

Capítulo VI. Gestión de los residuos sólidos generados durante la construcción y demolición

Pedro Vera Toledo
Juan José Villalobos Maldonado

Introducción

En muchas partes del mundo surgen ejemplos de la problemática que se presenta con los residuos que provienen de la construcción y demolición, tan solo, en una ciudad de tamaño medio en Europa; Cataluña, España, con una población de seis millones de habitantes durante el año 1998, generó más toneladas de residuos de la construcción y demolición, que de residuos domésticos ^[1].

De forma general en diversos lugares, donde no necesariamente se tiene el cuidado de manejar de forma correcta estos residuos, se ha detectado que representa serios problemas al medio, que se pueden agrupar en dos clasificaciones; los indirectos y los directos.

Indirectos:

1. A mayor generación de residuos de la construcción y sobre todo de demolición, se requiere de una mayor cantidad de materiales pétreos, de ahí el desgaste de fuentes de recursos naturales por la apertura de nuevos bancos de extracción de materiales pétreos.
2. Aumento en los niveles de contaminación en términos de la operación y explotación de estos bancos y de la producción de cementantes como el cemento y la calhidra.

3. Amenaza al agua subterránea por las posibilidades de exposición del nivel freático, por la explotación de los bancos de materiales pétreos.
4. Aumento de los niveles de contaminación por el transporte de todos los materiales pétreos incluyendo cementantes, involucrados en la construcción.
5. Generación de ruido, la industria en general se acepta que es una de las fuentes fijas de emisión de ruido más importantes, y la industria del procesamiento y extracción de materiales se encuentra dentro de este rubro.

Directos:

1. Deterioro del paisaje, por la disposición a cielo abierto, en sitio no autorizados y por tal motivo no apropiados para tal fin.
2. Cuando se dispone en rellenos sanitarios, roban espacio a los residuos sólidos urbanos acortando la vida útil de las celdas y aumentando considerablemente el peso volumétrico de los mismos, aunado a esto la estabilización y/o consolidación toma mucho más tiempo que los residuos sólidos urbanos.
3. En el manejo, dispersión de polvos.
4. Compactando y bloqueando la dinámica natural del suelo.
5. Evitando el crecimiento de la vegetación y aumentando el potencial de desertificación ^[2].
6. Emisiones gaseosas, principalmente compuestos de sulfuro ^[3].
7. Generación de lixiviados. Anteriormente se daba por sentado que los residuos de la demolición y la construcción, poseían características inertes. Recientemente un estudio reportó la generación de lixiviados ^[4].

Es decir, el potencial de contaminación hacia el medio por estos residuos, es latente sobre todo cuando no son manejados correctamente, con las consabidas consecuencias a la salud pública, razones de peso para implementar medidas para disminuir malas prácticas e implementar una gestión eficiente.

El problema de qué hacer con estos residuos cada día es más apremiante: no es aceptable, por consiguiente, despreocuparnos de ellos, por los que son recogidos y depositados en los rellenos sanitarios o sitios de disposición final de residuos autorizados, estos generalmente prestan servicios caros y tienen un impacto ambiental considerable. Existía además una clara tendencia a utilizarlos como método principal al menos en Europa (por no decir único) para deshacerse de los residuos ^[1].

Sobre la base de lo anterior se tiene que diversos estudios realizados en Holanda, Dinamarca, Bangladesh, Kuwait, España, Estados Unidos y algunos en la región de Latinoamérica, han implementado estrategias para gestionar estos residuos instituyendo; desde legislación específica y mucho más coercitiva, hasta impuestos por la generación en términos de volumen y por supuesto incluir en el manejo, la reutilización y reciclaje de los mismos en diversos porcentajes.

En América latina se ha trabajado de manera incipiente para controlar estos residuos, por ejemplo en Colombia se ha desarrollado un programa de gestión integral de escombros, el cual puede utilizarse en obras civiles. Este programa establece procedimientos para todas las acciones, actividades, productos y procesos, que tengan, o pudieran tener un impacto sobre el medio ambiente, comenzando por:

Reducción en la generación de residuos de la construcción y demolición (también conocidos como escombros). Se proponen que para reducir la producción de escombros dentro de las obras de construcción, se deben tener en cuenta por lo menos las siguientes medidas:

- Los equipos y herramientas adecuados para cada trabajo o actividad.
- El uso de material normalizado y con las dimensiones ajustadas a las líneas arquitectónicas (puertas, ventanas, luminarias).
- Los sitios de trabajo deben tener condiciones de acceso, iluminación y ventilación.
- El suministro de materiales se debe organizar mediante sistemas mecanizados o corredores de abastecimiento, según sea la actividad a realizar; por ejemplo, el suministro de arena debe garantizar que se dé la menor pérdida de material y la menor contaminación por material particulado.

- Las normas de salud ocupacional y seguridad industrial deben cumplirse de manera que los trabajadores cuenten con los elementos adecuados para la manipulación de los materiales ^[5;6].

