

**EL CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS COMO GENERADOR DE
HÁBITATS URBANOS SOSTENIBLES**

“La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural”

CARLOS MAURICIO BEDOYA MONTOYA

Arquitecto Constructor

LUIS FERNANDO GONZÁLEZ

Director

Trabajo presentado como requisito para optar al título de Magíster en Hábitat

Escuela del Hábitat

Facultad de Arquitectura

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN

Julio de 2003

CONTENIDO

	Pág
Introducción	I
Capítulo 1,	
De los flujos de energía y la transformación de los materiales	1
1.1 La ciudad y su metabolismo	5
1.1.1 La construcción dentro del metabolismo urbano	8
1.2 El orden interno a causa del orden externo	14
1.2.1 La entropía, las materias primas para construcción y los escombros	17
Capítulo 2,	
El concreto reciclado con escombros	27
2.1 Generalidades	27
2.2 Factibilidad técnica del concreto reciclado	32
2.3 Factibilidad económica del concreto reciclado	37
capítulo 3,	
El ciclo urbano de los escombros	40
3.1 Leyes aplicables al ciclo urbano de los escombros	45
3.1.1 Ley del costo de la eliminación evitada	45
3.1.2 Las leyes de los recursos disponibles y la recogida recompensada ..	49
3.1.3 Ley de los puestos de trabajo	52
Capítulo 4, De un paradigma de pensamiento lineal a un paradigma de pensamiento cíclico	55
4.1 De lo lineal y lo cíclico	55

4.1.1 Flujo o pensamiento lineal	55
4.1.2 Flujo o pensamiento cíclico	56
4.2 Buenas prácticas de construcción sostenible	57
4.2.1 Programa “Living Better” de construcción comunitaria	58
4.2.2 El edificio de laboratorios de la Universidad Nacional, Medellín	62
4.2.3 Viviendas de emergencia con tubos de cartón reciclado	64
4.3 Herbert Girardet: Sostenibilidad, buenas prácticas urbanas y pensamiento cíclico	67
Conclusiones	76
Bibliografía	79

Lista de tablas

Tabla 1, Comparación entre producción de RSU y escombros en el Valle de Aburrá	25
--	----

Lista de gráficos

Gráfico 1, proceso de combustión, inputs y outputs	2
Gráfico 2, ecosistemas heterótrofos	4
Gráfico 3, localización de canteras en el norte del Valle de Aburrá	9
Gráfico 4, Tratamientos lineales de materia en ecosistemas urbanos	11
Gráfico 5. localización de puntos negros en Medellín	20
Gráfico 6, sistema acoplado de vientos para el Valle de Aburrá	22

Lista de fotografías

Fotografía 1, vista general con localización de canteras en el norte del Valle de Aburrá	24
Fotografía 2, prefabricados de concreto reciclado	36
Fotografía 3, edificio de laboratorios Universidad Nacional Medellín	63
Fotografía 4, Pabellón Odawara	66

Dedicado a:

Mi familia, mis estudiantes y John Muñoz

AGRADECIMIENTOS

Deseo Agradecer a las siguientes personas:

- ◆ Mi hija Carolina y mi esposa Paola
- ◆ Mi mamá, mi papá y mis cuatro maravillosos hermanos
- ◆ Luis Fernando González, por ser director y compañero de camino
- ◆ Fabian Beethoven, Rafael Rueda y Luis Alfonso Escobar, por haber creído en mí a cada momento
- ◆ Jorge Mario Gómez, Dora Lucía Mejía, María Cecilia Múnera y Juan Carlos Ochoa; por entender que este es un proyecto de Facultad
- ◆ Gloria, Martha, Freddy, Chucho, Pedro Pablo, Ramiro, Alex y Felipe; compañeros y amigos de la cohorte
- ◆ A los docentes de esta maravillosa aventura llamada Maestría en Hábitat

INTRODUCCIÓN

La necesidad de reciclaje de los residuos de construcción no solamente concierne a las comunidades más industrializadas, sino también a una demanda global con diferentes prioridades. Muchos países, que van desde los más industrializados como Holanda o Dinamarca, a otros en vías de desarrollo como Bangladesh, experimentan a partir de estas prácticas el ahorro de recursos naturales. Incluso países como Kuwait se dieron cuenta de sus demandas para comenzar a aplicar técnicas de reciclaje. En este último país, tras la ocupación de 1990 – 1991, se viene dando un especial incremento del tratamiento y reciclaje de grandes cantidades de residuos de la construcción. Esta demanda de reciclaje de materiales es común en todos los lugares donde los edificios y las instalaciones han sido dañados a causa de guerras, terremotos u otros desastres naturales.

Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje de escombros es bastante atractivo porque aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y evita la degradación de recursos naturales no renovables; pero, desde el punto de vista netamente económico, el concreto reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo y a la calidad. Los materiales reciclados son normalmente competitivos donde existe dificultad para obtener materias primas y lugares de depósito adecuados. Con el uso de los materiales reciclados, se pueden obtener grandes ahorros en el transporte de residuos de la construcción y de materias primas. Esto se puede notar especialmente en las

áreas urbanas o en los proyectos de construcción donde se pueden reunir la demolición y la nueva obra, también donde es factible reciclar una gran cantidad de escombros en el mismo lugar de trabajo o en las cercanías.

El reciclaje de residuos de la construcción, ha sido de interés en grandes proyectos relativos a la rehabilitación y reconstrucción después de desastres o guerras, pero también debe serlo en lugares como el nuestro, pues son muchas las porciones de paisaje que se han ido perdiendo debido a la extracción de materias primas para la confección de materiales para la construcción, como también los problemas de su vertido, que afectan no sólo lo estético, sino la vida útil de los rellenos sanitarios y, por consiguiente, las condiciones de habitabilidad urbana.

La aceptación o no del concreto reciclado por parte de la población fue el aspecto que motivó a que una investigación previa, desarrollada en un marco eminentemente técnico, se constituyera en un proyecto de investigación para la Maestría en Hábitat [1]. Después de conseguir óptimos resultados en cuanto a las características físico mecánicas del hormigón confeccionado con escombros, tales como su resistencia, durabilidad y textura, se pensó que la introducción de este material compuesto en el campo de la construcción era cuestión de días. Sin embargo, dos años después de mostrar el producto a la comunidad académica, industrial y civil en general, este seguía siendo visto como algo “muy bonito”, interesante y “ecológico”, pero no más; proyectos que pudieron en su momento (1999 – 2000) haber sido construidos con este material, fueron desarrollados finalmente con el concreto tradicional, “la verdad es que la gente apenas se le diga que su vivienda está hecha con escombros va a pegar el grito”, era el argumento

de los directores de proyectos y fiduciariasⁱ. Este y otros rechazos fueron consecutivos. Inclusive para mejoramientos de vivienda en estratos 1 y 2, se presentan este tipo de rechazos, que si son analizados no obedecen a una justificación científica ni económica, pues dentro de los datos comprobados estaba el costo de un 10% menos comparado con el concreto tradicional.

Estos aspectos, sumados a la experiencia de compartir un proceso formativo en el espacio generado por la Fundación FORHUM en el 2000, por medio del curso sobre *Metodologías de Investigación en Estados del Arte*, cuyo énfasis era cualitativo, sirvió de detonante para que la investigación tomara el rumbo de una visión basada en las ciencias humanas y su posible interacción con el acervo técnico que ya se había adelantado. Como resultado de ese curso, se obtuvo precisamente la formulación del proyecto de investigación para la Maestría en Hábitat, pues se logró entender que no basta con sacar al medio un excelente material ecológico en el buen sentido de este término, sino que, además, hay que comprender que las comunidades para las cuales los profesionales diseñan estos materiales poseen organizaciones sociales y preceptos culturales que inciden en la forma de ver las cosas. Entender estas dinámicas se convierte entonces en el primer paso, necesario para determinar si se continúa con la misma propuesta técnica o se cambia por otra; cómo se puede acercar, de manera formativa, la sociedad hacia el producto, de tal manera que sea visto como un buen hábito, convirtiéndose con el tiempo en hecho cultural, tal como ha venido sucediendo en muchas comunidades.

Durante el proceso de investigación se ha encontrado que, en efecto, los problemas de estas propuestas basadas en nuevos materiales o materiales no convencionales son:

- La resistencia al cambio de hábitos por parte de constructores y usuarios.
- La inclinación de las autoridades municipales por mantener las políticas actuales para la disposición de escombros y extracción de materiales para la construcción, pues de esta manera no necesitan buscar nuevas vías para solucionar el conflicto generado por este tipo de residuos.
- La idea de que este material confeccionado con residuos, es para pobres. Es decir, que se ve en su uso un motivo para una estigmatización social.
- Y que no tenemos todavía una crisis de agotamiento de canteras para extraer materias primas en el Valle de Aburrá.

La propuesta de un nuevo concreto basado en la sustitución de recursos no renovables por materias primas provenientes del reciclado de escombros es totalmente válida, si recordamos que el concreto, dadas las nuevas tecnologías de construcción introducidas en nuestro medioⁱⁱ, sigue siendo el protagonista. De tal manera que el planteamiento acerca de la validez de confeccionar concreto reciclado nos lleva al segundo paso, el cual consiste en diseñar la estrategia adecuada para acercar de manera formativa a la comunidad en general y a los profesionales de la construcción, a un material no convencional de uso en la actividad edilicia, basado en un concepto de sostenibilidad que combina las variables ambientales, técnicas y económicas coherentemente, logrando así que

un hábitat urbano construido convierta los desechos en recursos y establezca leyes de equilibrio en cuanto al flujo de energías y de materiales.

La cuestión que nos ocupa entonces es el acercamiento de la comunidad a la propuesta técnica del concreto reciclado con escombros, para lo cual es importante entender los flujos, su ciclo, la manera de insertarse en la dinámica del hábitat urbano. Pero, también, en esta tesis se muestran las posibles formas de actuar para lograr introducir con gran aceptación un nuevo paradigma dentro de la construcción. Los proyectos piloto, las plantas de reciclaje y la implementación agresiva de una educación ambiental son actividades futuras; pero lo que sí es un hecho es la presencia en el mundo y, en nuestro medio, de experiencias de una magnitud significativa de utilización de materiales, cuyas materias primas han sido escombros. Se tienen datos de prefabricados de uso común en la construcción como bloques de concreto y bordillos para vías (Bedoya, 1998), también de edificios recientes construidos con bloques de concreto que han tenido como parte de sus agregados de constitución, material cerámico reciclado. Se trata, en síntesis, de plantear la posibilidad de un funcionamiento urbano como sistema de ciclo semi-cerrado o parcialmente cerrado, en cuanto a la producción, confección y reciclaje de un material tan empleado en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá como el concreto, en el cual se integren las comunidades como dinamizadoras de procesos socioculturales en función de la consolidación de hábitats urbanos sostenibles. Tarea en la cual será vital el acompañamiento de la universidad y la decisión política de la administración municipal.

Preocupa que el problema generado por la gran cantidad de escombros sea mirado desde el punto de vista de autorizar sitios para su disposición final, sin llegar a propuestas para implementar un programa que no solo logre la recolección organizada de éstos, sino que además proponga su reutilización y/o el reciclaje para la producción de áridos ecológicos que reemplacen los agregados naturales no renovables empleados en la confección de mezclas de concreto. En nuestro país el concreto es el material de construcción más utilizado y aún le quedan buenos años de protagonismo, por lo cual vale la pena encaminar los esfuerzos de la comunidad académica y de la actividad edilicia hacia la consolidación de una cultura de construcción sostenible.

El trabajo entonces se desarrollará en cuatro capítulos:

1. De los flujos de energía y la transformación de los materiales
2. El concreto reciclado con escombros
3. El ciclo urbano de los escombros
4. De un paradigma de pensamiento lineal a un paradigma de pensamiento cíclico

El capítulo 1 aborda el tema de los flujos de energía y la transformación de materiales, pretendiendo con ello explicar el comportamiento metabólico que las ciudades presentan, comportamiento en el cual hay entrada de insumos, transformación (específicamente referido a la construcción) y generación de desechos en forma desordenada. Se utiliza para el análisis de la ciudad como ecosistema, la teoría termodinámica de la entropía.

En el segundo capítulo se trata lo referente al concreto reciclado con escombros. Aspectos tales como su factibilidad técnica y económica como material competitivo en el sector de la construcción son ilustrados a fin de validar el presupuesto teórico de una construcción sostenible, pues no se puede desconocer que aparte de presentar un balance ambiental positivo, el concreto ecológico debe cumplir con características que le permitan ser comercializado al mismo nivel de los materiales tradicionales.

El capítulo 3 muestra al lector el ciclo que normalmente llevan a cabo los escombros en una ciudad. Es de aclarar que en esta parte del texto se comienzan a hacer cuestionamientos acerca de la forma como son manejados estos residuos inertes de las obras, al mismo tiempo que se plantean modelos alternativos sostenibles que presentan ventajas para la colectividad urbana tanto a nivel ambiental como económico.

Una vez se ha ilustrado la potencialidad de un modelo de gestión integral para los escombros, con el cual se reduce la huella ecológica de una conurbación como Medellín y sus municipios cercanos, se da paso al cuarto y último capítulo en el que se debaten dos tipos de paradigmas aplicables al metabolismo urbano específico de la construcción, uno de ellos es el pensamiento lineal y el otro tiene que ver con un pensamiento cíclico sostenible. Para ilustrar mejor la tesis allí propuesta, se citan ejemplos de comunidades y sus experiencias de construcción sostenible, las cuales son referenciadas como buenas prácticas de sostenibilidad urbana. Por último se expresan las conclusiones y algunas recomendaciones

derivadas del desarrollo de la tesis, las cuales tienen como objetivo sintetizar una propuesta de manejo integral de residuos resultantes de la actividad de la construcción y señalar las posibles líneas en las que se pueda y deba profundizar la presente investigación.

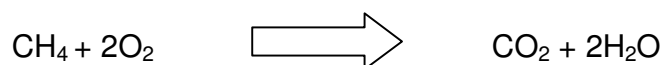
FUENTES

[1] BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio. Confección del concreto reciclado mediante el aprovechamiento de residuos de la construcción. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1998.

CAPÍTULO 1

DE LOS FLUJOS DE ENERGÍA Y LA TRANSFORMACIÓN DE LOS MATERIALES

Al plantear el tema del reciclaje se hace necesario tocar los principios físicos del flujo de energía y lo concerniente a la transformación de la materia. Para explicar didácticamente estos dos conceptos, se hará una analogía con el fenómeno fisicoquímico de la combustión. Este último es una reacción química que se logra con la unión de tres elementos básicos como son el combustible, un comburente y la temperatura de ignición necesaria para generar la reacción. En el caso de que se pretenda lograr una combustión con gas metano (CH₄), buscando que ésta sea completa, se necesitará además de la masa del combustible, la masa del comburente que siempre será oxígeno. La temperatura de ignición se puede obtener bien por una chispa o una alta temperatura, sin necesidad de que haya fuego presente. La combustión de determinada masa de CH₄ se expresará químicamente de la siguiente manera:



Si se observa la ecuación anterior, se tiene que la cantidad de materia que ingresa es igual a la cantidad de materia que sale del proceso, solo que transformada y con una menor calidad, pues los *inputs*ⁱⁱⁱ al reaccionar con el calor, se convierten en *outputs*^{iv}, como son los productos resultantes de la combustión, conocidos también como gases del efecto invernadero GEI. Lo anterior encuentra explicación en el principio de la degradación de la energía: *en todo proceso real se pierde*

energía potencial útil. Esto quiere decir que los *outputs* ya no estarán en capacidad de realizar el mismo trabajo o producir la misma cantidad de calor que los *inputs*. Siendo los *outputs* de una menor calidad y considerados como componentes del aire viciado que no servirán después para el proceso de respiración.

