificios, sobre todo pensar en la recuperación y reincorporación de este tipo de residuos; en primer lugar como materia prima para elementos que no revistan un alto compromiso estructural, para luego, después de un riguroso estudio en cuanto estabilidad química y física en el tiempo, pasar a ser parte de la estructura de edificios. Además, su costo, un 7% menos comparado con un concreto natural, es un punto de partida positivo si se tiene en cuenta que al industrializar estos procesos de reciclado y masificar su producción el costo del producto terminado disminuye.

A la entrada del siglo XXI es necesario, además, redoblar los esfuerzos para que el desarrollo sostenible sea visto como un tema transversal del desarrollo, que no solo toca el medio ambiente por sí mismo sino que está estrictamente relacionado con temas como agricultura, salud, vivienda y educación, gestión del riesgo, de manera que el ambiente no es un tema aislado de las decisiones políticas con visión de futuro.

Puntos clave:

- Sensibilizar a los constructores, arquitectos y desarrolladores de proyectos acerca de los impactos ambientales, materiales peligrosos, conceptos de separación en la fuente, reducción y reciclaje.
- Incluir los conceptos de edificación sostenible en las carreras universitarias de arquitectura, diseño e ingeniería y colegios profesionales.
- Transferir experiencias de nivel internacional sobre edificación sostenible, normas y certificaciones respectivas, así como sobre tecnologías de reciclaje y disposición final. (Información basada en: Programa CYMA, 2008).

Punto crítico	Problemática	Propuestas de análisis y prescriptivas
Contenido total de azufre	Valores medios por encima de los límites fijados, aunque bajo grado de incumplimiento (11%)	Cambio de ensayo por sulfatos solubles en agua, más adecuado a la naturaleza del árido reciclado
Coefficiente de limpieza	Alto grado de incumplimiento (48%)	- Estudio y valoración de "finos" adheridos - Sustitución por ensayo de Terrones de arcilla y Materia orgánica (UNE 103 204)
Resistencia a la fragmentación	Propiedad crítica "per se"; bajo grado de incumplimiento (4%) pero valores cercanos a los límites	Aumentar límites establecidos (ej. 45%), exigiendo comprobación del material compactado (granulometría, EA, plasticidad, ...)
Husos granulométricos	Alto grado de incumplimiento	Ninguna (se considera una cuestión de control en la producción de las plantas)

Tabla 3. Conclusiones finales de la etapa de investigación complementaria.

Durante el desarrollo de la presente monografía investigativa se encontró que la falta de control por parte de las entidades ambientales, no es el único motivo identificado al cual se le atribuye la constante aparición de botaderos ilegales de RCD en la ciudad, al igual que en todo el territorio nacional. A este se le suma la constante disminución de lugares

para la disposición final de escombros, ya sea debido a la terminación de su vida útil al verse agotada su capacidad de recibir escombros o a su cerramiento por condiciones ambientales adversas. Estas últimas enmarcadas en que en la ciudad de Manizales, sólo cuenta con una escombrera autorizada, dado que las demás se han saturado, los procesos para generar nuevos sitios acordes para la disposición final de este tipo de materiales son complejos dada la topografía de la ciudad de Manizales, en el departamento de Caldas.