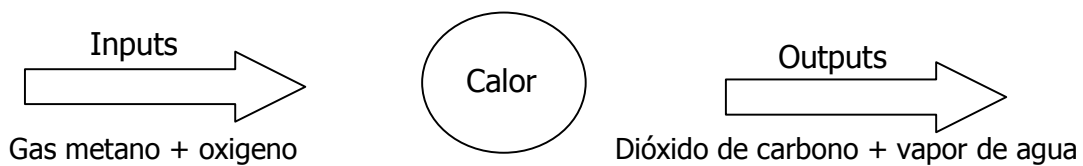


Gráfico 1. Proceso de Combustión del gas metano, entradas y salidas

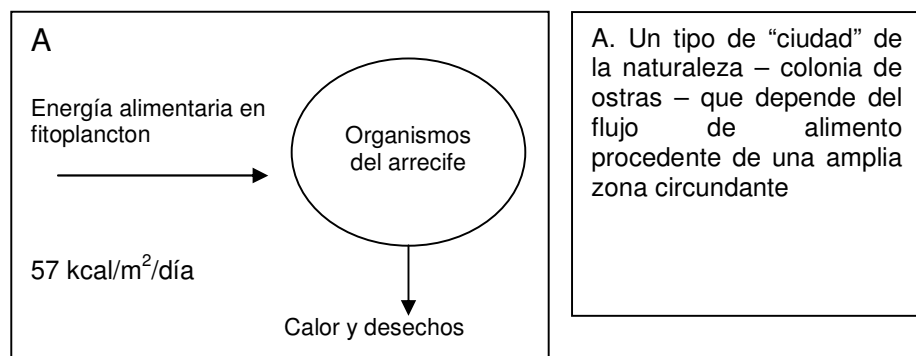
En el ejemplo anterior se muestra entonces el flujo de energía y materiales presente en el fenómeno de la combustión. Inicialmente la energía entra al sistema como la masa combustible, energía química; pero luego de reaccionar con el oxígeno y la temperatura de ignición, aquella masa libera una cantidad de calor que será disipada en el medio aumentando su entropía, dando lugar a la producción de residuos del proceso como son los productos resultantes de la combustión, en los cuales están contenidos el dióxido de carbono CO_2 y el agua en forma de vapor. Se ha despreciado el nitrógeno en el ejemplo por ser este un gas inerte en la reacción de la combustión, aunque es de aclarar que este gas en altas concentraciones en la atmósfera, al mezclarse con otros gases provenientes de los procesos de combustión incompleta de las industrias y los vehículos, es el causante de las lluvias ácidas.

Un bosque, una ciudad, una vivienda, bien pueden ser analizados de forma análoga para determinar los flujos de energía y la transformación de materiales

que en sus procesos tienen lugar. A mediados del siglo XIX Eugene P. Odum, conocido ornitólogo y ecólogo, junto con su hermano Howard, fueron los primeros en considerar que los ecosistemas se comportan, termodinámicamente hablando, como los seres vivos: “Los organismos vivos, los ecosistemas y la biosfera en su conjunto poseen la característica termodinámica esencial de ser capaces de crear y mantener un elevado orden o de baja entropía” (*Fundamental of Ecology*, p. 37). Los hermanos Odum representaron por primera vez los ecosistemas como flujos energéticos. La ciudad, según Eugene Odum, debe definirse como un “ecosistema heterótrofo”, o también como un sistema incompleto heterótrofo, dependiente de amplias zonas cercanas y no cercanas para la energía, los alimentos, el agua y otros materiales como los utilizados para la construcción. La ciudad debe entenderse a su vez como un ecosistema artificial, que se diferencia de uno natural porque presenta una tasa metabólica mucho más intensa y desordenada por unidad de área, lo que demanda un mayor flujo de entrada de energía concentrada, aportada en su mayor parte por los combustibles fósiles; además, porque necesita que ingresen otros materiales especiales como son los metales para la industria y el comercio, sumándose a estos los materiales básicos para el sostenimiento de la vida. La ciudad como ecosistema artificial, presenta una producción muy alta de gases contaminantes y desechos, en su mayoría mucho más tóxicos que sus materias primas de origen: “Por tanto, los ambientes de salida y de entrada son relativamente más importantes en el sistema urbano que en un sistema autótrofo como, por ejemplo, un bosque” (Bettini, 1996; 77).

Cuando en líneas anteriores se dijo que la ciudad es un sistema incompleto heterótrofo, es porque Odum sostiene que la ciudad no tiene una ecología

separada del campo que la circunda, es decir, “para percibir la ciudad tal y como realmente es, para resolver sus problemas, es necesario expandir el pensamiento y la acción fuera de los estrictos límites urbanos” (*ibid.*, 79). Lo que quiere decir que la ciudad es dependiente de lo externo, pero a su vez, domina y afecta dicha externalidad, pues si bien se sirve de los materiales y de energías almacenadas en algunos de estos materiales - los cuales en su mayoría son importados - para llevar a cabo sus procesos de transformación de materia y prestación de servicios, genera una enorme cantidad de residuos que no son dispuestos y menos aún tratados en el interior de la ciudad. Estos últimos salen de los centros urbanos en forma de calor disipado y desechos que son llevados a zonas limítrofes o no limítrofes para su disposición final. Generalmente estos vertederos o rellenos sanitarios, quedan ubicados en municipios que no se benefician siquiera con la dinámica de la ciudad que expulsa sus residuos hacia ellos.



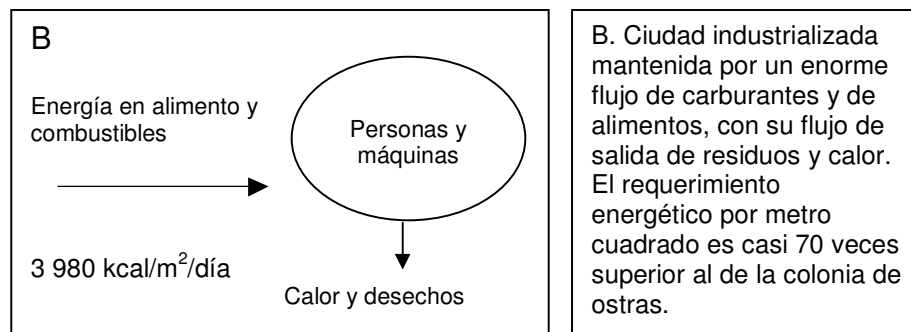


Gráfico 2. Ecosistemas heterótrofos. Ciudad de la naturaleza/ciudad industrializada
Fuente: Odum (1971).

1.1 LA CIUDAD Y SU METABOLISMO

Si en páginas anteriores se dijo que la ciudad era considerada como un ecosistema heterótrofo por Odum, vale la pena remitirse a la definición que de ecosistema este autor da a conocer: “Unidad que incluye todos los organismos de un área determinada (la comunidad biótica) que interactúan con el medio físico de tal manera que un flujo de energía conduzca a una estructura trófica definida, a una diversidad biológica y a un ciclo de la materia (un intercambio de materia entre lo vivo y lo inerte) en el interior del sistema”. De ahí que sea tan necesario conocer el metabolismo de una ciudad, los flujos de materia y energía, para tener un entendimiento sobre las dinámicas y las relaciones que se dan entre los diferentes elementos que la componen.

En el ecosistema urbano hay dos tipos de ciclos en cuanto al balance de nutrientes y materiales se refiere: uno requerido para sostener los seres vivos y otro para alimentar los flujos productivos del comercio y del consumo. De tal

manera que, en cuanto al aspecto del metabolismo humano, Bettini propone una serie de ecuaciones donde los flujos son los siguientes:

$$N_s - W_1 = N_c - W_2$$

N_s , el total de los nutrientes necesarios en la zona urbana;

W_1 , los residuos que derivan del abastecimiento y de la distribución;

N_c , la cantidad de nutrientes consumidos;

W_2 , desechos producidos en la preparación de alimentos.

A su vez $N_c = B_1 + W_g + W_s$, donde:

B_1 , el incremento en la biomasa humana;

W_g , los residuos gaseosos;

W_s , los residuos líquidos de la biomasa humana.

De igual manera, Bettini señala que la ciudad además debe entenderse como un sistema de consumo, por lo que se debe cuantificar el flujo de los materiales. Este balance de materiales se puede esquematizar de la siguiente manera:

$$M_s = M_o + W_f + W_a + M_c + M_t$$

Donde:

M_s , es la cantidad de materiales que entra en la ciudad;

M_o , los materiales exportados de la ciudad;

W_f , los residuos sólidos y líquidos;

W_a , los contaminantes atmosféricos que derivan de la utilización de estos materiales;

M_c , los materiales usados para la producción de calor;

M_t , la ganancia neta en materiales que se incorporan a la ciudad^v.

De las ecuaciones anteriores se desprende como factor común, que la transformación de los materiales en una ciudad y el crecimiento de ésta, producen un flujo directo de residuos. Estos últimos con una serie de efectos sobre la atmósfera, la biosfera, la litosfera y la hidrosfera. Esto nos remite al ejemplo de la combustión estequiométrica que se colocó al inicio de este capítulo, en el cual se mostró que los materiales que ingresan a manera de *inputs* en la reacción química, salen a manera de *outputs* pero con una calidad menor. Abel Wolman llama a este proceso metabolismo urbano, tal como lo nombró en su artículo *The metabolism of cities* (1965). Según él, son innumerables los flujos que entran y salen de la ciudad, pero son tres los *inputs* y los *outputs* comunes:

Inputs: agua, alimentos y combustibles;

Outputs: aguas residuales, residuos sólidos y contaminantes atmosféricos.

Cabe anotar que en el metabolismo urbano planteado por Wolman están contemplados sólo aquellos materiales básicos para la sostenibilidad urbana; es decir, nutrientes, agua y petróleo. Pero, la ciudad no solo es un ecosistema para alimentarse, ofrecer servicios o transformar materiales, también es un espacio para habitar, y no se habita en el espacio abierto, sino en aquel delimitado por la materialización de las paredes y del techo, en otros términos, en la casa o el edificio como producto de la interacción entre el gesto técnico de construir y el morar. De tal forma que a los *inputs* expuestos por Wolman, bien se puede agregar el de los materiales para la construcción^{vi}, correspondiéndole a éste su

respectivo *output* que sería el de los residuos provenientes de la construcción o escombros. Quedando complementados así:

Inputs: agua, alimentos, materias primas para construcción y combustibles;

Outputs: aguas residuales, residuos sólidos, escombros contaminantes atmosféricos, calor, ruido, entropía.

Para el caso de Medellín, el sólo *output* de los escombros era de 6000 toneladas diarias en 1997, con una población de dos millones de habitantes (Fuente: CAMACOL, Antioquia); esto es, aproximadamente 2700 m³, si se tiene una densidad promedio de 2200 kg/m³. Actualmente esta cantidad puede estar del orden de las 4000 ton/día dada la desactivación de la construcción después de 1998; sin embargo, ni Contraloría ni Empresas Varias de Medellín tienen estos datos.

La producción de residuos sólidos urbanos está contemplada en 2400 Toneladas diarias para Medellín y su Área Metropolitana; o sea, unos 2400 m³ si se tiene en cuenta una densidad de 1000 kg/m³ para este tipo de residuos. En cuanto a los materiales para la construcción hay que aclarar que aunque estos diariamente ingresan al ecosistema urbano, gran parte de estos se queda en él, pues harán parte constitutiva de los edificios y de las vías de la ciudad, lo que hace que se generen los escombros. Además de las nuevas obras, el ritmo constante de densificación poblacional acarrea consigo reformas y demoliciones de estructuras viejas o no aptas para un nuevo proyecto arquitectónico o civil.

1.1.1 LA CONSTRUCCIÓN DENTRO DEL METABOLISMO URBANO

La principal característica de una ciudad es su ciclo ininterrumpido de demolición-construcción, lo cual es un indicador muy específico del metabolismo urbano. Basándonos en el estudio metabólico de la ciudad de Hong Kong, realizado en los años setenta y recomendado como modelo-guía, en una ciudad se destruye anualmente un 0,6% de lo construido, en tanto que el volumen edificado aumenta un 5%.

De lo anterior se puede deducir que cada vez es mayor la demanda de materiales para la construcción por parte del ecosistema urbano, como también es tendiente al crecimiento la cantidad de residuos o escombros generados por este proceso de demoler y construir. Esto significa que si bien la ciudad tiende a generar un mayor orden en su interior, lo hace a costa de un mayor desorden en las zonas externas de donde se surte de los materiales y a las cuales expulsa sus residuos.

En el caso de Medellín y su área metropolitana, el problema puede ser diferente y aún mas grave, como se muestra a continuación.

(Ver gráfica en la página siguiente)

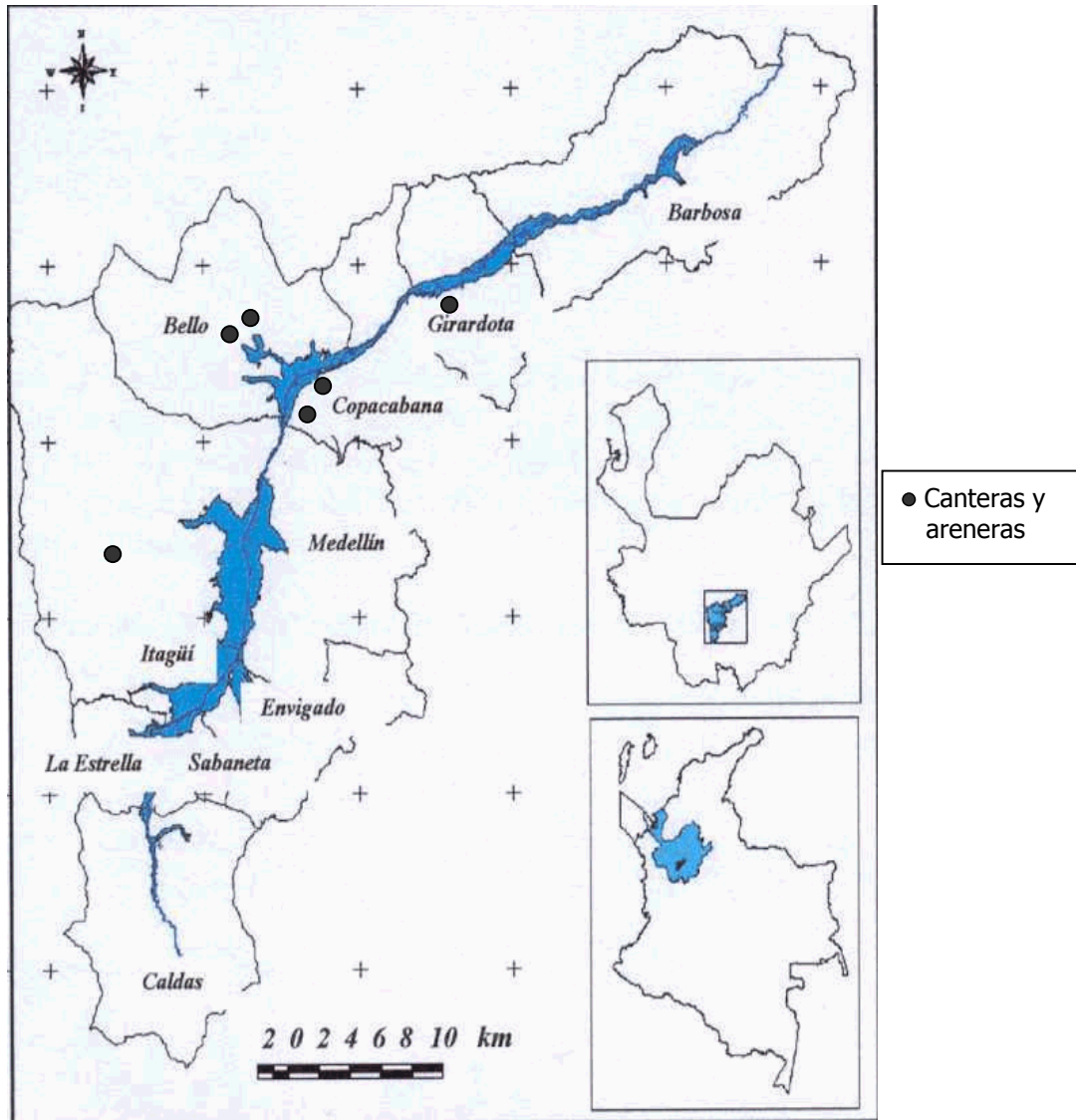


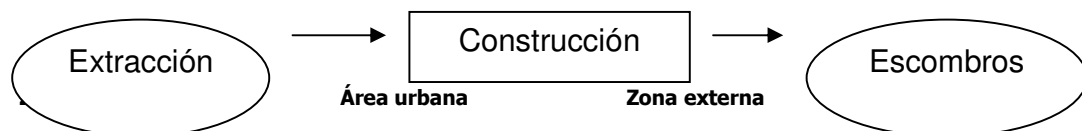
Grafico 3. El Valle de Aburrá y la localización de canteras para la extracción de agregados para confeccionar concreto. Fuente: Mejía (2002).

En el caso de la conurbación del Valle de Aburrá, los materiales para construcción como el ladrillo y el concreto ocupan un gran porcentaje en volumen y en masa, pues los sistemas constructivos aporricados combinan el ladrillo (muros) con el concreto reforzado (estructura). Los sistemas de estructuras laminares suelen utilizar el bloque de concreto o el ladrillo con el concreto cuando se trata de mampostería estructural y los sistemas de muros macizos están constituidos a veces casi en un 100% por el concreto reforzado, también conocido con el nombre de hormigón armado. Tanto para confeccionar el ladrillo como el concreto, las canteras y minas se encuentran ubicadas en la zona urbana del norte, centro y sur del Valle de Aburrá. En la parte norte se encuentran las canteras de agregados para confeccionar concreto, en este material compuesto, los agregados ocupan más del 70% de la masa total; Girardota, Copacabana y Bello han sido grandes despensas para los constructores antioqueños, no en vano sus laderas se cuentan entre las más degradadas de Colombia. En el centro, la zona de San Javier también tiene importantes canteras de agregados para concreto. En el sur, en el sector de Guayabal y parte del municipio de Itagüí, se pueden ubicar las minas para la extracción de arcillas utilizadas en la confección de ladrillos cerámicos, aunque estas ya no sean de óptimas características físico mecánicas, dado su agotamiento después de años de extracción ininterrumpida.

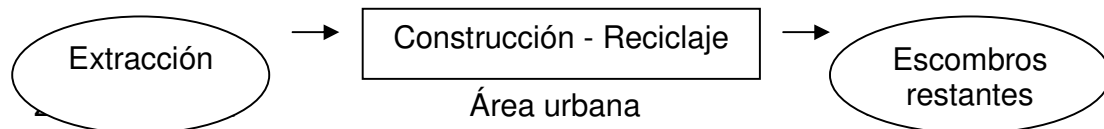
Si hablábamos que el orden se haría a costa del desorden de las zonas externas a la ciudad en el caso de la construcción, para el Valle de Aburrá se presenta un tanto diferente, pues como se dio a entender en el párrafo anterior, los materiales más representativos en masa y en volumen tienen su abastecimiento al interior de la conurbación misma, ya que el cemento, que es el único importado, representa

un 20% aproximadamente para el caso del concreto. Esto quiere decir que el desorden en este aspecto no se presentaría tanto en la externalidad del ecosistema urbano sino en su interior, aumentando así la entropía o el desorden de sí mismo. Pero la conurbación de Medellín y el Valle de Aburrá presenta, además de ésta, otra situación delicada, pues al input de los materiales ya descritos le corresponde el output de los escombros, como ya se ha mencionado en este capítulo, los cuales son vertidos en el interior mismo de este ecosistema urbano, contribuyendo al aumento de la entropía del sistema. El problema de los materiales y los escombros se torna crítico para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá - AMVA - porque a diferencia de otros centros urbanos, en los cuales los materiales son importados desde grandes distancias de estos y los residuos son exportados o reciclados, la extracción de materias primas se da en su interior y la disposición final de los escombros también es inapropiada.

(ECOSISTEMA URBANO 1, FLUJO LINEAL)



(ECOSISTEMA URBANO 2, FLUJO LINEAL)



(VALLE DE ABURRÁ, ECOSISTEMA URBANO CON FLUJO LINEAL DE ALTA ENTROPÍA INTERNA)

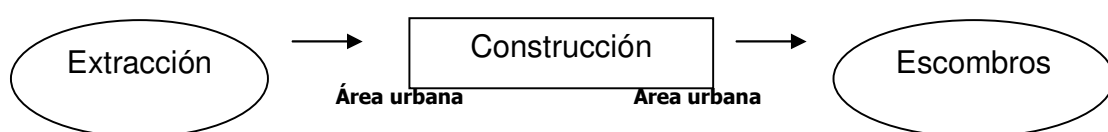


Grafico 4. Tratamientos lineales de materia en ecosistemas urbanos.

En el gráfico 4 se muestran tres ejemplos de ecosistemas que presentan comportamientos distintos en cuanto al flujo de materiales empleados en construcción, específicamente en la confección de ladrillos y concreto. El primero se refiere a un ecosistema con flujo lineal, en el que se importan todas las materias primas para la elaboración de materiales y prefabricados que luego forman parte de lo construido, posteriormente los escombros son trasladados sin tratamiento alguno a una zona externa al ecosistema. El segundo obedece a un ecosistema de flujo lineal pero que, a diferencia del anterior, recicla un porcentaje de los escombros y el porcentaje restante es enviado a un vertedero para su disposición final. El tercero es un esquema más parecido al Valle de Aburrá, el cual, presenta también un comportamiento lineal en cuanto a las materias primas para ladrillo y concreto se refiere, pues importa sólo lo concerniente a cemento; además, después de la construcción los escombros quedan dentro del ecosistema, sin ser reciclados, por lo cual tampoco se presenta una exportación hacia sitios cercanos, generando una entropía mayor dentro de éste.

Cuando se expone que no se presenta exportación de escombros en el Valle de Aburrá, es porque éstos son arrojados en puntos negros o lugares no habilitados para esto, han sido utilizados para cubrir las capas de residuos sólidos urbanos en el relleno sanitario Curva de Rodas o, en algunos casos, son dispuestos en escombreras autorizadas que están ubicadas en los perímetros urbanos de Bello y Medellín. Tampoco existen aún en el AMVA plantas recicladoras de grandes

volúmenes, sólo lotes de acopio, aunque la factibilidad económica y técnica del concreto reciclado haya sido demostrada (Bedoya, 1998).

Con las prácticas del reciclaje y la reutilización de escombros es posible minimizar la entropía tanto a nivel interno como externo, logrando convertir un ecosistema urbano de ciclo abierto, en uno que se ubique en un estadio intermedio de interdependencia entre lo externo y lo interno, proponiéndose cuotas de reciclaje para estos materiales de construcción siquiera entre un 20% y 40% en un lapso prudente de tiempo. El caso del AMVA nos puede proporcionar importantes pistas si lo analizamos como ecosistema semi-cerrado, pero no obteniendo las materias primas para ladrillo y concreto nuevos de las canteras y minas existentes en su totalidad, sino extrayendo un porcentaje considerable de éstas del reciclado de escombros. Así mismo este porcentaje de escombros recuperados se le restaría a la cantidad que se exportaría o se vertería en el interior del ecosistema urbano.

1.2 ORDEN INTERNO, CAUSA DEL DESORDEN EXTERNO

Los ecosistemas urbanos cuando proponen un alto orden en su interior, exponen a las zonas cercanas o lejanas a ellos a un alto desorden, debido a las altas tasas de consumo y de generación de residuos. Ha sido demostrado que los países considerados más viables ambientalmente, o los de producción más limpia, han adquirido este sello a costa de desviar sus problemas ambientales a otras latitudes, como, por ejemplo, a América Latina, África y Europa Oriental. La década de los noventa fue catastrófica en este aspecto. Estados Unidos, Alemania, Holanda, Suiza y las naciones nórdicas que se han distinguido por expedir leyes ambientales cada vez más severas a causa de las presiones

internas de sus consumidores, tendientes a lograr una industria más limpia, han exportado millones de toneladas anuales de desechos peligrosos a países con legislaciones débiles o con gobiernos incapaces de controlar o determinar la diferencia entre materias primas o desechos peligrosos. “Las nuevas formas de limpieza de los países ricos están produciendo directamente el colonialismo de las basuras”, dijo Andreas Bernstorff, de Greenpeace de Alemania, quien ha investigado este tópico durante años. Reconoce que la presión de los movimientos ambientales en Europa y Estados Unidos ha servido sólo para desviar el problema hacia los países más pobres y débiles. Dada la falta de estadísticas confiables que describan el comercio internacional de desechos peligrosos y urbanos, se hace fácil para los exportadores hacer pasar como materias primas sustancias que en realidad son desechos tóxicos o residuos sólidos urbanos.

Alemania tiene las leyes ambientales más estrictas del mundo, pero es a su vez el mayor exportador de desechos peligrosos en el planeta. En los noventa despachó alrededor de 500.000 toneladas anuales a países en vías de desarrollo de Europa Oriental. Holanda un promedio de 250.000 ton/año, Estados Unidos 141.000 ton/año y entre Suiza y Austria exportaron un promedio de 200.000 ton/año. Entre mediados de los ochenta y principios de los noventa, fueron ofrecidas más de 175 millones de toneladas de desechos peligrosos, de las cuales fueron exportadas 10 millones.

Es evidente un desarrollo acelerado de exportación de desechos, el cual se ve alimentado por un progreso desigual en la creación de normas ambientales en el mundo. Además, juega aquí un papel importante la implementación de una economía globalizada o de mercado libre. Se habla de un sistema planetario económico de fronteras abiertas e intercambios ilimitados de bienes, en el cual cabe el asunto de los desechos urbanos y peligrosos. Inclusive el comercio de estos últimos es visto como un factor cada vez más importante de ingresos para los países en vías de desarrollo y por esta razón debe ser bienvenido por ellos, dice Lawrence Summers, economista que ha sido vicepresidente del Banco Mundial. Lo grave es que en estos países no se cuentan con equipos adecuados y tampoco se tiene una normatividad ambiental seria y establecida política y operativamente. Según Greenpeace de Alemania, es 100 veces más seguro, ecológicamente hablando, que los países desarrollados procesen los desechos peligrosos y los RSU en sus propias instalaciones, donde la tecnología es muy superior.

Mientras que la normatividad se hace más exigente en Europa, el desorden o la entropía se hace más evidente en otras regiones como las que ya se han referenciado. Esto nos muestra que el comercio de basuras es producto de la famosa toma de conciencia ambiental por parte de los países industrializados, pero también deja entrever el poco compromiso de promover la destoxificación.

El caso planteado para Europa y los países desarrollados, se puede plantear en forma análoga para el caso de Medellín y los municipios del Valle de Aburrá con respecto a otros municipios del departamento de Antioquia, salvando, claro está, las diferencias de escala y características particulares. Las materias primas, como

ya se ha visto, son en su mayoría (casi en su totalidad) importadas (el agua para el AMVA es traída de municipios del oriente antioqueño que no se ven beneficiados por este mismo recurso^{vii}), a su vez los desechos que resultan de los procesos de transformación de la materia o del metabolismo urbano son exportados a otros sitios, como es el caso del nuevo relleno ubicado en Don Matías, para disponer la alta cantidad de residuos que genera el ecosistema urbano antioqueño.

1.2.1 LA ENTROPÍA, LAS MATERIAS PRIMAS PARA CONSTRUCCIÓN Y LOS ESCOMBROS

LA ENTROPÍA: Los centros urbanos terminan experimentando cierto orden interno cuando exportan sus desechos, pero causan un alto grado de desorden a los sitios donde estos son transportados. Sin embargo, en lo concerniente a los escombros, tal situación puede presentarse distinta en el Valle de Aburrá, inclusive es en este aspecto donde se encuentra también una paradoja sorprendente si se analizan los países ricos y desarrollados. Paradoja porque es claro que en cuanto a sus políticas de exportación de residuos municipales y desechos peligrosos, no hay duda de la alta entropía que estos generan en ambientes externos, pero, en el aspecto de los escombros, su comportamiento es bien distinto y, es de reconocer, que se convierten en un ejemplo aplicable como modelo-guía para muchas naciones del mundo. Precisamente en Europa Occidental están ubicados los países que más altas cuotas de reciclaje de escombros presentan en el mundo; Holanda, Alemania, Suiza y Dinamarca, han implementado políticas ambientales que han logrado construir una especie de estructura social y económica que,

incluso, ha derivado con el tiempo en un hecho cultural en torno a las bondades de no exportar y verter los residuos de la construcción, sino más bien de aprovechar estos escombros al interior de las conurbaciones mismas como materias primas para nuevos agregados utilizados en la confección de nuevos concretos. Holanda es el más avanzado presentando una cuota de reciclaje del 40% sobre los escombros producidos en sus ciudades diariamente, allí se han dispuesto escombreras que reciben los residuos de construcción sin costo alguno para el transportador, los procesan y los venden luego seleccionados para todo tipo de obra a un costo menor que los áridos naturales. En este caso europeo, la significación que han adquirido los agregados reciclados se debe en gran parte a la ausencia de canteras en cercanías a los centros construidos, como también a la poca disposición de minas para extraer estos materiales.

Pero es en el AMVA donde se puede presentar una situación de bajo efecto negativo sobre las zonas externas en cuanto a la importación de materias primas y la producción de escombros se refiere, pues ya se ha mencionado aquí que en el caso de la conurbación antioqueña los materiales son conseguidos casi en su totalidad al interior de ésta, excepto el cemento. En el mismo ecosistema se extraen las materias primas, se confeccionan los materiales y elementos de construcción y, seguidamente, se producen los escombros que quedan dispuestos en el mismo ecosistema urbano; la afectación a zonas cercanas o lejanas es casi nula, presentándose porque algunos escombros son arrojados a quebradas y orillas del río Medellín, trasladándose aguas abajo hacia otras municipalidades. Esto quiere decir que el desorden o entropía se está dando en el lugar mismo, pues a diferencia de otras conurbaciones donde no hay extracción de materiales

pétreos ni disposición de escombros en su interior, el AMVA si presenta estas funciones, por lo cual se da una doble afectación representada en:

- La alta erosión que comienzan a mostrar las laderas de la zona norte especialmente;
- Y la disposición inadecuada de escombros, que fue uno de los factores principales que incidió en el agotamiento prematuro del relleno sanitario Curva de Rodas.

El AMVA presenta pues una gran problemática ambiental y de alta entropía, lo cual, aunque es un balance negativo para sí misma como ecosistema urbano, es lo más justo si se tiene en cuenta que ella se desordena sin afectar a otras zonas distintas de sí misma. Las canteras que están en su interior, erosionan sus laderas con los respectivos agravantes del material particulado en la atmósfera y la abrasión eólica para las edificaciones circundantes ubicadas dentro del flujo principal de los vientos de valle estrecho. Después del proceso de construir en su interior, el ecosistema urbano arroja más del 60% de los escombros en sus predios, esquinas, lotes abandonados, escombreras urbanas legales e ilegales, y andenes o sitios que pasan a convertirse en puntos negros, según el informe del Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente que publica la Contraloría General de Medellín. En resumen, el AMVA paga en gran medida las consecuencias de construir y demoler, a diferencia de otros ecosistemas urbanos en los cuales los flujos de materias primas son importados y los residuos resultantes o flujos de salida se exportan a otros entornos que para nada se han lucrado del proceso de la construcción y el consumo de materiales. (Ver grafico 5).

Gráfico 5.
Puntos negros y escombreras
en Medellín.

Fuente: FUNDEMOS, Manizales.
Los círculos son puntos negros y los cuadros escombreras

LAS MATERIAS PRIMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN: La composición de los suelos del Valle de Aburrá, hace que éste presente un alto porcentaje de áreas aptas para la extracción de materias primas de uso en la construcción, sobre todo en lo que tiene que ver con agregados para concreto, prefabricados de este material y ladrillos cerámicos, siendo tales materiales los más utilizados por las empresas edificadoras en los distintos municipios que conforman el Valle de Aburrá, además de los municipios del oriente antioqueño cercanos a éste.

La zona norte, en inmediaciones de Girardota, Copacabana y Bello, alberga las canteras que más agregados para concreto producen en el AMVA. Bello es a su vez la más evidente muestra de explotación de canteras a cielo abierto, en una especie de herradura que va desde Potrerito (occidente) hasta Zamora (oriente), pasando por todo su extremo norte con las areneras de Pachelli. Se puede observar el paisaje que la extracción y comercialización de materiales pétreos ha ido moldeando en esta zona.

Las canteras ocasionan durante su proceso productivo impactos como el deterioro del suelo debido a su manejo en la explotación del recurso y el manejo de los lodos de las actividades de almacenamiento; se puede contaminar el agua por la disposición de sustancias tóxicas, mantenimiento de vehículos y maquinaria; riesgos de generar inundaciones; así mismo se ocasionan emisiones de polvo por la extracción y el transporte; además de erosionar y aumentar el efecto del calor por la radiación solar sobre los lugares explotados, pues las zonas verdes absorben más rayos solares que las rocas o terrenos descubiertos.