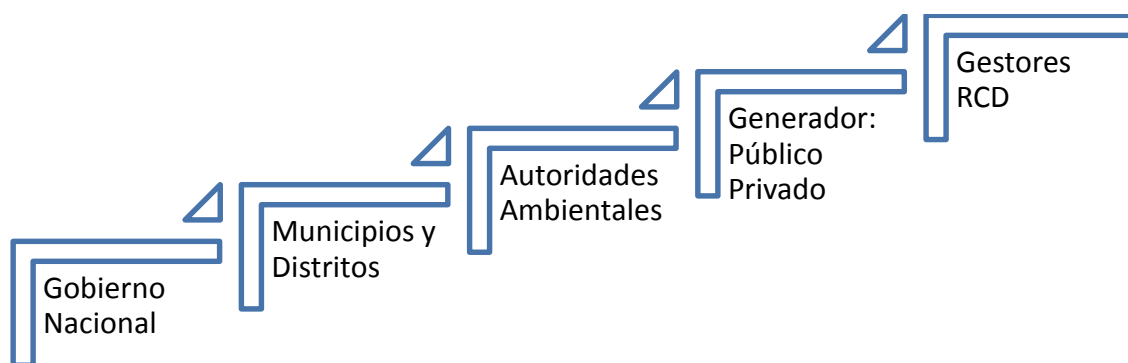
Es por esto que es necesario instaurar una política de aprovechamiento a nivel nacional, con un enfoque local que utilice las formas de aplicación de materiales reciclados descritas en esta monografía investigativa de forma que se genere una demanda suficiente de estos materiales reciclados y se alargue el ciclo de vida de los mismos con el único fin de reducir los volúmenes de RCD que se llevan a los sitios de disposición final. Teniendo en cuenta que en la ciudad de Manizales es relativamente nueva la iniciativa para implementar el aprovechamiento de RCD, actualmente solo existe una medida legislativa que es la resolución 2397 de 2011. “Esta es una primera aproximación al problema, ya que exige porcentajes de aprovechamiento en el sector tanto público como privado de la construcción pero ignora las deficiencias de la ciudad de no poder proveer materiales reciclados técnicamente estudiados y aprobados. Igualmente se considera que es un inicio que puede ejercer presión en el medio para que las actividades y normativas en pro del aprovechamiento se conviertan en una prioridad para el sector de la construcción”.

El tema de la Gestión Integral de Residuos de la Construcción y Demolición (GIRCD), es de suma importancia como se ha planteado a lo largo de la presente monografía investigativa, puesto que es una gran apuesta que se debe incorporar en el marco de los PGIRS, POT, y todo el tema de la planeación de nuestro territorio.

Los ejes articuladores mencionados anteriormente deberán garantizar dentro del POT sitios destinados a puntos limpios, sitios de aprovechamiento y posteriormente sitios para la correcta disposición final de los RCD. Como se ha evidenciado en el documento la propuesta no sólo va dirigida al momento cuando ocurren eventos adversos de gran magnitud sino también en la incorporación de políticas públicas que tengan una mayor cobertura y alcance.

Según los últimos reportes del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible se realizará una actualización a la resolución 541 de 1994, donde se establecerán mejor los lineamientos y herramientas que permitan realizar una verdadera gestión integral de residuos de la construcción y demolición RCD, donde se incorporen actividades de manejo, aprovechamiento, reciclaje y una disposición final adecuada.

La propuesta para la incorporación de esta metodología es la siguiente:



*Diagrama adaptado proyecto de norma para la gestión integral de RCD, modificación de la resolución 541 de 1994.*

Al igual que la Gestión del Riesgo en nuestro país la Gestión Integral de Residuos de la Construcción y Demolición (GIRCD) es una política que contempla la participación de toda la ciudadanía, pues al existir la política pública y todo el eje articulador estas deberán ser apropiadas por toda la comunidad civil, ya que somos generadores de este tipo de RCD, nuestro deber como ciudadanos responsables y ambientalmente sostenibles, va dirigido a una correcta disposición final de este tipo de residuos especiales, ya que el primer paso para aprovechar los RCD, consiste en buscar alternativas para su correcto almacenamiento.

Como conclusión final se debe cambiar la mentalidad arraigada en los países en vía de desarrollo, al pensar que el tema de reciclar y reincorporar todo tipo de residuos a la cadena productiva, se asocia a personas de bajos recursos. En nuestra región latinoamericana se encuentra estigmatizada dicha actividad. El deber nuestro como profesionales será convertirnos en garantes de estas actividades sostenibles, fuera de incorporar nuevamente residuos para proteger los recursos naturales, es una actividad la cual genera ingresos considerables.

---

Escandón Mejía 2011. Aprovechamiento de Residuos de Construcción y Demolición, Pontificia Universidad Javeriana

### *Recomendaciones finales:*

La presente monografía investigativa refleja la preocupación por darle una pronta respuesta y solución a una verdadera gestión integral de residuos especiales, en este caso residuos de la construcción y demolición RCD.

Como recomendaciones para todos aquellos profesionales interesados en continuar con la investigación, es interesante realizar un trabajo de caracterización puntual al interior de la ciudad de Manizales, de todos aquellos puntos donde se concentra la máxima disposición final de RCD en escombreras ilegales, realizando un estimativo del lugar proyectando los principales impactos ambientales por las pésimas condiciones de disposición final. Es decir se generará un mapa de la ciudad con la identificación de los sitios más afectados Vs Estudio de impacto ambiental del lugar. Con el mapa actualizado se procederá a monitorear los lugares previa limpieza de los mismos.