Una de las problemáticas más comunes en la extracción de materias primas a cielo abierto, pero a su vez una de las menos conocidas por la comunidad en general y aún la académica, es la acción morfogenética del viento. Esta acción morfogenética consta de tres manifestaciones como son el accionamiento, el transporte y la acumulación.

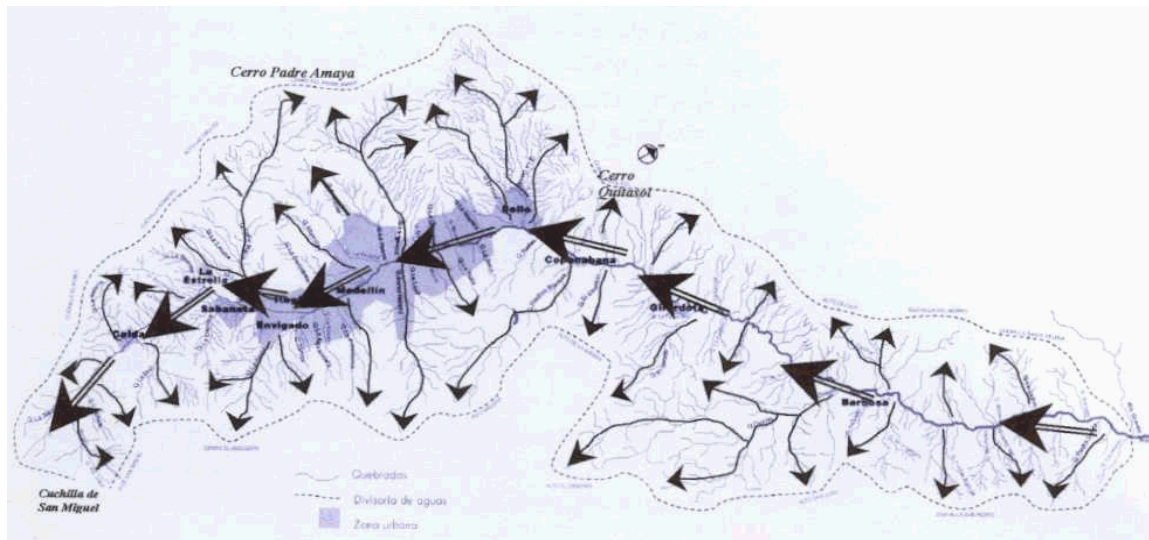


Grafico 6. Sistema acoplado de los vientos para el Valle de Aburrá. Condiciones predominantes de flujo Valle arriba. Fuente: Mejía (2002).

- **Accionamiento:** El accionamiento es una labor que incide con gran importancia en las superficies que tienen contacto con el poder del viento, es así que se da la corrosión o abrasión eólica [1] que es ejercida por vientos muy violentos y cargados de grandes cantidades de material abrasivo. Cuando la superficie afectada presenta una resistencia diferencial aparecen los agujeros y desprendimientos paulatinos de las capas superficiales de los elementos.
- **Transporte:** El viento es bastante eficaz como medio de transporte de arenas y polvos. Los desplazamientos del material particulado se realizan por saltación o rodamiento y suspensión. La saltación se da más que todo en las arenas, la

altura de trayectoria no supera el metro y medio.y su longitud puede ser en promedio de unos dos metros. Dependiendo de la velocidad se desplazan partículas de entre 0,2 y 0,5 mm de diámetro. El rodamiento afecta a partículas inferiores a 0,2 mm, arenas muy finas y polvos. Se mantienen en el aire ya que las corrientes ascendentes son más fuertes que la gravedad, estas partículas son elevadas a varios metros de altura y luego caen lentamente; pueden estar en suspensión durante años y ser transportadas a miles de kilómetros, su calibre puede ser inferior a 0,05 mm. La movilización de las arenas y los polvos se produce a partir de una velocidad del viento de 1 m/s, que afecta a las partículas más pequeñas para ir movilizand luego a las más grandes.

- **Acumulación:** Cuando las corrientes de viento cesan, la masa transportada se deposita en el suelo. El material en suspensión se decanta lentamente, de tal manera que las partículas más pesadas caen y después las más ligeras, dando así los calibres de los depósitos, este proceso se acelera con la humedad del ambiente.

En este último aspecto se pueden nombrar dos sectores que presentan una alta acumulación de material particulado proveniente de canteras para agregados, estos son Las Cabañas y El Carmelo, ambos en Bello. El sector de Las Cabañas ubicado al borde de la autopista norte, se ve afectado por un alto porcentaje de material particulado que resulta del transporte en volquetas por esta vía principal, además, es posible que al estar ubicado al frente de canteras de Colombia y canteras de Antioquia, los vientos puedan transportar el polvo y partículas muy finas hasta allí. En el barrio El Carmelo se presenta un alto flujo de vehículos que transportan arena y grava para diferentes sectores del Valle de Aburrá, aunque

estas volquetas estén cubiertas con plásticos en la parte superior, derraman el agua contenida en la masa transportada y con ella las partículas más finas que se vuelan por las aberturas de la parte contenedora del vehículo. Estas partículas una vez secas al darse la evaporación del agua, quedan en los andenes y bermas de las calles y luego son arrojadas al interior de viviendas y establecimientos por el paso de otros vehículos y por el mismo viento. Aquí deja de ser un factor estrictamente estético, pues la inhalación de este polvo ocasiona serias molestias como alergias e infecciones respiratorias.



Fotografía 1. Vista general con localización de las canteras a cielo abierto ubicadas hacia el norte del Valle de Aburrá (Bello)

Con lo anterior se deduce que un porcentaje de las materias primas para la construcción, no entra al proceso constructivo y de materialización de la obra, sino que se dispersa en la atmósfera y por ende aumenta el desorden al cual ya se ha hecho referencia.

LOS ESCOMBROS: Son considerados como los subproductos de la construcción, las cantidades generadas de estos residuos superan significativamente a las de los residuos sólidos urbanos derivados de las residencias, el comercio y la industria.

Producción diaria de RSU en el Valle de Aburrá (Ton/día)	Producción diaria de escombros en el Valle de Aburrá (Ton/día)
2 400	6 000

Tabla 1. Comparación entre producción diaria de RSU y escombros en el Valle de Aburrá. Fuente: Empresas Varias de Medellín, 2003.

Como las ciudades experimentan diariamente el hecho de construir y demoler, es de esperarse que, aparte de la extracción y el flujo de materiales, se presente la generación de escombros como producto de los materiales rotos o desperdiciados en obra y las demoliciones de estructuras nuevas y usadas. Lo preocupante de estos materiales es que no existen políticas para el manejo integral de escombros, para incentivar el reciclaje o para generar procesos de demolición y recolección selectiva, por lo que la comunidad los asimila como desechos nocivos para la estética y como inservibles para ser ingresados a un nuevo ciclo de producción. Pero en realidad, los escombros encierran un gran potencial como materias primas para la confección de nuevos materiales de uso común en el campo de la construcción a través del reciclaje, también como material para ser reutilizado en llenos de terrenos y bases de vías.

En lo que se refiere a los residuos de la construcción, es de anotar que su reducción, aparte de traer beneficios ambientales, provoca también ventajas económicas. A veces lo que se considera residuo puede ser en cierto modo

usado por otros y verse de esta forma convertido en un recurso, o puede también entrar en otros ciclos y ser eliminado con costos más bajos para la comunidad. Pero, paralelo a esta política de reducir, se debe pensar en la implementación de una política colectiva de reciclaje y reutilización de los escombros, pues pretender cambiar rápidamente los hábitos de construir y de desperdiciar materiales durante los procesos de ejecución es una labor sumamente difícil, por lo que se requiere montar una estrategia que combine la formación paulatina de la mano de obra en este sentido y el diseño de procesos de ejecución eficientes y limpios, con una educación ambiental a todo nivel en la cual, el aprovechamiento de residuos de la construcción, sea visto como algo necesario y factible para beneficio de la colectividad, es decir, de la comunidad en todas sus manifestaciones.

FUENTES

[1] CONGET. Corrosión en el Valle de Aburrá. Artículo de divulgación científica. VI Seminario Internacional Ambiental. Bogotá, 2003

CAPÍTULO 2

EL CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS

2.1 GENERALIDADES: Tal como se explicó en el capítulo anterior, la acción de construir y derribar genera un volumen importante de residuos. Así, en los trabajos previos al comienzo de una obra nueva es habitual que se haya de derribar una construcción existente y/o que se hayan de efectuar ciertos movimientos de tierra. Durante la realización de la obra, también se origina una cantidad importante de residuos en forma de sobrantes y de restos diversos. También en obras de reforma, de reparación, de rehabilitación, se generan residuos.

Según datos de la Unión Europea, en 1992 los países miembros produjeron 200 millones de toneladas anuales de residuos de construcción y demolición. Parece clara y evidente la problemática originada por este tipo de residuos. Una problemática originada por el gran volumen generado de escombros, superior al de los desechos domésticos. Es demostrada la composición poco conflictiva de estos residuos, pues en términos generales son inertes, siendo la ocupación de grandes espacios uno de los principales problemas medio ambientales que provocan, pero, fundamentalmente, la degradación del paisaje cuando se vierten de manera incontrolada.

Hoy, la exigencia de una mejora en la protección del medio ambiente y la preservación de la naturaleza y del paisaje motiva que, en el ámbito de la construcción, se controlen estos residuos por medio de una gestión adecuada y, si es posible, minimizar las cantidades de los residuos desechados y hacer que puedan ser reciclados y en el mejor de los casos reutilizados. El sector de la construcción, como muchos otros sectores industriales, ha de afrontar los problemas medioambientales provocados, buscando nuevos sistemas ahorradores de energía y materias primas en la producción de nuevos materiales y sistemas más eficaces. Una de las líneas de investigación propuesta en este sentido es el reciclaje y la reutilización de los escombros y su uso posterior en obras, ya sean públicas o privadas.

El reciclaje de los escombros, es un sector económicamente rentable y muy organizado en algunos países europeos como Alemania y Holanda, donde unas legislaciones más restrictivas, la escasez de recursos naturales y, sobre todo, el gran valor económico que se da al suelo, ha obligado a fomentar el reciclaje desde hace muchos años con resultados muy positivos. Todos estos hechos convergen en la necesidad de investigar acerca de las características de estos residuos sólidos inertes, con el fin de conocer su idoneidad para ser aplicados en la industria de la construcción.

En teoría, una gran cantidad de los residuos de construcción y demolición pueden reciclarse o reutilizarse fácilmente, especialmente cuando el contenido de

hormigón y ladrillo mezclado con mortero de pega es elevado. Debemos tener en cuenta que los escombros tienen un potencial considerable para el reciclaje, si lo comparamos con otros tipos de residuos. Por otro lado, los productos reciclados tienen que competir con los materiales de construcción tradicionales, de ahí la necesidad de una calidad uniforme. En este sentido, es importante conocer cuál es el origen y la composición de estos residuos para conseguir una aceptabilidad futura del material reciclado. En cuanto al origen de los residuos de construcción y demolición, se puede decir que éstos son variados.

Se debe hacer un comentario especial referente al destino actual que sufren los residuos de construcción y demolición en Europa. En la mayoría de los países europeos estos residuos son depositados en un vertedero, ya sea controlado o incontrolado. Sin embargo, en Holanda más de la mitad de los escombros que se generan son reciclados. Se pronostica que para finales del año 2003, todos los países preveen aumentar la proporción de los escombros que serán reciclados.

En la actualidad, la tecnología de reciclaje cuenta con una aceptación importante de la sociedad. En países como Holanda, Dinamarca y Alemania, campañas significativas basadas en información y actuaciones diversas han influido en un cambio de mentalidad desde hace ya bastantes años. Uno de los casos más conocidos fue la acción emprendida para poder gestionar los residuos originados por la demolición del muro de Berlín y utilizarlos en nuevas construcciones del tipo residencial. Otro de los ejemplos significativos se realizó en Barcelona, una de las ciudades pioneras de España en el aprovechamiento de residuos de construcción,

cuando para la remodelación y construcción de las nuevas instalaciones de la villa olímpica en el año 1992, se utilizaron los componentes (en su mayoría pétreos) provenientes de demolición. Con este mismo lineamiento, Dinamarca realizó un interesante e ilustrativo proyecto piloto de reciclaje de escombros y confección de un nuevo concreto en 1998, cuando aprovechó el material resultante de la demolición de dos puentes; aproximadamente 1400 toneladas fueron empleadas en un nuevo concreto para los cimientos y baldosas del suelo de nuevos edificios, lo que significó un ahorro de 15 dólares por tonelada con respecto a la demolición y depósito del material siguiendo los métodos tradicionales [1].

Esto nos muestra que las posibilidades de uso y marketing de los productos de concreto reciclado son buenas y con unos precios competitivos. Sin embargo, existen barreras mentales para el uso de los materiales provenientes del reciclaje, lo que causa dificultades de consideración para una utilización racional de los materiales reciclados. En un programa para reciclar escombros con la creación e implementación de plantas de tratamiento, es necesario hacer un gran énfasis en la información y la educación, conjuntamente con una organización y control del flujo de residuos y la gestión de las materias primas.

En muchos países la trituración y la reutilización de escombros para llenos la realizan habitualmente los contratistas de demolición. Estas actividades se realizan muchas veces por iniciativa de los empresarios, quienes evalúan los costos de transportar residuos, pagar por depositarlos y luego comprar materias primas naturales o nuevas. Pero esto puede resultar un esfuerzo tímido si no se

tiene la participación de las autoridades municipales, ya que una política a nivel estatal es más engorrosa y se ha demostrado que no son efectivas. La sostenibilidad de las ciudades se encamina más hacia el desarrollo de buenas prácticas locales, ya que se dan en medio del arraigo popular y del conocimiento de las necesidades específicas de la comunidad. Aquí deben ir de la mano autoridades, comunidad y academia, de tal forma que se generen procesos de transformación de hábitos en cuanto a problemas ambientales como el de los escombros y las materias primas para concreto, que paulatinamente deriven en prácticas asimilables culturalmente por los habitantes de un barrio, una comuna o una ciudad.

“De Al Gore a Beppe grillo, todos los que han enfocado el problema de los vertidos de los residuos desde una perspectiva de respeto ambiental saben que estos problemas no podrán ser resueltos sino se produce un cambio cultural que lleve a la superación del concepto de vertido” (Bettini, 1998). En la afirmación anterior hecha por Virginio Bettini se plantea uno de los aspectos fundamentales, pero a su vez más difíciles de abordar por parte de investigadores y ecologistas que ven como propuestas con un fondo eminentemente benéfico para la colectividad no son asumidas por ésta, esto es la aceptación cultural de la comunidad en torno a nuevas propuestas que buscan romper paradigmas tradicionales que ya no obedecen a la realidad ambiental del planeta. Aunque hay que decir que no solo es la comunidad la que se muestra apática a los cambios en cuanto a su comportamiento frente a los residuos. En el caso específico de Medellín, es también la municipalidad la que debido a la ausencia de políticas ambientales bien

definidas en este sentido, no propicia la motivación de los habitantes y empresarios para dar un tratamiento distinto a los residuos de la construcción, presentándose un desarraigo sociocultural de la colectividad en función de la dinamización y potencialización de buenas prácticas ambientales que deriven posterior y seguramente en beneficios que atañen a la habitabilidad y consecuentemente a una mejor gobernabilidad de la localidad.

2.2 FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL 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 escombros producidos en Medellín diariamente, se estaría hablando de unas 1600 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 científica acerca del desempeño de un material que utilizará escombros como agregados. Tal comprobación se basa fundamentalmente en los siguientes aspectos:

- Disponibilidad en el medio de materias primas que puedan ser recicladas y/o reutilizadas en las cantidades que la actividad edilicia de una conurbación como la del AMVA requiere;
- Resistencia del concreto confeccionado con escombros al esfuerzo de la compresión a los 28 días de edad;

- Y factibilidad de uso en prefabricados de frecuente utilización en la construcción.

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. Se trata de una investigación realizada en 1998, *Confección del concreto reciclado mediante el aprovechamiento de residuos de la construcción*^{viii}. El objetivo general era 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.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

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 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

Observaciones

- 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^{ix}.

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. Para el análisis económico se trabajó una relación A/C de 0,45. 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.

Aunque la resistencia a la compresión ha sido el factor relevante en el análisis del desempeño de un concreto, actualmente es necesario otro tipo de confrontaciones como el esfuerzo a la flexión y la estabilidad de los agregados en el tiempo. Pruebas a las que el concreto reciclado con escombros ha mostrado un alentador desempeño, como lo han dado a conocer las investigaciones de los profesores de materiales Malhotra y Buck en Norteamérica desde finales de la década de los setenta. Entre los resultados de los profesores ya referenciados, se obtuvo que la resistencia al esfuerzo de la flexión del concreto que incluyó áridos reciclados es igual y en algunos casos mayor que la arrojada por la mezcla de referencia cuando se reemplaza el agregado grueso natural por reciclado de escombros de concreto [2].

- Mezcla de control, resistencia a la flexión: 6,61 MPa
- Mezcla con agregado grueso reciclado, resistencia a la flexión: 6,82 MPa
- Mezcla con agregado fino reciclado, resistencia a la flexión: 5,63 MPa

La relación A/C fue de 0,41 para todas las mezclas.

Aplicación del concreto reciclado

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 cortagoteras 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 el escombros más 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.



Fotografía 2. Prefabricados en concreto reciclado.

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
Promedio	-	4,8

Según los resultados obtenidos del fallado de los bloques reciclados a la edad de 28 días, estos 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 divisoriamente. 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 solicitaciones normales de un edificio como son las cargas muertas y vivas de éste. Aunque vale la pena profundizar más en el aspecto mineralógico, sobre todo en lo que tiene que ver con la estabilidad de la mezcla en el tiempo.

2.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL CONCRETO RECICLADO: En este aspecto se hace referencia a la misma investigación.

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 remodelación de aquellas existentes, aún no es motivo suficiente para que este 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, será analizado en el capítulo

siguiente. Hay que aclarar que, al igual que en el caso de los bloques, se escogió para el análisis económico la mezcla con áridos reciclados de concreto demolido, por ser el más representativo en nuestro medio.

COSTO POR METRO CÚBICO DE CONCRETO NORMAL

1:2:3 Rel A/C mezclas = 0,45	
Cemento:	7 sacos · m ³ (350 kg) = 7 · \$18000 = \$126000
Agua:	350 · 0,45 = 0,158 · \$1071 = \$169
Arena:	700 kg / 1800 kg/m ³ = 0,39 · \$24200 = \$9438
Cascajo:	1050 kg / 1800 kg/m ³ = 0,58 · \$21700 = \$12586
Preparación:	Mano de obra = \$11500
Total: \$ 159693	

COSTO POR METRO CÚBICO DE CONCRETO RECICLADO

1:1,8:1,9 Rel A/C mezclas = 0,45	
Cemento:	7 sacos · m ³ (350 kg) = 7 · \$18000 = \$126000
Agua:	350 · 0,45 = 0,158 · \$1071 = \$169
Arena:	630 kg / 1500 kg/m ³ = 0,42 · \$10976 = \$4610
Cascajo:	665 kg / 1500 kg/m ³ = 0,44 · \$10976 = \$4829
Preparación:	Mano de obra = \$11500
Total: \$ 147108	

Los costos por metro cúbico de cada tipo de concreto arrojan un ahorro del 7% 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 cuantificable y perfectible, por medio de la ciencia e ingeniería de materiales, por ejemplo. 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. De estos aspectos, nos ocuparemos en el capítulo siguiente.

FUENTES

[1] Nordic Action – plan for cleaner technology, waste and reuse. Nordisk Ministerrad. En Model cities urban best practices. Singapore, 1999.

[2] MALHOTRA, Mohan. Uso del concreto reciclado. En: Simposio Internacional sobre Tecnología del Concreto (3:1977:Monterrey). México: UANL, 1977. Pág 197-230; 427 p.

CAPÍTULO 3

EL CICLO URBANO DE LOS ESCOMBROS

Para el desarrollo de este capítulo se ha tomado como guía el texto de Virginio Bettini, *Elementos de Ecología Urbana*, quien en compañía de Paolo Rabitti, desarrolla el tema del ciclo de los desechos en la ciudad: las siete leyes de la sabiduría en tema de residuos (p 265-284). En este texto su énfasis está marcado en los Residuos Sólidos Urbanos RSU, por lo que en la presente tesis se retoman planteamientos y análisis en torno a este tipo de residuos y se intentará introducirlos en el tópico de los escombros, siempre vistos como elementos constitutivos del concreto reciclado, que es el material compuesto con el cual se pretende generar un modelo de buenas prácticas atravesadas por aspectos que van desde lo ambiental hasta lo económico y lo sociocultural. Las siete leyes a las cuales se hace referencia son las siguientes:

1. Ley del costo de la eliminación evitada
2. Ley de los recursos disponibles
3. Ley de la recogida recompensada
4. Ley de los puestos de trabajo
5. Ley del grano de sal
6. Ley de las instalaciones
7. Ley de la alternativa

En esta tesis mantendremos solo las cuatro primeras leyes o principios de la obra de Bettini, pues la quinta ley expone: “Recoger cuanto sea posible y del sobrante quemar sólo buenos combustibles”. La sexta y séptima ley tratan lo referente a las instalaciones para incinerar residuos orgánicos y los métodos alternos para estas actividades de eliminación. Aplicables estrictamente a los desechos urbanos domésticos y, los dos son tipos de residuos bastante distintos en cuanto a su composición química, pues mientras que en los RSU hay un alto contenido de material orgánico combustible, en los escombros su característica es la de ser inertes e incombustibles como el concreto y el ladrillo. Así que una vez citadas las siete leyes que son inherentes a los residuos en cuanto a su ciclo urbano, se considera importante recalcar la recogida selectiva de RSU y de escombros como método alternativo a los tradicionales vertimientos indiferenciados.

La importancia de la recolección selectiva radica en la oportunidad de separar residuos potencialmente reciclables de aquellos cuyo componente orgánico “contaminaría” la totalidad de la carga. Esto es, la recogida selectiva permite que los escombros que todavía pueden cumplir un ciclo productivo lo hagan, sin verse afectados por otros escombros como la madera o la tierra, cuyo alto contenido de materia orgánica cortaría el proceso de reutilización o reciclaje de los residuos inertes como el concreto, el ladrillo o el mortero de pega para baldosas y muros. El problema de revolver los distintos tipos de residuos en una obra, es que los agregados para confeccionar concretos y prefabricados, estarían contaminados con limos y hongos que posteriormente originan reacciones al interior del material ya confeccionado, afectando su estabilidad, su estética y la vida útil dentro de la

obra, con consecuencias bastante serias si las afectaciones suceden en elementos de tipo estructural. Cabe anotar que estos cuidados también se tienen con el material proveniente de canteras o lagunas, por lo cual no debe tomarse como una debilidad del agregado reciclado, sino que debe afrontarse como una de las tantas precauciones que se deben tener en el proceso de manipulación de cualquier material de uso en la construcción.

Cuando se habla de recolección selectiva en RSU es bastante evidente que se trata en estos casos de disponer diferentes empaques para los residuos, uno para aquellos orgánicos, otro para material no reciclable y otro para el material potencialmente reciclable. Pero en el caso de los escombros es diferente, la recolección selectiva allí no se da tanto en la disposición de empaques para los reciclables y para los no reciclables, sino que se da en un proceso de deconstrucción o demolición selectiva cuando se trata de construcciones ya existentes, mientras que para las construcciones nuevas se trata de disponer sitios de almacenamiento al interior de la obra donde se puedan colocar transitoriamente los escombros, separando los inertes como concreto, mortero, ladrillo y cerámicos, de aquellos que son orgánicos como la tierra y la madera, por las consecuencias negativas que estos pueden acarrear (Hongos, pérdida de resistencia y durabilidad). En el punto de la deconstrucción o demolición selectiva, es donde juega un papel importante la autoridad municipal tanto desde el punto de vista de producir normas y acuerdos que conlleven a la instauración de métodos de demolición selectiva y reciclaje, como de potencializar procesos de educación y formación cultural en la comunidad para abordar colectiva y conscientemente el

tema del reciclaje de escombros y la disminución en cuanto a la producción de estos mismos. Este papel decidido de las autoridades municipales en el aspecto del manejo integral de residuos, ha sido determinante para experiencias exitosas en Curitiba y Barcelona, por citar algunas.

Se citará aquí un ejemplo de lo que en principio pudo ser una buena práctica en el municipio de Bello, pero que debido a la no autorización de la realización de una obra pública se quedó solo en proyecto. En 1999, después que una investigación demostrara la factibilidad técnica y económica del concreto reciclado (Bedoya, 1998), se le propuso a la administración municipal de Bello que en la ejecución de la obra vial denominada 808^x, incorporara el reciclaje de los escombros provenientes de la demolición de casas ubicadas en las zonas de ensanche de vías y de las construcciones nuevas que arrojan escombros debido al desperdicio de los materiales. Se calculó que más o menos se demolerían 9000 m³, lo cual bien podría equivaler a unas 18 000 toneladas, si se tiene una densidad de 2000 kg/m³ en promedio para estos materiales. Como la administración municipal disponía de lotes en el área urbana, específicamente en el sector de Niquía, hoy construido debido al plan parcial de vivienda, se propuso disponer de un lote para el acopio de escombros. A su vez estos escombros serían recolectados por medio de demolición selectiva, para lo cual el secretario del IMPES - Instituto Municipal para Proyectos Especiales - vio factible condicionar por medio de los pliegos de licitación a los contratistas de las demoliciones, para que las hicieran de esta forma y transportaran los escombros inertes potencialmente reciclables al lugar de acopio. Se contaba con la colaboración de la planta de reciclaje de concreto

asfáltico ubicada en el sector del aeropuerto Olaya Herrera de Medellín, quienes dispondrían de una trituradora de orugas de un gran volumen, que podía ser desplazada al acopio en tractomula y luego, una vez en el lote, desplazarla internamente de acuerdo a la disposición de los residuos. Con los materiales reciclados se podría obtener gran parte de los agregados necesarios para la construcción de andenes y bordillos que, si bien requieren poseer resistencias altas, no tienen el mismo imaginario para la comunidad en cuanto a estabilidad estructural, como si lo tiene una vivienda o un muro de contención. Con la construcción de andenes y prefabricados de uso en vías, se veía posible realizar la segunda parte de este trabajo, como lo era la sensibilización de la comunidad en cuanto al reciclaje de escombros y la posibilidad de usarlos en obras o construcciones en las cuales las personas conviven y transitan diariamente. Este proyecto de reciclaje no se pudo realizar debido a la no aprobación de la obra 808, lo que no quiere decir que ésta era indispensable para comenzar la implementación de una buena práctica, pues se estaba de acuerdo por parte de los asesores técnicos que si la obra no representaba beneficio a la colectividad bellanita esta debería ser descartada. Lo lamentable es que independiente de si la obra 808 era o no ejecutada, ya estaban las bases para implementar un proyecto piloto de reciclaje de escombros en una ciudad densamente poblada, que construye y deconstruye diariamente en volúmenes que representan un factor de incidencia importante en el desorden o entropía experimentado en el AMVA, algo a lo que ya se ha referido en otras partes de este texto.

Una vez reseñada esta experiencia, se dará paso al análisis de los siete aspectos que Bettini y Rabitti consideran necesarios para que un ecosistema urbano pueda presentar índices de sostenibilidad en lo que tiene que ver con los residuos urbanos, sin embargo, en la presente tesis se hará un esfuerzo por interpretarlos en relación con los escombros.

3.1 LEYES APLICABLES AL CICLO URBANO DE LOS ESCOMBROS

3.1.1 PRIMERA LEY. LEY DEL COSTO DE LA ELIMINACIÓN EVITADA: Los residuos urbanos tienen un costo de eliminación, bien por ser llevados a rellenos sanitarios o por ser incinerados. Los escombros de igual manera generan un gasto para su eliminación, bien sea por ser dispuestos en rellenos o vertederos, o por ser llevados a puntos negros dentro de la ciudad en su mayoría, como sucede en el Valle de Aburrá. Al costo de la eliminación (CE) se le debe sumar el de la recolección (CR) y el del transporte (CT), por lo que el costo completo sería así:

$$CC = CE + CR + CT \quad (1)$$

Esto nos permite concluir que por cada tonelada de residuos sólidos que se envía generalmente a los rellenos en las cuales no hay reciclaje de éstos, la comunidad evita el gasto correspondiente al que se vería obligado a hacer en caso de que simplemente lo eliminara; a este ahorro Bettini y Rabitti lo llaman costo de vertido evitado (CVE), cuyo valor será igual al costo completo de eliminación:

$$CVE = CC \quad (2)$$

Se plantea entonces que también la recogida selectiva debe tener un costo (CRS), al cual habrá que sumarle el costo de la gestión del material recogido (CMR) y el de su entrega a un centro de recuperación/reutilización (CRR). Bettini enuncia

que “si quien recoge el material lo paga, el costo de la selección de residuos (CS) será:

$$CS = CRS + CMR + CRR \quad (3)$$

Quien proponga a una administración con competencias en residuos el inicio de la recolección selectiva oirá casi siempre la misma respuesta: “La recolección selectiva cuesta”. Es verdad, cuesta, pero quienes dan esa respuesta sólo piensan en el reducido valor de mercado que pueden tener los materiales que se reutilizan o recuperan, no en el ahorro que la colectividad tendría disminuyendo los costes de descarga (89,8 %), incineración (6,3 %) o tratamiento (3,9 %).

De todo lo expuesto resulta evidente que lo que conviene económicamente a una colectividad es saber cuándo es más barato recoger un cierto material en vez de enviarlo al vertedero, es decir, si:

$$CS \leq CVE \quad (4)$$

De lo anterior se desprende una conclusión o primera ley denominada la del gasto de la eliminación evitada: “Son económicamente válidos, incluso recomendables, todos los tipos de recolección selectiva de coste inferior al de su eliminación evitada”.

El balance anterior es muy ilustrativo aunque es de aclarar que está hecho en función de los RSU, por lo que es menester analizarlo en torno a los escombros, lo cual hace parte de la propuesta de esta tesis. En cuanto a los residuos de la construcción, se deben replantear las ecuaciones porque a diferencia de los RSU, donde quien los produce no se encarga de su eliminación, en los escombros si se da esto, pues quien demuele o construye una obra nueva debe encargarse de la

eliminación de los residuos producidos. Así podríamos entonces replantear la ecuación (1) de la siguiente manera para el caso de los escombros:

$$CC = CE + CCV + CT + CD \quad (5)$$

Siendo, CC, costo completo;

CE, costo de eliminación;

CCV, costo de cargue del vehículo (aquí se reemplaza CR que es el costo de la recogida, porque más que una recogida selectiva, lo que se lleva a cabo es una operación de verter lo producido en obra para luego ser transportado);

CT, costo del transporte;

CD, costo de descarga en el relleno o en la escombrera (la descarga de escombros tiene un costo por cada tonelada).

Como se ha dicho, la evacuación de escombros no es una política de la administración municipal en el AMVA, por lo que el constructor debe encargarse de la disposición final de éstos. Así que aquí no podríamos hablar de que al evitar que éstos residuos lleguen al sitio de eliminación porque serán reciclados o reutilizados, simplemente la colectividad se estaría ahorrando el costo completo de eliminación (CC) como sucede con los RSU, sino que se estaría ahorrando el costo de eliminación (CE) por parte de la colectividad y el costo de descarga en relleno o escombrera (CD) por parte del constructor. Por lo tanto el costo de vertido evitado (CVE) en el caso de los escombros quedaría así:

$$CVE = CE + CD \quad (6)$$

No hay duda que aún manteniéndose para el constructor o para el contratista encargado de la demolición el costo de transporte (CT) y el costo de cargue de

vehículo (CCV), la práctica de demoler selectivamente y llevar los escombros a plantas de reciclaje resulta ventajosa para él. También la comunidad en general se beneficiaría, al no tener estas cantidades de escombros en sitios destinados a su disposición final y, ahorraría individualmente, en cuanto a que no tendría que asumir los costos por el descargue. Esto quiere decir que el sobre costo de la mano de obra se trataría de compensar con el ahorro en la eliminación y la descarga de escombros; incluso en la sumatoria es más económico demoler selectivamente que simplemente eliminar (Nixon, 1979).