Como estudio de campo social, se deberá capacitar a la comunidad para que puedan conocer los lugares aptos para este tipo de residuos, dando cabida a los costos de disposición final, y sobre todo las principales empresas gestoras de estos residuos.

El tema relacionado con el POT en busca de crear espacios propicios para la creación de escombreras municipales que cumplan con la normatividad ambiental, será un gran reto para la ciudad, conociendo nuestro escarpado territorio. La búsqueda de mejorar nuestro entorno en pro de un ambiente digno y sano para las futuras generaciones será una gran apuesta para esta y las futuras administraciones.

Una vez analizado el tema de una correcta gestión integral de los RCD, empresas mixtas podrán iniciar la revolución en relación al aprovechamiento de estos residuos especiales, caso concreto como se ha definido anteriormente. Pensando en una visión holística e integral es de suma importancia estar atentos a la normatividad expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible al igual que el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio; en pro de incorporar dentro de los planes de gobierno este tema tan importante para la ciudad, nuestro entorno, nuestro hogar...



**ESTUDIO DE CASO: TERREMOTO DE ARMENIA, COLOMBIA\***

**Resumen**

El 25 de enero de 1999 ocurrió en el Eje Cafetero colombiano un sismo que afectó gravemente a 29 localidades de los departamentos del Quindío, Risaralda, Caldas, Tolima y Valle del Cauca, y dejó un saldo de más de 1.000 muertos, 4.000 heridos y 250.000 damnificados. Las últimas evaluaciones estiman que se destruyeron alrededor de 20.000 viviendas y aproximadamente 60.000 más quedaron averiadas.

*Manejo de residuos sólidos*

La reactivación del sistema de aseo por parte de las Empresas Públicas de Armenia (EPA) se produjo dos días después del terremoto, con la recolección domiciliaria. Se adoptaron jornadas de 18 horas por día, en horarios y rutas especiales; la prestación del servicio se realizó en camiones (volquetes), con recorridos de 12 horas diarias para sitios de difícil acceso, galerías provisionales, apoyo a las labores de socorro y repartición de alimentos.



Daños generados por el sismo del 25 de enero de 1999 en Colombia.

También se diseñaron rutas de recolección de escombros, que permitieran el despeje de vías de acceso al sitio de disposición final de los residuos; se organizaron horarios y días especiales (domingos), con el apoyo de las empresas EMSIRVA de Cali, EMAS de Manizales y las Empresas de Aseo de Pereira.

Se rediseñaron las rutas de recolección de residuos dando prioridad a la atención diaria de albergues inducidos y espontáneos, antes que a zonas comerciales y galerías.

A un mes de la emergencia, se recolectaron y dispusieron 12.600 toneladas de residuos. Se pasó de recolectar y disponer 160 toneladas diarias a 420 toneladas por día en promedio.

Se realizaron programas interinstitucionales (Empresas Públicas de Armenia, CRQ, Universidad del Quindío, Contraloría Municipal), con el objetivo de desarrollar campañas educativas en albergues temporales sobre el manejo de residuos y el uso racional del agua.

Se utilizaron 14 camiones, 10 compactadores y 4 de tolva abierta y, además, se contó con equipos de recolección de otras empresas. Se utilizaron también contenedores en puntos como mercados y albergues temporales.

### *Problemas en la recolección*

Se identificaron los siguientes problemas durante las operaciones de recolección de residuos:

- Inadecuada presentación de los residuos.
  - Clausura de vías de acceso al relleno sanitario.
  - Se triplicó el volumen de generación de residuos.
  - Residuos de tipo doméstico mezclados con escombros.
  - Insuficiencia de personal para la recolección de residuos y escombros.
  - En muchas ocasiones había que disponer camiones al servicio del municipio para el desplazamiento de cadáveres y otras actividades ajenas al aseo.
- Albergues temporales para atender a la población afectada.

### *Sitios de disposición final*

La disposición final se realizó en el relleno sanitario de las Empresas Públicas de Armenia, ubicado entre los barrios El Paraíso, Libertadores y La Esperanza de Armenia, y se habilitaron en coordinación con la CRQ cerca de 40 puntos para la acumulación temporal de escombros.

Se identificaron adicionalmente más de 120 botaderos clandestinos dispersos por la ciudad.