Si la solución para los RSU es la recogida selectiva, para los escombros es la demolición selectiva y el reciclaje o reutilización de éstos. A partir de la ecuación (3), que expresa el costo de la selección de residuos, puede plantearse una diferencia cuando se aborda el tópico de los escombros: La diferencia está en que los residuos resultantes de la actividad constructora (esto incluye demoliciones y nuevos edificios) no obedecen a un sistema de comercialización como el de los RSU, pues los casos conocidos de reciclaje de escombros operan de la siguiente manera:

- El contratista encargado de la demolición debe hacerlo selectivamente;
- Luego carga los escombros en vehículos aptos para ello;
- Y seguidamente los transporta hasta la planta de reciclaje, en la cual están sectorizados los diferentes tipos de escombros.

En lo anterior es claro que el contratista asume un extracosto dada la demolición selectiva, en la cual el personal debe actuar más cuidadosamente, lo que trae

consigo el incremento en horas/hombre/día. A este valor se llamará costo de demolición selectiva (CDS),

$$CDS = CMO \quad (7)$$

En donde, CMO es el costo extra de la mano de obra que requiere la demolición selectiva. Finalmente:

$$CDS \leq CVE \quad (8)$$

Si las administraciones municipales se ocupan de ofrecer al sector de la construcción y a la comunidad en general plantas para reciclaje de escombros, en las cuales se produzca un óptimo material a precios competitivos con respecto a los materiales tradicionales no renovables, se ve factible un acercamiento hacia la implementación de buenas prácticas como la compra de agregados reciclados, producción de prefabricados de concreto inicialmente sin compromiso estructural, demoliciones selectivas a pequeña, mediana y gran escala, construcción de vivienda de interés social, entre otras.

3.1.2 SEGUNDA Y TERCERA LEYES. LAS LEYES DE LOS RECURSOS DISPONIBLES Y LA RECOLECCIÓN RECOMPENSADA:

Citamos nuevamente a Bettini dada la pertinencia de su afirmación en torno a la mentalidad pasiva de quienes tienen que ver con la gestión de los desechos en las municipalidades -“En función de la ley del costo de la eliminación evitada se pueden programar las intervenciones de acuerdo con la diversa tipología de los materiales a recoger. Aunque siempre habrá quien prefiera continuar eliminando los residuos como de costumbre, en vez de habilitar fondos para reducirlos” (Bettini y Rabitti, 1998).

Una de las complicaciones que le pueden surgir a una propuesta como la de la demolición selectiva y el reciclaje de escombros, es aquella que tiene que ver con la carencia de presupuestos para métodos alternos a la eliminación. Pero eso en realidad puede ser incorrecto, pues si se tiene en cuenta precisamente el principio del costo de la eliminación evitada, las partidas presupuestales ya estarían disponibles. Retomaremos nuevamente un ejemplo del texto guía de Bettini para ilustrar este planteamiento, seguidamente, se hará una analogía con el aspecto de los escombros: “Por ejemplo, si una ciudad produce 100 000 Tm/año de RSU con un coste de eliminación en torno a las 200 000 liras por tonelada, el presupuesto de provisiones para el año siguiente debería ser de al menos $100\ 000 \times 200\ 000 = 20$ millones^{xi}. Suponiendo que el municipio acuerde con algunas asociaciones el voluntariado necesario para recoger 1000 Tm de papel y otras tantas de vidrio, estarán ya presupuestariamente disponibles $2\ 000 \times 200\ 000 = 400$ millones^{xii}. En el caso de que el contrato contemplase el pago de 100 000 liras por tonelada recogida, el municipio estaría ahorrando 200 millones anuales, que podrían servir para incentivar otros tipos de recogida más onerosos, para construir recipientes para el almacenaje de materiales, o bien para el compostaje doméstico de la parte orgánica: este tipo de compost se puede obtener mediante [...]. Se cerraría así un círculo virtuoso bien para la disminución de los residuos a eliminar de la forma tradicional, bien para la competencia que se establecería entre los diferentes sujetos interesados en la recogida, a la vista de su rentabilidad económica. [...]

“Los recursos económicos para la recogida selectiva de coste inferior a la de eliminación están ya fijados en los presupuestos del municipio”.

Y la que llamaremos tercera ley, o de la recolección recompensada, según la cual: “Los recursos ahorrados con intervenciones realizadas en aplicación de la primera ley deberán ser invertidos en otras recogidas más onerosas”.

En lo referente a los escombros del AMVA, estas dos leyes pueden ser aplicables de igual manera, pues se tienen datos acerca de la cantidad de escombros generados y dispuestos legalmente para su eliminación. De una cantidad total de 6 000 toneladas diarias, el relleno sanitario Curva de Rodas sólo recibía 300 toneladas por día, 2500 toneladas más son generadas por construcciones nuevas que deben garantizar una disposición final legal, lo que muestra que alrededor de 3 200 toneladas son las que afectarían a la ciudad directamente, debido a que son arrojadas en andenes, lotes abandonados y quebradas^{xiii}. Sin embargo, decir que solo serían 3 200 toneladas las que afectan directamente a la comunidad reviste una visión sesgada, pues las cantidades dispuestas en el relleno sanitario y las generadas por las construcciones nuevas que son llevadas a sitios con disposición controlada suponen una afectación evidente para toda la comunidad, como quiera que ya se ha dicho que la eliminación tiene un costo. Lo que a su vez demuestra que la municipalidad dispone ya de los recursos para la eliminación de las 300 toneladas del relleno sanitario y de las 2 500 toneladas con disposición controlada, lo cual es asumido por todos los habitantes. De esas 2800 toneladas, si por lo menos se comenzara con una meta de reciclar el 15 %, como lo han hecho todos los países que se han decidido a reciclar seriamente sus escombros, se estaría hablando de 420 toneladas menos en los sitios de disposición controlada; en esa dirección, se daría el costo de vertido evitado (CVE) equivalente. La colectividad

se estaría ahorrando el costo de la eliminación (CE) y el costo de la descarga (CD); si tenemos que el costo de eliminación es 65000 \$/Ton^{xiv} y el costo de descarga es 5000 \$/Ton, el ahorro sería igual a 29,4 millones de pesos por día, lo que equivaldría a 10.584 millones de pesos anuales. Como el costo de descarga es asumido por el contratista, entonces la colectividad y por ende la administración municipal ahorrarían anualmente 9 828 millones de pesos.

Al no tener que eliminar determinada cantidad de escombros, la administración municipal ahorraría más de 9 800 millones de pesos al año, los cuales a su vez deberán ser destinados a la implementación de plantas recicladoras para la producción de materiales de este tipo, con los cuales la Secretaría de Obras Públicas del Departamento de Antioquia podría comenzar por utilizarlos en proyectos como mejoramiento de andenes, llenos y nivelaciones de vías, además de construcciones del tipo arquitectónico como edificios comunales. Pero también sería posible que del dinero ahorrado se destinara un porcentaje a fomentar investigaciones que vayan dirigidas en las líneas de procesos de reciclaje y reutilización, así como de técnicas o tecnologías de construcción encaminadas a disminuir drásticamente la generación de escombros en obras nuevas de construcción.

3.1.3 CUARTA LEY. LEY DE LOS PUESTOS DE TRABAJO: Al disponer de plantas de reciclaje de escombros, es obvio que se generan puestos de trabajo. Tomemos como referencia la planta de reciclaje de asfaltos de la ciudad de Medellín, la cual funciona sobre la calle 30 en inmediaciones del aeropuerto Olaya

Herrera. La planta de personal está conformada por un gerente, un jefe técnico, dos vigilantes, una secretaria y dos obreros calificados que manejan las máquinas y disponen el material al interior del lote, manteniéndose como una empresa eficiente. Además de los anteriores, también se podrían crear nuevos puestos de trabajo para capacitadores en las áreas de la educación y la formación en torno a la actividad de reciclar y utilizar escombros como un nuevo hecho cultural. Cabe enunciar aquí la cuarta ley que referente a los RSU Bettini y Rabitti exponen: “La recogida selectiva de los residuos crea puestos de trabajo”.

Aplica tanto para los RSU como para los residuos de la construcción, pues requiere más personal una planta con procesos industriales de clasificación y transformación de escombros, que un lote solo para la disposición final de éstos. Además, es claro que este presupuesto ya se tiene contemplado dentro de los planes de la administración municipal.

Hasta el momento se ha hecho una exposición que legitima la práctica de confeccionar un material reciclado, en este caso el concreto, desde los puntos de vista económico, ambiental y técnico, y aunque hemos tocado ya algunas características acerca de la importancia de una mirada desde lo cultural, se dejará el siguiente capítulo para abordar esta dimensión de manera transversal en los conceptos de reciclaje, reutilización y materiales, para luego terminar con la citación de buenas prácticas de sostenibilidad urbana, donde sin duda lo más relevante es la ruptura de paradigmas tradicionales que deriva en el verdadero empoderamiento de la colectividad sobre los procesos de gestión y manejo de sus

recursos y desechos, siendo las dinámicas socioculturales las protagonistas de estos procesos.

CAPÍTULO 4

DE UN PARADIGMA DE PENSAMIENTO LINEAL A UN PARADIGMA DE PENSAMIENTO CÍCLICO

4.1 DE LO LINEAL Y LO CÍCLICO: Conviene introducir en éste capítulo una descripción de los procesos lineales y cíclicos en cuanto a flujo de materiales y energía se refiere, a fin de validar las buenas prácticas de sostenibilidad urbana que se presentan en la construcción de edificios en diferentes hábitats urbanos del mundo.

4.1.1 FLUJO O PENSAMIENTO LINEAL: Tomemos como ejemplo un organismo vivo como el ser humano, categoría en la que obviamente nos será fácil identificar los planteamientos de este concepto. Para una persona llevar a cabo los procesos diarios de la vida – caminar, pensar, trabajar, correr, etcétera – necesita que ingresen a su organismo un promedio de 3000 kilocalorías diarias en forma de alimentos (Alier, 1991; pág.89). Esto a su vez nos remite a entender que aquella cantidad de alimentos son digeridos y luego, gran parte de ellos, son convertidos en desechos.

Si el cuerpo humano ingiriera 3000 kcal/día una sola vez, poco a poco vería diezmada su capacidad de movimiento dado que no habría energía química suficiente para convertir en energía mecánica, es decir, que lentamente llegaría a un estado inanimado o moriría. De tal manera que lo anterior nos conduce al planteamiento lógico del ingreso diario de determinada cantidad de alimentos (energía y materiales), con su respectiva digestión y eliminación de desechos, siendo estos últimos transportados a través de alcantarillados hasta quebradas y ríos sin que sean nuevamente utilizados como material orgánico para la producción de abonos (Nos estamos refiriendo al tratamiento que a las aguas residuales se da en la mayoría de países latinoamericanos; destacando que en China en cambio ha existido como tradición el reaprovechamiento de excrementos humanos y de animales de pastoreo como fertilizante de terrenos destinados a la agricultura). Así que nos enfrentamos a una realidad palpable: el flujo lineal de materiales y energía (alimentos) que presenta el metabolismo humano, del cual se extraen materiales de zonas aptas para cultivo, se ingieren y se digieren los alimentos, se producen y eliminan desechos y luego el proceso vuelve a empezar. Incluyendo claro está, nuevas materias primas y desechos.

Si se tiene en cuenta que los desechos son energía y materia con menor calidad que los alimentos que ingresan, el caso entonces se torna crítico

cuando se multiplica por millones de personas que a diario hacen lo mismo.

4.1.2 FLUJO O PENSAMIENTO CÍCLICO: Para el ejemplo de este tipo de problema, se puede citar el proceso de transformación de materia y energía que se da en un bosque, pues en este ecosistema los desechos de uno de sus miembros pasan a convertirse en materia prima para el sostenimiento de la vida de otro organismo. En un bosque, gran parte de los materiales son reciclados, dependiendo principalmente del ingreso de energía solar como agente externo dinamizador y potencializador del equilibrio dinámico.

En contraposición con el flujo lineal, en este flujo se hacen presentes el reciclaje y la reutilización de materias primas, con lo que se logra un ciclo semi-cerrado dado que, excepto la intervención nociva del ser humano, el bosque natural, con su diversidad y complejidad, se convierte en un organismo capaz de autorregularse sin comprometer la estabilidad de sus componentes a muy largo plazo.

4.2 BUENAS PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

El capítulo anterior sirvió para demostrar la viabilidad económica de implementar un modelo para la gestión integral de escombros frente a

una política de eliminación controlada. En el mejor de los casos, sin embargo, estas teorías deben ir acompañadas con el ejemplo tangible en el cual puedan ser verificables y cuantificables. Se hace referencia entonces a lo que la rama de la sostenibilidad urbana ha designado como "las buenas prácticas", las cuales se presentan en campos que van desde la agricultura hasta la construcción; ésta última de referencia obligada para el presente trabajo. Las buenas prácticas obedecen a todos aquellos paradigmas de producción, consumo y eliminación que rompen con el tradicional paradigma de flujo lineal para dar paso a un enfoque de desarrollo basado en los procesos cíclicos. Para ilustrar mejor este tópico, se presentarán a continuación experiencias de construcción en las cuales se ha hecho un esfuerzo valioso de sensibilización en torno a la adopción de técnicas constructivas más limpias y eficientes.

4.2.1 PROGRAMA "LIVING BETTER" DE CONSTRUCCIÓN COMUNITARIA DE VIVIENDAS Y PROYECTO "LIVING BETTER JARDIM" EN LONDRINA (BRASIL)

Experiencia seleccionada en el Concurso de Buenas Prácticas patrocinado por Dubai en 1996 y catalogada como GOOD. (Best Practices Database) País: Brasil.

R E S U M E N

El conjunto de viviendas "Living Better Jardim" es parte del Programa Living Better para la urbanización de los barrios de chabolas y para la regularización agraria

que ha sido llevado a cabo por la Compañía para la Vivienda de Londrina (COHAB-LD). Gracias a este proyecto se construyeron 70 "Casas embrioes" (Casas embrión) de 25 metros cuadrados mediante el sistema "mutirao" (todos los vecinos trabajan un día gratuitamente para cada uno de ellos, que es el que se encarga de pagar los gastos de ese día), en las que se están utilizando materiales reciclados. Para reutilizar los escombros procedentes de la construcción, los bloques que se usan son los que se fabrican en la Central de Moagen de Entulhous da Prefeitura de Londrina (Oficina Central de Molido de Escombros de la Prefeitura de Londrina).

DESCRIPCIÓN

En Londrina, el suelo público situado en los valles y en los arroyos ha sido siempre susceptible de ser ocupado por los barrios de chabolas. Durante muchos años, la mayoría de estas zonas estaban abandonadas y no se habían incorporado con eficacia a la vida de la ciudad. Las zonas de chabolas estaban llenas de maleza, de basura, de materiales de desecho y de otros muchos materiales contaminantes. La gente que vivía allí no podía acceder una vivienda ni podía permitirse pagar un alquiler. Al mismo tiempo, estas zonas no se utilizaban como lugares de recreo ni estaban siendo protegidas.

A modo de ejemplo, hay un barrio de chabolas llamado Nova Conquista en el que han estado viviendo 38 familias durante más de diez años y que se sitúa sobre un valle en la parte rica de la ciudad, cerca del parque. Otro ejemplo es la ocupación

por parte de 32 familias de un sitio llamado "Cativa". La zona está próxima al lago Igapo y está considerada como un lugar para el ocio.

La legislación de la ciudad determina que los valles deben ser conservados permanentemente. La política ambiental en Londrina considera como una prioridad la recuperación de los valles y la creación de cuatro parques en estas zonas. Uno de estos valles es el llamado "Cambezinho", con 8 493 m² y en el que se sitúan los barrios de chabolas de Cativa y Nova Conquista.

El Living Better Jardim, nombre que se ha dado al programa de urbanización de los barrios de chabolas y de regularización agraria, patrocinado por la Compañía para la Vivienda de Londrina, COHAB-LD, es un proyecto nuevo para esta zona. En este proyecto se está mejorando la construcción de viviendas mediante el sistema "mutirao" y el uso de bloques fabricados en la Oficina Central de Molido de Escombros. El proceso es muy útil, ya que los residuos procedentes de la construcción que se iban a verter en los puntos negros y en otras zonas, se convierten en bloques que a su vez se transforman en viviendas para la gente pobre.

La Oficina Central de Molido de Escombros ha conseguido que se eliminen 400 "bota-foras" (vertederos de residuos procedentes de la construcción). Las compañías que recogen con carros los residuos, trasladan estos materiales a la Oficina de Molido de Escombros. Allí, los materiales se seleccionan, se trituran y se convierten en subproductos como gravas, piedra y arena. La piedra de granizo y la arena se mezclan con cemento y mediante un proceso de prensado se

convierten en bloques y en baldosas. Las baldosas se usan para pavimentar las plazas y los bloques se utilizan para construir las viviendas. La capacidad de producción de la Oficina Central de Molido de Escombros es de 2 500 bloques por día. Los bloques miden 20 x 40 cm.

El material representa un ahorro del 20% del costo total de la vivienda si se compara con el sistema tradicional de construcción. Los "mutirantes" (la gente que trabaja en el sistema "mutirao") trabajan 44 horas a la semana y a través del Sindicato de trabajadores de la industria de la construcción civil y del Servicio Nacional de Formación Industrial (SENAI) reciben la formación en los trabajos manuales de la construcción civil. Cuando se finaliza la construcción, se ofrece a los residentes un plan de ampliación de las casas embrión. Para las 70 unidades (1750 m² construidos) se utilizarán 280 toneladas de residuos procedentes de la construcción. Por cada 100 viviendas (2.500 m²) se recogerán en Londrina 400 toneladas de residuos procedentes de la construcción.

Como consecuencia de este proyecto, la ciudad puede proteger más espacios para el ocio, mientras que los residuos procedentes de la construcción se convierten en viviendas para aquellas personas que viven en las zonas de los valles. Una de las partes más bonitas de la ciudad se convierte en una zona residencial para mucha gente.

S O S T E N I B I L I D A D

El Proyecto Living Better Jardim se inició inmediatamente después de un debate en la comunidad y de la aprobación por parte del Consejo para la Vivienda de Londrina, que es la institución no gubernamental responsable de la política de vivienda en la ciudad. El suelo que pertenecía a la Compañía para la Vivienda de Londrina (COHAB), se transfirió a la ciudad (se convirtió en una propiedad pública) con la aprobación del Ayuntamiento. El nuevo suburbio ya fue regulado por la administración municipal. En un principio hubo alguna resistencia por parte de los vecinos de la zona, que no querían chabolistas en su barrio. Esta resistencia se superó al iniciarse la construcción.

I M P A C T O

Los escombros procedentes de la construcción se convierten en bloques, que a su vez se convierten en viviendas.

La Oficina Central de Molido de Escombros ha logrado que se eliminen 400 vertederos inadecuados de residuos procedentes de la construcción que se extendían por toda la ciudad.

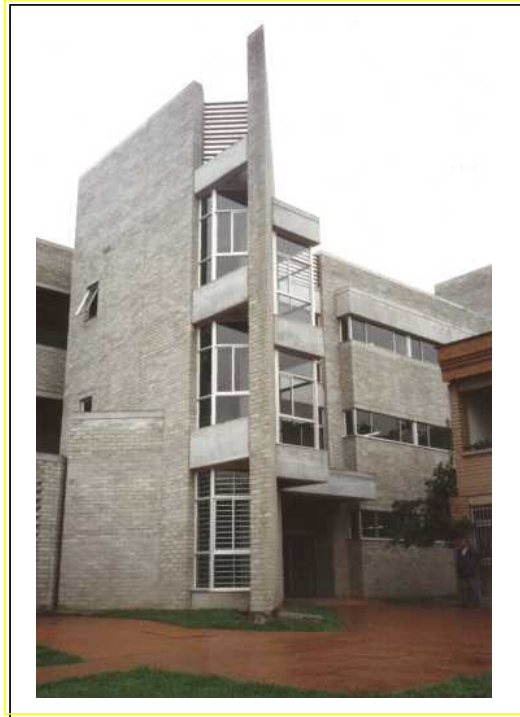
Se han hecho 70 viviendas con 280 toneladas de residuos procedentes de la construcción y que se eliminaron del entorno.

La ciudad utiliza ahora los valles como lugares para el ocio dignos de ser protegidos.

Las casas construidas con materiales reciclados cuestan un 20% menos que las que se construyen con el sistema tradicional.

4.2.2 EL EDIFICIO DE LABORATORIOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MEDELLÍN (COLOMBIA)

El edificio de laboratorios construido en la sede de Medellín de la Universidad Nacional de Colombia (2001), para las personas que diariamente caminan o conviven dentro de él, no deja de ser interesante; frío, moderno, encerrado, etcétera, pero con seguridad la textura del material de sus paredes es tan común que no reviste sorpresa alguna. Bloques de concreto que son pegados entre sí por una capa de mortero de cemento portland y arena son el factor común; sin embargo, estos elementos prefabricados no son tan comunes. Indiferente de su estética como obra, nos dan una imagen de estabilidad y fortaleza, tienen como materia prima agregados reciclados de material cerámico descartado por las industrias productoras de estos materiales en la ciudad de Medellín. La firma INDURAL S.A, una de las más sólidas y antiguas empresas de prefabricados en Colombia, ubicada en la ciudad de Medellín, ha venido implementando la práctica de utilizar escombros seleccionados en la producción de sus prefabricados, tales como bloques y adoquines, entre otros. Esta práctica no es muy difundida por el temor a que la comunidad en general piense que estos elementos tendrán un comportamiento desfavorable en comparación con aquellos que son confeccionados con materiales naturales no renovables, lo que es fácilmente descartado por las comprobaciones que a las mezclas recicladas y a los prefabricados reciclados se les han realizado (Malhotra, 1978; Bedoya, 1998).



***Fotografía 3. Edificio de laboratorios Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
Fachadas en bloque con agregado cerámico reciclado.***

Este edificio se construyó para albergar allí grupos de investigación consolidados de alto nivel y laboratorios que prestan sus servicios en diferentes áreas a la comunidad universitaria y a personas o entidades externas que lo requieran para el desarrollo de sus actividades. Esta obra cumple con los más exigentes requerimientos de construcción y desempeño sísmoresistente, así como también ha introducido un aspecto muy descuidado en nuestro medio como lo es el del comportamiento térmico con base en la línea de confort para climas templados tropicales. Esto quiere decir que aparte de incluir materiales reciclados en su estructura y sus acabados, el edificio, por medio de muros dobles expuestos a los rayos del sol, logra una temperatura interna confortables (22° C a 26° C) con el menor uso posible de equipos mecánicos. Estas prácticas de climatización natural,

aunque en el momento inicial de la construcción se presenten más costosas que hacerlo con las formas constructivas y arquitectónicas tradicionales, tienen una tasa interna de retorno rápida (en los primeros meses o años) que posteriormente se convierte en ahorro para los usuarios y para la colectividad, dada la disminución del consumo energético para climatización de ambientes.

4.2.3 VIVIENDAS DE EMERGENCIA CON TUBOS DE CARTÓN RECICLADO, KOBE (JAPÓN)

A mediados de la década de los años noventa (1995), la ciudad de Kobe fue sacudida por un terremoto que hizo colapsar barrios enteros y edificios construidos con especificaciones técnicas de alto grado de exigencia. Pero, paradójicamente, en aquella tragedia fue un material liviano y reciclado como el cartón, sumado a un buen sistema constructivo, uno de los que más le aportó a la solución de vivienda temporal y de espacios necesarios socioculturalmente como las iglesias. El arquitecto japonés Shigeru Ban diseñó viviendas de emergencia de 3m x 3m de base y una altura de 2,4m, rematando con una cubierta en pirámide a base de lona impermeable y aislante térmico, para contrarrestar los efectos de sobrecalentamientos en el interior a causa de los rayos solares.

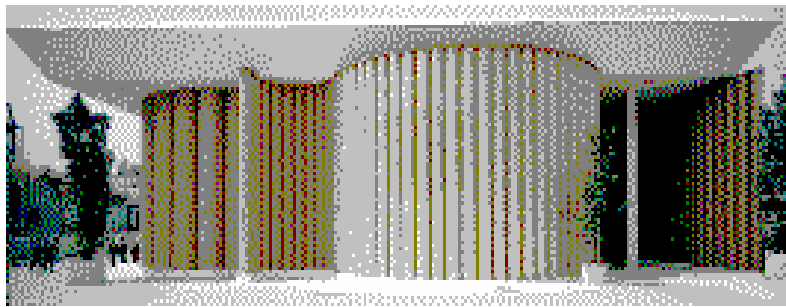
La validez de citar este ejemplo en el presente texto, aunque no sea en concreto reciclado, radica en la integralidad y la agresividad de la propuesta de Shigeru Ban, ya que ésta envuelve todo un acervo de conceptos como son:

- **El concepto de la estética**, representado en módulos agradables tanto hacia el exterior como al interior de la construcción misma (ver figura 8); manejando una forma sencilla y una textura que, dadas las condiciones de confección del

tubo de cartón, se presenta homogénea y genera un contraste armónico de color con el blanco de la lona de la cubierta

- **El concepto del confort térmico.** El tubo, al ser de un material de baja conductividad térmica, al tener un espacio vacío a lo largo de su longitud, se convierte en un excelente aislante térmico (Alvarado, López, Bedoya; 2003), lo que genera un espacio fresco durante el día pero tibio en las horas de la noche. Además, la combinación con una lona aislante y de color blanco que refleja los rayos del sol, evitando la concentración de calor al interior del módulo, complementa éste aspecto
- **El concepto del reciclaje.** Los tubos que se utilizaron en el proyecto fueron confeccionados con material proveniente del reciclaje de cartón y papel, lo que imprime el sello de un pensamiento cíclico en vez de uno lineal en torno al material de construcción de la obra
- **El concepto de la paradoja,** en el sentido de que en una población que está sometida a fuertes temblores durante todo el año, donde las construcciones emplean cada vez materiales más fuertes como el acero y el concreto, sea la propuesta de un material liviano, considerado como frágil y débil ante el intemperismo, la escogida para una solución postcatástrofe. Aquí la combinación de un sistema constructivo sismoresistente aprovechando precisamente el bajo peso del material, fue uno de los puntos técnicos más favorables, lo que le valió luego el reconocimiento del instituto de sismoresistencia del Japón al arquitecto Ban. En cuanto a la aceptación cultural por parte de la población, es de aclarar que el papel ha sido material milenario

de construcción para los japoneses, lo cual facilitó su ingreso no solo para construcciones de emergencia sino también para edificios permanentes como casas, bibliotecas y coliseos.



Fotografía 4. Pabellón Odawara. Obra de Shigeru Ban. Kanagawa, 1990.

Este tipo de construcción fue adaptada y ensayada en Colombia a través de un trabajo de grado de las estudiantes Mary Ruby Alvarado e Isabel Cristina López entre los años 2002 y 2003, ambas de la escuela de Construcción de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Medellín, trabajo del cual el autor de este texto fue el director. Al modelo construido en Japón se le hicieron modificaciones que lograron una mayor adaptación del sistema a nuestro medio, sobre todo en lo que tenía que ver con la base y la forma de instalación.

En cuanto a su comportamiento estructural y térmico, los ensayos realizados arrojaron resultados bastante satisfactorios, ya que puede soportar sismos de una intensidad como el ocurrido en 1999 en el Eje Cafetero, vientos de 80 kilómetros por hora y mantiene una temperatura en su interior que es 3 grados centígrados menor que en el exterior. Al igual que la propuesta de Ban, este trabajo de grado empleó tubos de cartón reciclado. Logrando con ello la aplicación y explicación de

un “paradigma de pensamiento cíclico”, basado en el reciclaje de residuos de cartón y papel para incorporarlos a un nuevo producto.

4.3 HERBERT GIRARDET: SOSTENIBILIDAD, BUENAS PRÁCTICAS URBANAS Y PENSAMIENTO CÍCLICO

En este capítulo acerca de las buenas prácticas de sostenibilidad y de nuevos materiales reciclados, adquiere sentido aquel proverbio oriental que dice: “el ejemplo no es una de las mejores formas de educar, sino la única”. Esto quiere decir que hay que pasar de la teoría a la práctica, de manera más decidida que la actual, implementando en las universidades, empresas y administraciones municipales nuevos paradigmas de ver y hacer las cosas, rompiendo con la inercia de procesos que aunque hayan demostrado durante años ser eficientes y “económicos”, merecen ser replanteados pensando en un beneficio colectivo que sin duda alguna no sería solo en los aspectos ambiental y económico meramente dichos, sino que desencadenaría dinámicas sociales y culturales de las comunidades con un gran sentido de pertenencia hacia su entorno ecológico.

En los tres ejemplos anteriores de buenas prácticas de construcción aparecen elementos comunes, como el uso de materiales reciclados, la reducción de consumo energético a través del diseño arquitectónico y la participación de la comunidad. Estos coinciden con lo planteado por Herbert Girardet en su texto

Creando ciudades sostenibles:

“Las ciudades modernas tienen un enorme impacto en el medio ambiente, su “huella ecológica” centuplica sus dimensiones superficiales, pero prosperarían aún cuando redujeran de forma drástica su consumo de recursos y energía. El reciclado de los residuos (incluye los escombros) puede reducir el uso urbano de

los recursos al tiempo que ayudaría a crear muchos empleos; el rendimiento medioambiental de los edificios urbanos puede verse enormemente mejorado por medio de nuevos materiales y diseños arquitectónicos. Las ciudades pueden también adoptar nuevos e imaginativos enfoques en la planificación y gestión del transporte y en el uso del espacio urbano. Podemos mejorar de forma espectacular la experiencia de la vida urbana creando nuevos barrios más habitables y reduciendo el deseo de las personas de escapar de la presión de la vida en la ciudad". (Girardet, 2001).

Precisamente en esta parte del presente capítulo, abordaremos de manera resumida los planteamientos hechos por Girardet en torno a la sostenibilidad y las buenas prácticas urbanas, en los cuales es identificable un pensamiento basado en lo cíclico y no en lo lineal, aspecto que ha sido tratado como uno de los ejes en la presente tesis.

En el libro *Creando ciudades sostenibles*, Girardet cita a John Ruskin con la frase "Cuando construyamos, pensemos que lo hacemos para siempre", esto con el objeto de introducir la lectura al tema de la Regeneración Urbana, tema en el cual referencia ejemplos de buenas prácticas en las cuales se han recuperado espacios urbanos que creían perdidos para el uso de la población. Uno de los proyectos mencionados es el *Urban Oasis* en Salford, que pudo transformar un edificio de apartamentos derruido en un entorno revitalizado.

"Todavía es posible ver los problemas a los que se enfrenta el interior de las ciudades aquí mismo en Salford y en otros edificios de apartamentos a lo largo de Gran Bretaña y Europa: eriales, escombros, abandono, un entorno abierto y hostil

sin nada que crezca que sea realmente productivo o útil. La gente no es dueña de este entorno. Hay delincuencia, no existe sensación de seguridad.

Apple Tree Court era todo esto. Había un muro de cemento erizado de piedras puntiagudas; había escombros; había hierba, pero poco que creciese. Lo que ha ocurrido es que la gente de la localidad, implicándose, se ha transformado a sí misma y ha transformado este lugar. Ahora es un lugar de paz y belleza, con flores, naturaleza, un estanque lleno de fauna, se cultivan vegetales y otros alimentos, las personas se sienten seguras y tienen la sensación de propiedad e intimidad.

Esta es una extensión muy grande de jardín y está rodeado por una valla. Hay 100 hogares en este bloque, un típico edificio de apartamentos del interior de la ciudad, y dividimos el jardín y establecimos zonas de responsabilidad. Algunos están interesados en el huerto, otros en cultivar vegetales, otros en el prado y el estanque. Así es que los grupos de personas hacen lo que quieren hacer; se interesan por ello y se presentan con sus propias ideas. Ese jardín es la creación de la gente que vive aquí, no el resultado del asesoramiento externo traído con dinero ajeno.

Hay bloques de pisos en toda Gran Bretaña y Europa: o los echas abajo, lo que es la solución más costosa, o encuentras la manera de mejorarlos. Si puedes hacerlo con la gente de la localidad que vive allí, puedes ahorrarte enormes sumas de dinero. No hay suficiente dinero disponible para solucionar estos problemas, de forma que ésta es una cuestión social y medioambiental, además de un imperativo económico. Si vas a solucionar un problema, no puedes permitirte hacerlo sin dar la confianza a la gente para que lo haga por sí misma. Lo que ha ocurrido aquí ha pasado sólo porque la gente que vive aquí tuvo una visión de cómo podía cambiar

su vida, y se pusieron a la obra y lo hicieron, y aprendieron de ello y están orgullosos". Tony Milroy en entrevista para la cadena de televisión Channel 4.