### *Generación de escombros*

El volumen total de escombros generados por el proceso de demolición después del terremoto fue de 3.000.000 m<sup>3</sup> y se proyectó una generación adicional de 900.000 m<sup>3</sup> en el proceso de reconstrucción de viviendas y en el desarrollo de otros proyectos.

De los tres millones de metros cúbicos (3.000.000 m<sup>3</sup>), 65% —es decir, 1.930.000 m<sup>3</sup>— se originaron en Armenia; 13% (aproximadamente 400.000 m<sup>3</sup>) en Pereira; 10% entre Calarcá y La Tebaida, que son municipios con un volumen mayor de 100.000 m<sup>3</sup> cada uno. Siete por ciento fue generado por un grupo de siete municipios: Circasia, Quimbaya, Córdoba, Pijao, Caicedonia, Sevilla, Desquebradas y Cajamarca, con un volumen de entre 10.000 y 60.000 m<sup>3</sup> cada uno. El 5% restante lo produjeron Salento, Filandia, Buenavista, Génova, Alcalá, Argelia, Bolívar, La Victoria, Obando, Ulloa y Roncesvalles.

Del volumen total se removió rápidamente el 53% (aproximadamente 1.600.000 m<sup>3</sup>), que se encontraba en escombreras (muchas no adecuadas técnica ni ambientalmente), orillas de ríos y quebradas, montículos en vías y espacio público, mientras que otro porcentaje ha sido reutilizado espontáneamente por la comunidad. El 47% (aproximadamente, 1.400.000 m<sup>3</sup>) se removió progresivamente, mediante un programa desarrollado específicamente para tal fin.

---

\* Adaptado del Informe de Marisol Ramos Niño (Empresas Públicas de Armenia).

Para la recuperación de puntos de disposición inadecuada de escombros, se plantearon las siguientes actividades:

- Remover totalmente el material y reubicarlo en un sitio adecuado. Relleno sanitario para la disposición final de residuos domésticos (Armenia).
- Desarrollar obras geotécnicas como la construcción de muros de contención, cunetas perimetrales para aguas de lluvia, canalización de aguas superficiales, localización de filtros y arreglo de taludes, entre otras.
- Construir y modificar las redes de alcantarillado y levantamiento de cámaras.
- Desarrollar procesos de compactación y recubrimiento final con suelo orgánico para forestación.
- Fomentar el desarrollo de prados y programas de reforestación.

Para cada lugar, se definieron las obras, las cantidades y los costos aproximados.

#### *Creación de oportunidades de reúso y reciclaje*

Se desarrolló un programa de reciclaje y reúso de los escombros que implicó la recuperación de material útil en cada etapa del proceso. La recuperación de materiales se desarrolló en:

- **Los puntos de generación.** La recuperación del material de los edificios afectados por el terremoto ha sido una práctica generalizada. Sin embargo, la manera como esto se ha llevado a cabo ha variado en relación con las circunstancias y restricciones. Los dueños de las edificaciones que no colapsaron con el sismo pero que sufrieron grandes daños estructurales tuvieron tiempo para recuperar los materiales de las edificaciones, antes de que estas fueran demolidas, por lo cual fue común la recuperación de objetos personales, objetos domésticos e instalaciones.

En algunos lugares se presentaron actos de pillaje. En otros casos, negociantes adquirieron derechos de demolición de las viviendas y con ello el derecho a quedarse con el todo el material que pudieran obtener.

También se recuperó material tanto de los edificios que colapsaron en el terremoto como de los que fueron demolidos posteriormente. Algunos establecimientos en los municipios de mayor tamaño continuaron luego con la venta de materiales recuperados de los edificios.



Generación de escombros por destrucción de edificaciones después del terremoto del 25 de enero de 1999.

Se desconoce la cantidad de materiales recuperados. Sin embargo, las observaciones en los depósitos temporales de las escombreras y las discusiones con las personas involucradas en la remoción de escombros indican que la recuperación de estos objetos se acerca al 100%.