El ejemplo anterior presenta una relación con los ya descritos en este mismo capítulo, esa relación tiene que ver con la reutilización y el reciclaje, si bien no de escombros, si de estructuras y de espacios arquitectónicos. A su vez emerge un factor común entre todas estas buenas prácticas, la potencialización de las capacidades de autogestión y el sentido de pertenencia por parte de la comunidad hacia su entorno. Factor este que conlleva a la estabilidad de los procesos, ya que las políticas de manejo de espacios verdes, recursos y desechos, se convierten en parte del acervo social y cultural inherente a las personas que conforman la colectividad urbana.

Girardet recomienda la socialización de las buenas prácticas que a todo nivel se vienen dando en los cinco continentes, recopiladas por el *International Council for Local Environment Initiatives* (ICLEI). Las iniciativas sobre buenas prácticas abordan cuestiones que van desde la reducción de la pobreza y creación de empleo, hasta la implementación de bancos de mujeres y sistemas financieros locales. Dentro de esta gama de iniciativas se encuentran el reciclado y la reutilización de desechos, el acceso a la vivienda, uso innovador de la tecnología y los ciclos mejorados de producción / consumo. Con estos cuatro aspectos está identificada esta tesis de grado.

Si hemos citado a Girardet en este apartado que habla sobre buenas prácticas y pensamiento cíclico, es porque nos ofrece no solo argumentos teóricos sobre ello,

sino porque además nos brinda ejemplos que validan dichas teorías acerca de la sostenibilidad y su viabilidad a todo nivel, como la experiencia del *Urban Oasis*. Son pocos los ejemplos de los cuales podemos tener conocimiento en lo concerniente a pensamiento cíclico, sin embargo Girardet, dentro de su acervo de ejemplos consignado en su producción escrita, hace referencia a un proyecto que ya está siendo desarrollado en Austria, cuyo principal eje es el comportamiento de ecosistema autótrofo que puede presentar el sector productivo en una ciudad. Este ambicioso proyecto es denominado por el sector productivo como ECOPROFIT, a continuación se describen los aspectos relevantes de esta interesante experiencia en el ámbito de la sostenibilidad urbana.

ECOPROFIT: “En la ciudad austríaca de Graz, la autoridad local ha desarrollado un método innovador para prevenir la contaminación por medio de la introducción de un sistema de producción de ciclo cerrado similar al del reciclado de materiales en un ecosistema natural. El proyecto *Ecological Project for Integrated Environmental Technologies* (ECOPROFIT) ilustra las mejoras en las técnicas de gestión y en los procesos de producción. El proyecto persuadió a las empresas locales – como imprentas, garajes y una cadena de almacenes – de que los costes se reducen más evitando las emisiones tóxicas y los residuos que descargándolos al medio ambiente. El proyecto propugna que evitar la contaminación es mejor que tratar los residuos una vez que éstos han sido arrojados, puesto que los beneficios resultantes incluyen una reducción tanto en el consumo de recursos como en las emisiones de residuos. De una mayor eficiencia en la producción surge el ahorro en los costes para las compañías y para las autoridades”, lo que es conocido como ecobeneficio.

El proyecto ECOPROFIT tiene conceptos fundamentales en los cuales está basada su actuación, los cuales se muestran a continuación.

“El productor es responsable del ciclo de vida completo de su producto, incluyendo:

- El consumo de energía y las emisiones durante el uso de los productos;
- Su capacidad para ser reparado, reciclado o desechado.

Otras responsabilidades son las siguientes:

- Cualquier cosa que emana del proceso de producción debe ser considerada como un producto o materia prima que puede usarse directamente o, después de su procesamiento, como alimentación de un nuevo proceso de producción;
- Todo producto ha de estar optimizado en cuanto a su capacidad para ser reparado o reciclado;
- La producción se basa en fuentes de energía renovables y en sustancias que, en la medida de lo posible, se basan en materiales reciclados (secundarios);
- El productor elige los materiales de entre recursos renovables y se desprende de los residuos de forma que no dañen la naturaleza;
- El productor minimiza su demanda de energía hasta un nivel que pueda ser atendido con el uso de fuentes de energía renovables.

ECOPROFIT es una asociación entre la alcaldía, la universidad técnica y el sector privado. La reducción de la contaminación beneficia a las empresas así como a la autoridad municipal encargada del suministro de servicios, incluyendo el agua potable, la gestión de residuos y la reparación medioambiental. La información y

asistencia técnica a las compañías locales se acompaña de apoyo en la comercialización. Para facilitar un enfoque preventivo la información ofrecida a las compañías ha resultado más efectiva que la regulación. Los incentivos destinados a minimizar la contaminación son importantes para conseguir que las empresas participen en el proyecto. Incluyen la promoción en la comunidad local de las empresas participantes como **líderes del mercado ecológico**".

Para terminar este capítulo, se presenta precisamente la última parte del texto de Girardet en la cual, a manera de conclusión, nos presenta un panorama que tiene tanto de alentador como de quijotesco, pero es precisamente sobre la utopía cultural a lo cual este texto hace referencia desde el título mismo.

"El desarrollo urbano inofensivo para con el medio ambiente podría muy bien convertirse en el mayor desafío del siglo veintiuno, no sólo por el propio interés humano, sino para que exista una relación sostenible entre las ciudades y el planeta. Limitar el consumo urbano de recursos y la producción de residuos será, sin duda, de una importancia capital para que una humanidad urbanizada sea viable a largo plazo. Los muchos y variados aspectos del desarrollo urbano sostenible necesitan estar integrados en un conjunto de líneas de actuación interconectadas que puedan ser aplicadas bajo circunstancias muy cambiantes.

Tenemos muchas opciones para el desarrollo urbano sostenible: la prevención de la creación de residuos, la reutilización y el reciclado pueden facilitar que se produzca una eficaz revolución en el consumo de recursos. Sistemas de energía eficientes y limpios pueden mejorar el el rendimiento de las ciudades y sus edificios. Un diseño arquitectónico amable con el entorno puede reducir aún más el impacto medioambiental. La inversión en la extracción de recursos, la conservación y el

reciclado crearán nuevos empleos y oportunidades de negocio en los ámbitos en los que son más necesarios: en la industria de la tecnología ambiental.

Si hacemos las cosas bien las ciudades del nuevo milenio serán centros para una cultura sostenible. Serán eficientes en la gestión de la energía y de los recursos, agradables para las personas, culturalmente ricas y dotadas de democracias activas que aseguren que se hace el mejor uso de las facultades humanas. Un desarrollo prudente de las infraestructuras aumentará el empleo y mejorará la sanidad y las condiciones de vida. En las megaciudades septentrionales como, como Londres y Nueva York, una mayor sostenibilidad contribuirá de manera significativa al empleo. En las ciudades meridionales, una importante inversión en infraestructuras facilitará un cambio sustancial en las condiciones higiénicas y de vida.

Pero nada de esto ocurrirá si no creamos un nuevo equilibrio entre lo material y lo espiritual, y para ello hace falta realizar un buen trabajo. Es imprescindible tener una visión más reposada y serena de las ciudades para ayudarlas a consumir su pleno potencial como lugares no sólo del cuerpo sino también del espíritu. La mayor energía de las ciudades debería ir dirigida a la creación de obras maestras de la creatividad humana”.

El desafío está planteado por teóricos y poco a poco está siendo tenido en cuenta por los sectores productivos que comprometen en gran manera la estabilidad de los recursos naturales. La idea que nos plantea Girardet de concebir las ciudades como lugares para el cuerpo y el espíritu, es algo así como la expresión poética de algo que técnicamente hemos llamado en esta tesis el pensamiento cíclico para ecosistemas urbanos casi autótrofos. Porque es claro que si bien se han discutido asuntos tan ingenieriles como los materiales, la entropía y los flujos de energía, la vocación de la presente investigación es hacer un llamado hacia la instauración de hábitats urbanos sostenibles, en los cuales la cultura, el trabajo, la educación y la producción de elementos básicos para la supervivencia, reconozcan al ser

humano como objeto interdependiente y vulnerable, al mismo tiempo que dinamizador de espacios agradables para el habitar.

CONCLUSIONES

La continuidad o existencia de las ciudades, en términos de viabilidad, no está ligada sólo a los aspectos de reciclaje, disminución de consumo de materiales y energía, sino también a la capacidad que estas tengan para mantener su complejidad; si se tiene en cuenta la ciudad como sistema interdependiente entre lo físico y lo cultural. Acudir a prácticas de reciclaje de escombros ayudaría a reducir significativamente el uso urbano de los recursos. Paralelo a ello, se hace necesaria una interacción entre materiales sostenibles y diseños arquitectónicos que logren optimizar el rendimiento medioambiental de los edificios urbanos, como también definir políticas para un comportamiento ético de las sociedades urbanas, en el cual sea claro el compromiso de un desarrollo que no desconozca las necesidades de las generaciones futuras.

Las ciudades, aún cuando son dependientes en cuanto a la mayoría de los materiales y flujos de energía que entran a ellas, pueden hacerse sostenibles si se piensan como sistemas autorregulados, en lo que tiene que ver tanto con sus propias dinámicas como en su interacción con el entorno o ambiente exterior que les rodea. Esto nos remite entonces a pensar la ciudad como sistema semi-cerrado con ciclos metabólicos menos lineales en cuanto a flujos de materiales y energía; en el caso específico de la presente tesis, en lo concerniente al concreto como material de uso popular en la construcción de hábitats urbanos.

Aunque ya hemos planteado la idea de concebir la ciudad como ecosistema semi-cerrado, es útil reconocer que por más prácticas de sostenibilidad urbana que se desarrollen al interior de las urbes, estas requieren de regiones tributarias que le aporten *inputs* de energía y materias primas, al igual de zonas vecinas donde pueda descargar los *outputs* (parte de sus residuos). En ambos casos, el vínculo de la ciudad con dichas zonas deberá ser estable y armónico.

Ya que la construcción es un asunto por el momento ineludible, no lo debería ser así la implementación de una actividad edilicia reflexiva y armónica con su entorno. Las experiencias de muchas ciudades europeas, indican que los incentivos del mercado pueden hacer que el reciclado sea económicamente ventajoso y que programas de gestión integral de escombros y residuos sólidos urbanos, complementados por estímulos a nivel local principalmente, pueden lograr cambios positivos en las comunidades en cuanto a su percepción del ambiente y a su comportamiento sociocultural. De apoyar las buenas prácticas en torno a la implementación de una construcción sostenible como hecho cultural, es factible que la actividad de confeccionar materiales reciclados de alto consumo por parte de la comunidad pase de ser una situación anónima y poco representativa, a un eje fundamental para el desarrollo y la consolidación de las futuras ciudades latinoamericanas.

Desde el punto de vista económico, se hace viable la recolección selectiva de escombros y la producción de agregados reciclados para confeccionar nuevos

concretos. Recordemos por ejemplo que si la administración municipal decidiera reciclar el 15% de los escombros generados en el AMVA, sería posible ahorrar más de 9800 millones de pesos al año; representados en el costo de la eliminación evitada y de la descarga en escombreras. Estos más de 9800 millones de pesos podrían ser empleados en plantas de reciclaje de alto volumen, de las cuales se pueden abastecer obras de construcción en el AMVA; así mismo, podrían subsidiarse programas de educación ambiental para la comunidad y los empresarios del sector, con el objeto firme de hacer de la práctica del reciclaje de desechos un hábito.

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; 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.

Un modelo integral para el manejo de escombros podría tener las siguientes etapas para el AMVA:

- Decisión política para emprender el proyecto a pequeña escala, inicialmente.

- Convocar a empresarios, académicos y centros de desarrollo tecnológico para que juntos, establezcan las pautas del modelo a implementar.
- Una vez definido el modelo, establecer las condiciones políticas, económicas y sociales para la puesta en marcha de éste. Al igual que los parámetros para el control y el seguimiento del proyecto.
- Al finalizar el plazo del proyecto a pequeña escala, llevar a cabo una evaluación ética para definir la viabilidad de su implementación a mediana y gran escala en el AMVA.

Al momento actual, se tienen las herramientas conceptuales y técnicas necesarias para que los municipios del AMVA adopten modelos de gestión integral de escombros, los cuales conduzcan a introducir un nuevo hábito de confeccionar materiales populares reciclados de uso en el sector de la construcción. Resistencias, costos y una mirada analítica de los metabolismos urbanos semi-cerrados, validan este planteamiento que esperamos no quede solo consignado como texto requisito para la culminación de la Maestría en Hábitat, sino que sirva como propuesta de trabajo para el sector de la construcción en aras de consolidar procesos sostenibles de urbanización.

BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. BERTALANFFY, Ludwig Von. Teoría general de los sistemas. Editorial Fondo de Cultura Económica. México, 1976.
3. BETTINI, Virginio. Elementos de ecología urbana. Editorial Trotta S.A. Madrid, 1998.
4. BUCK, David N. Shigeru Ban. Editorial Gustavo Gili S.A. Barcelona, 1997.
5. CEPAL. Desafíos e innovaciones en la gestión ambiental latinoamericana. En seminario Experiencia latinoamericana en manejo ambiental. Santiago de Chile, 2000.
6. 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.
7. CORVIDE. Plan de vivienda y hábitat; dejando huella social. Medellín, 2001. 60 p.
8. GIRARDET, Herbert. Creando ciudades sostenibles. Ediciones Tilde. Valencia, 2001.
9. HERMANSSON, Lars-Anders. Building issues, cement-bonded straws slabs; a feasibility study. Lund University. 1993.

10. 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.
11. KRAUTZBERGER, Michael. Environmentally sound technologies in the building sector. En Model cities urban best practices. Singapore, 1999.
12. LEITMANN, Josef. Integrating the environment in urban development: Singapore as a model city. Singapore, 1999.
13. MARTÍNEZ ALIER, Joan. Editorial Fondo de Cultura Económica. México, 1993.
14. MEJÍA R, Oscar. Un modelo estacionario de circulación atmosférica diurna en el Valle de Aburrá para época de verano. Universidad de Antioquia. Medellín, 2002. Tesis de grado.
15. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Una aproximación al estado de la gestión de las ciudades en Colombia. Bogotá, 2002.
16. SALAZAR, Alejandro. Diseño de materiales con residuos sólidos industriales, Medellín. Cátedra viajera CORONA, 1998.
17. UNITED NATIONS FOR HUMAN SETTLEMENTS. Report of the network of african countries on local building materials and technologies. Nairobi, 1993.

Notas a la introducción

ⁱ Proyecto de vivienda de Interés social Barrios de Jesús. Arquidiócesis de Medellín. Medellín, 1999

ⁱⁱ Sistemas tipo túnel en los cuales el concreto alcanza a ser hasta el 80% de la masa total del edificio.

Notas al capítulo 1

ⁱⁱⁱ *Inputs*: Materiales y energía que ingresan al proceso, en este caso al de la combustión.

^{iv} *Outputs*: Materiales y energía que salen del proceso, en forma de desechos y calor disipado de menor calidad.

^v Viena, por ejemplo, incrementa todos los días su peso real del orden de unas 25.000 toneladas (Profesor Paul Brunner, comunicación personal. Girardet, 2001).

^{vi} También podrían nombrarse aquí aquellos para la confección de textiles, entre otros., pero el presente texto se ocupa del campo específico de la actividad edilicia.

^{vii} Cuando se hace referencia al oriente antioqueño se está hablando de los municipios de las zonas de embalse.

Notas al capítulo 2

^{viii} Este trabajo fue presentado por el autor como trabajo de grado para obtener el título de Arquitecto Constructor en la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, en 1998.

^{ix} Aunque los porcentajes de absorción son elevados para los agregados reciclados, el agua requerida para la mezcla está calculada para ellos sin verse afectada la relación A/C. esta última se elige de acuerdo al uso en obra que tendrá el concreto, independiente del agua requerida por absorción de los agregados.

Notas al capítulo 3

^x Esta obra no se ejecutó porque no fue acogida por los habitantes, al considerar que sólo beneficiaba a unas cuantas personas del municipio.

^{xi} Miles de millones. 20 millardos = 20 000 millones. Nota del investigador.

^{xii} Se calcula un costo de eliminación de 200 000 liras/Tm para los RSU.

^{xiii} Fuente: CAMACOL Antioquia.

^{xiv} Fuente: Empresas Varias de Medellín.