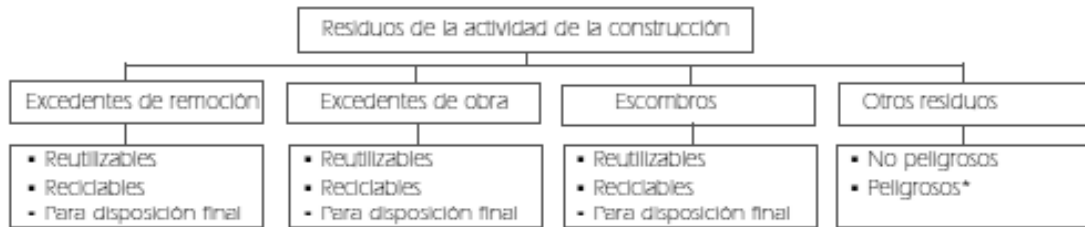
- **Los lugares de almacenamiento temporal.** El potencial de reúso y reciclaje aumenta notablemente si en esta etapa se lleva a cabo la clasificación de materiales durante el proceso de transporte y de almacenamiento. Se observó la presencia de recicladores en los puntos de almacenamiento; adicionalmente, se apreció que a) existe una demanda local de los diferentes materiales, b) hay dificultad de recuperar los materiales deseados.

- **Escombreras.** En algunos casos, se logró mantener la clasificación de materiales que venían desde los puntos de generación o de almacenamiento temporal, factor de suma importancia para lograr beneficios en el reúso o reciclaje. Aunque no se logró en este punto una importante recuperación, se pudieron establecer medidas recomendables como las siguientes:

- Manejar el concreto y la mampostería de manera aislada.
- Remover los materiales agregados.
- Establecer áreas donde los escombros puedan ser procesados y posteriormente, si fuera necesario, almacenados.

## ESQUEMAS DE ALTERNATIVAS PARA EL RECICLAJE DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

### Clasificación y opciones de manejo de los residuos en la actividad de la construcción



Excedentes de remoción	Excedentes de obra	Escombros
Reutilizables		
Entre otros: Agregados, piedras, tierras con contenido orgánico	Entre otros: Cementos y aglomerantes, retazos de fierro, alambres, piedras, productos cerámicos	Entre otros: Productos cerámicos, piedras
Reciclables		
Entre otros: Bolonería	Entre otros: Concreto sobrante Casquete de ladrillo	Entre otros: Mezcla asfáltica de demolición Concreto de demolición Material no bituminoso de demolición de carreteras Material de demolición no clasificado Mezcla de ladrillo con mortero
Para disposición final		
Materiales contaminados, otros	Materiales contaminados, otros	Escombros contaminados

\* En esta categoría se incluyen los materiales peligrosos de las otras fracciones.

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.050:1999. **Manejo de los Residuos de la Actividad de la Construcción. Generalidades.**

## Formato 1. Formato de estimación de daños en edificaciones

Fecha: \_\_\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_

Tipo de edificación: \_\_\_\_\_

**Materiales de construcción:**

Concreto	( )	
Ladrillo	( )	
Metal	( )	
Vidrio	( )	
Madera	( )	
Prefabricado	( )	
Adobe	( )	
Piedra	( )	
Otros	( )	Especificar: _____

### Evaluación de daños:

	Porcentaje
Daño de todos los vidrios, techo, marcos de ventanas	( )
Daños en la estructura de soporte del techo	( )
Agujeros en paredes, daños en techo y marcos de ventanas	( )
Daños en la estructura general	( )

**Calificación de la categoría de daño:** DC \_\_\_\_

DC 1: Daño de todos los vidrios, techo, marcos de ventanas, hasta no más de 33%

DC 2: Daños del techo y marcos de ventanas, hasta no más de 66%

DC 3: Daños en la estructura de soporte del techo hasta de 50%, agujeros en paredes, daños en techo y marcos de ventanas, hasta 100%

DC 4: Daños en la estructura general, hasta de 15%

DC 5: Daños en la estructura general, desde 15% hasta 50%

DC 6: Daños en la estructura general, desde 50% hasta 100%

### Determinación de requerimientos de demolición:

Demolición total de la edificación ( )

Demolición parcial ( ) Especificar: \_\_\_\_\_ %

Fuente: Esquemas de alternativas para el reciclaje de residuos de construcción y demolición

### *Selección de Páginas Web sobre Desastres*

<http://www.crid.or.cr> (Centro Regional de Información sobre Desastres, CRID)

<http://www.fema.gov/mit/how2.htm> (Federal Emergency Management Agency: Reducing risk through mitigation. The Mitigation How to Series: Protecting Your Business from Disasters Wildfires, Flooding, Earthquakes, and Wind)

<http://www.oas.org/usde/publications/Unit/oea66e/begin.htm> (The OAS' Natural Hazards)

<http://www.oas.org/usde/publications.htm> (publicaciones en inglés y en español de la Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Organización de los Estados Americanos)

<http://www.aed.org/learnlink/> (Academy for Educational Development, Academia para el Desarrollo Educativo)

<http://colorado.edu/hazards> (Natural Hazards Research and Applications Information Center, Centro de Investigación e Información de Desastres Naturales)

<http://www.nandotimes.com> (estadísticas sobre desastres)

<http://www.fema.gov/hazus2.htm> (página elaborada por FEMA, que presenta un GIS para estimar el costo de los desastres en distintos escenarios)

<http://cindi.usgs.gov/index.html> (Center of Integration of Natural Disaster Info)

<http://haznet.org/> (Programa de Compilación de Información acerca de Desastres)

<http://www.newsworld.cbc.ca/cgi-bin/go.pl?1999/06/24/redcross990624> (Cruz Roja predice desastres)

<http://www.oas.org/en/cdmp/rdom/Homepag.htm> (Asociación Dominicana de Mitigación de Desastres)

<http://www.favaca.org> (Florida International Volunteer Corps, asistencia y entrenamiento profesional para mejorar las condiciones económicas y sociales en Centroamérica y el Caribe)

<http://pr.water.usgs.gov> (USGS, Puerto Rico)

<http://www.msf.org/> (Oficina Regional de Emergencias de Médicos sin Fronteras)

<http://www.cpacc.org> (Caribbean Planning Adaptation to Global Climate Change)

<http://www.disaster.info.desastres.net/quimicos/> (página web de la OPS con material de capacitación sobre prevención, preparación y respuesta a desastres por productos químicos peligrosos)

<http://www.alianzaong.org.do> (alianza de ONG dominicanas)

<http://www.apic.or.jp/plazaeg/> (Association for Promotion of International Cooperation, Japón)

<http://www.oas.org/en/cdmp/rdom/Homepag.htm> (Organización de los Estados Americanos)

<http://www.ispnet.org> (Directorio Hemisférico de Organizaciones de la Sociedad Civil)

<http://www.sela.org> (Secretaria Permanente del Sistema Económico Latinoamericano, SELA)

<http://www.cdmha.org> (Centro para Manejo de Desastres y Asistencia Humanitaria, Florida Int. Univ.)

<http://www.fema.gov/library/lib17.htm> (publicaciones de FEMA en español)

<http://www.fema.gov/library/lib06.htm> (información general sobre preparación para desastres y mitigación)

<http://www.ifrc.org> (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y la Media Luna Roja)

<http://www.paho.org/desastres/> (Página web principal de la OPS/OMS sobre desastres)

<http://www.disaster-info.net/PED-Sudamerica> (Página web de la oficina de desastres de la OPS para América del Sur)

<http://www.cepredenac.org/> (Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres en América Central, CEPREDENAC)

<http://www.msf.org/> (Oficina Regional de Emergencia de Médicos sin Fronteras, MSF)

<http://stormcarib.com/> (The Caribbean Hurricane Page)

<http://www.colorado.edu/hazards> (Natural Hazards Center, Colorado)

<http://www.le.ac.uk/scarman> (Scarman Centre, Universidad de Leicester)

<http://www.waikato.ac.nz> (Universidad de Waikato, Nueva Zelanda)

<http://www.uniandes.edu.co> (Universidad de Los Andes, Colombia)

<http://www.unu.edu> (United Nations University)

<http://www.disaster-timeline.com> (Disaster Timeline)

<http://epix.hazard.net/> (materiales informativos del Canadá sobre preparación ante emergencias)



<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/> (Canada Centre for Remote Sensing)

<http://www.cepis.ops-oms.org> (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-CEPIS)

<http://www.cenapred.unam.mx> (Centro Nacional de Prevención de Desastres de México)

<http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/disaster.htm> (guía para el manejo de escombros generados en desastres; se incluyen estudios de caso)

<http://www.stopwaste.org/dp/contents.html> (Plan para el Manejo de Residuos Generados por Desastres del condado de Alameda, California)

<http://www.ciwmb.ca.gov/Disaster/DisasterPlan/> (Plan para el Manejo Integrado de Residuos Generados en Desastres-Integrated Waste Management Board)

<http://www.ocipep.gc.ca> (Oficina para la Protección de Infraestructura Crítica y Preparación para Emergencias, Canadá)

<http://www.sphereproject.org> (Proyecto Esfera)

<http://www.icrc.org> (Comité Internacional de la Cruz Roja)

<http://www.helid.desastres.net> (Biblioteca Virtual e Salud y Desastres)

[http://svrweb.ucm.edu.co/biblioteca/index.php?option=com\\_content&view=article&id=30:bases-de-datos&catid=30](http://svrweb.ucm.edu.co/biblioteca/index.php?option=com_content&view=article&id=30:bases-de-datos&catid=30) (Bases de Datos Universidad Católica de Manizales, Caldas - Colombia)

Recuperado de “Gestión de Residuos Sólidos en Situación de Desastre” 2003 Environmental Health in Emergencies and Disasters, preparado por la organización mundial de la salud (OMS). Septiembre 2014

## **Bibliografía:**

Diario el país, terremoto Nepal 2015. Katmandú, antes y después del terremoto en Nepal. La cifra de muertos por el terremoto de 7.8 grados se acerca ya a los 4.000 <sup>1</sup>

Cap. 3 Evolución de la vivienda desde tiempos remotos hasta nuestros días en el mediterráneo.

[http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6113/04PARTE2\\_3.pdf;jsessionid=5580C45A3590C33A2957BFE731863050.tdx1?sequence=6](http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6113/04PARTE2_3.pdf;jsessionid=5580C45A3590C33A2957BFE731863050.tdx1?sequence=6) <sup>2</sup>

ASOCIACIÓN SOCIAL POPULAR. *Estudio para el diseño de valorización de residuos de escombros, mediante un sistema de gestión integral de los mismos para la producción más limpia en la ciudad de Medellín*. Secretaría del Medio Ambiente. Medellín, 2005. 98 p.

ALVARADO, Mary Ruy; LÓPEZ, Isabel Cristina. *Vivienda de emergencia con tubos de cartón reciclado. Trabajo dirigido de grado*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2003.

BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. *Ecomaterials in Colombia: confection of recycled concrete with rubbles*. En: XXX IAHS World Congress on Housing. Coimbra, 2002. p 833-840.

*El concreto reciclado con escombros como generador de hábitats urbanos sostenibles*. Tesis de maestría en Hábitat. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 2003. 122 p.

*La gestión integral de escombros, los ecomateriales y la Vivienda de Interés Social: hacia el descubrimiento de nuevas relaciones*. En: Encuentro Internacional de Sostenibilidad en Edificaciones. Universidad Central de Venezuela. Caracas, 2005.

BEDOYA, Carlos Mauricio. *Confección del concreto reciclado mediante el aprovechamiento de residuos de la construcción. Trabajo de grado*. Escuela de construcción. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1998.

BERTALANFFY, Ludwig Von. *Teoría general de los sistemas*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México, 1976.

BETTINI, Virginio. *Elementos de ecología urbana*. Editorial Trotta S.A. Madrid, 1998.

BUCK, David N. Shigeru Ban. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, 1997.

CEPAL. *Desafíos e innovaciones en la gestión ambiental latinoamericana*. En seminario Experiencia latinoamericana en manejo ambiental. Santiago de Chile, 2000.

CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN. *Plan de manejo ambiental para los centros de acopio de los escombros*. En I seminario-taller Gestión ambiental en el Municipio e Medellín. Medellín, 2000.

CORVIDE. *Plan de vivienda y hábitat; dejando huella social*. Medellín, 2001. 60 p.

GIRARDET, Herbert. *Creando ciudades sostenibles*. Ediciones Tilde. Valencia, 2001.

HERMANSSON, Lars-Anders. Building issues, cement-bonded straws slabs; a feasibility study. Lund University. 1993.

IPES. Instituto de promoción de la economía social. Avances en la gestión de residuos sólidos de ciudades de América Latina y El Caribe. Maynas, 1998.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Una aproximación al estado de la gestión de las ciudades en Colombia. Bogotá, 2002.

SALAZAR, Alejandro. Diseño de materiales con residuos sólidos industriales, Medellín. Cátedra viajera CORONA, 1998.

UNITED NATIONS FOR HUMAN SETTLEMENTS. Report of the network of african countries on local building materials and technologies. Nairobi, 1993.

Ministerio del Medio Ambiente. (1995). *Guía Técnica para el Manejo de Escombros en las Obras de Construcción*. Santa fe de Bogotá, Colombia.

Monge C. Ginnette. (2008, 9 de febrero). *La Nación*. Citado en la pag. 25 Municipalidad de Desamparados. (2009). Recuperado de [www.desamparados.go.cr](http://www.desamparados.go.cr), Costa Rica. Oficina Asesora de Gestión Ambiental del IDU.

*Presentación del Programa de Implementación del Plan de Manejo Ambiental del PIPMA*. Bogotá, Colombia: Editorial. Organización Panamericana de la Salud. (2002). *Evaluación regional del manejo de residuos sólidos municipales*. Bogotá, Colombia: Editorial.

Universidad Nacional de Colombia, División de Recursos Físicos. (2003). *Protocolos para el Manejo de Escombros y Materiales sobrantes de Construcción*. Bogotá, Colombia.

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. **Planning for Disaster Debris**, 1995.

California Integrated Waste Management Board. **Integrated Waste Management Disaster Plan**. California, 1995.

PNUMA/International Environmental Technology Centre. **Earthquake Waste Symposium**. Osaka, 1995.

University of British Columbia. **Disaster Debris Management**. Canadá, 1995.

Aiassa, G. M., & Arrúa, P. a. (2007). Diseño De mezclas De suelo compactado para la construcción De terraplenes. *Revista EIA - Medellín*.

Alcaldía de Medellín. (2008). *Gestión Integral de Residuos Sólidos G.I.R.S*. Medellín: Alcaldía de Medellín.

Ley 1259 del 12 de Diciembre 2008 - "Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones".

Banias, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N., & a, I. P. (2011). A webbased Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Management*.

Bedoya, C. (2003). El Concreto Reciclado con Escombros como Generador de Hábitats Urbanos Sostenibles. *Universidad Nacional de Colombia – Medellín*.

Bojaca, N. (2008). Concreto Sostenible como Alternativa Estructural, Ambiental y Económica en la Construcción de Obras Civiles. *Escuela Colombiana de Ingeniería*, 32.

Botero, L. G. (2003). Sostenibilidad de la disposición de escombros de construcción y demolición en Bogotá. *Tesis Universidad de los Andes*.

Breccolotti, M., & Materazzi, A. L. (2010). Structural reliability of eccentrically-loaded sections in RC columns made of recycled aggregate concrete. *Engineering Structures*.

British Standards. (2000). *BS 6073*. UK.

Castellanos, N. T., & Quiroga, P. N. (2010). Concretos con Agregados Provenientes de Escombros de Construcción y Demolición en Colombia. *Asociación Colombiana de Ingenieros*.

<http://www.usgbc.org/> Velandia, D. (2011). Impacto de la reutilización del concreto como agregado reciclado: Mitos y Realidades. *Agregados Reciclados: Mitos y Realidades*.

Bogotá: ASOCRETO. Villada, L. A., & García, R. A. (2007). Formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos regional del Valle de Aburrá. *Producción + Limpia*.

WRAP Design out Waste. (2011). *Principles and Process*. Retrieved 17 de Agosto de 2011

[http://www.wrap.org.uk/construction/tools\\_and\\_guidance/designing\\_out\\_waste/index.html](http://www.wrap.org.uk/construction/tools_and_guidance/designing_out_waste/index.html) Waste and Resources Action Programme. (2011).

[http://www.wrap.org.uk/construction/tools\\_and\\_guidance/designing\\_out\\_waste/case\\_studies.html](http://www.wrap.org.uk/construction/tools_and_guidance/designing_out_waste/case_studies.html)

WRAP UK. (2011). *Site Waste Management Planning*. Retrieved 12 de Julio de 2011 from

[http://www.wrap.org.uk/construction/tools\\_and\\_guidance/site\\_waste\\_management\\_planning/index.html](http://www.wrap.org.uk/construction/tools_and_guidance/site_waste_management_planning/index.html)

Yang, J., Du, Q., & Bao, Y. (2011). Concrete with recycled concrete aggregate and crushed clay bricks. *Construction and Building Materials*.

Yuan, F., Shen, L.-y., & Li, Q.-m. (2011). Energy analysis of the recycling options for construction and demolition waste. *Waste Management*.

Yuan, H., Shen, L., Hao, J. J., & Luc, W. (2011). A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources, Conservation and Recycling*.