En el mismo sector del mundo se intenta inclusive integrar a residuos de otros tipos, por ejemplo en la república de la Argentina se ha estudiado la integración de residuos de los más variados y diversos tipos y orígenes para elaborar elementos constructivos basados en que la industria de la construcción civil y sus auxiliares pueden constituir verdaderos receptores de residuos y subproductos ^[7], que al manejar grandes volúmenes de materiales, pueden incluir en sus composiciones importantes porcentajes de estos residuos ^[8;9] tales como:

1. Carbón mineral, se ha estudiado la factibilidad de utilización de sus residuos como materia prima para la industria de la construcción ^[5;10].
2. Los neumáticos en desuso, constituyen uno de los residuos compuestos (caucho, acero, fibras, aditivos orgánicos, entre otros) que realmente preocupan, debido a dos de sus principales características: su alto poder calorífico que hace que se quemem con facilidad, y su estabilidad química, que hace que no se degrade fácilmente en el ambiente. A esto debe agregarse el gran volumen que ocupa su disposición final, ya sea a cielo abierto o en rellenos sanitarios. Durante años se utilizó la incineración como alternativa para este tipo de residuos, pero este proceso produce emisiones contaminantes, tóxicas y nocivas para la salud humana y el ambiente, además de generar cenizas y productos de mayor toxicidad que el inicial. Así, se analizó la posibilidad de utilizar el caucho granulado como materia prima para la construcción, formando parte de carpetas de cemento para pisos ^[11].
3. Los lodos que se generan en los sistemas de captura (filtros) de los hornos de la industria siderúrgica. Todos los polvos estudiados presentan propiedades para ser utilizados como materiales de relleno en obras civiles y de la construcción. Se investigaron en particular lodos provenientes del alto horno, y se analizó la

posibilidad de incorporar estos residuos en la fabricación de ladrillos artesanales ^[12;13].

4. Las arenas de moldeo residuales del proceso de fundición de hierro, han sido estudiadas con el fin de utilizarlas como agregado en la fabricación de productos de cerámica roja (ladrillos y tejas) para uso en la industria de la construcción. Se obtuvieron cuerpos cerámicos a partir del diseño de mezclas con distintos porcentajes de residuos y distintas arcillas de uso común en la industria ladrillera, las cuales luego fueron conformadas y tratadas térmicamente, determinándose sus propiedades ^[14;15].

En México, específicamente en el Distrito Federal, para el 2006 se estimó que la generación de residuos que provenían de los sistemas constructivos, ascendió en aproximadamente un tercio del total de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) generados al día ^[16].

Para el año 2010 en Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, se realizó el primer estudio orientado a estimar y proyectar la generación de los residuos de la construcción y demolición, además de generar una propuesta para el reciclaje de las fracciones de concretos, pedacero de block y ladrillos, específicamente en la elaboración de piezas prismáticas para construcción con diversos porcentajes de residuos y cementante. Paralelo a esto se encontró que, como generalmente sucede con otros residuos, no se gestionan ni manejan de manera correcta ^[17].

Generación y caracterización de residuos en los sistemas-procesos constructivos y de demolición

A la generación de residuos sólidos la define la Ley General para la Preservación y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como la acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo, la generación a nivel mundial es diversa, como se apreció en párrafos anteriores, en una ciudad de tamaño medio en Europa; Cataluña, España, con una población de seis millones de habitantes durante el año 1998, generó aproximadamente tres millones de toneladas de re-

siduos de la construcción, en contraparte, esta misma comunidad sólo generó 2.6 millones de toneladas de residuos domésticos [1].

Para poner en perspectiva en lo relacionado a la generación de los residuos de la construcción y demolición en la Tabla 1 se presenta la generación, de varios países del mundo, lo preocupante es que como se ha reportado en diversos estudios, la generación tiene la tendencia del crecimiento, como ejemplo España, donde la generación percapita dibuja la tendencia de aumento para 1990, 280 kg/hab año [18]; 1994, 500 kg/hab año [1]; y para 2002 entre los 520 y 760 kg/hab año [19].

Por otra parte en la Unión Europea, en 1998, la construcción y la demolición producen del orden de una tonelada de residuos por habitante al año [1].

Tabla 1. Cantidades aproximadas de residuos de la construcción, a lo largo de 1990, excluyendo la tierra y el asfalto. Se advierte que estas cantidades derivan de diferentes fuentes y por lo tanto tienen que considerarse, con reservas, sin embargo, son los mejores datos de los que actualmente se dispone.

País	Habitantes (en millones)	Producción de residuos de la construcción (Millones/Tm)	Promedio (Kg/Hab)
Dinamarca	5	5	100
Holanda	15	7	70
Gran Bretaña	57	30-50	530-890
Alemania ⁽¹⁾	62	28	450
Bélgica	10	7	70
España	39	11	280
Kuwait	188	88-108	470-570
Total	1.8	1.6	90

(1) Excepto los cinco estados federados del Este. Tomada de la referencia [18].

En México se han realizado diversos estudios de generación y caracterización de los residuos sólidos que provienen de la construcción y demolición, entre los que destacan:

1. México Distrito Federal

La composición de los residuos generados por la industria de la construcción varía mucho dependiendo del tipo de actividad ya sea demolición o construcción, además de los métodos utilizados para ello. Los residuos generados durante estas actividades consisten generalmente en pedacero de materiales utilizados para construir tales como madera, tabla roca, residuos de albañilería, metales, vidrio, plásticos, asfalto, concretos, ladrillos, bloques, cerámicos, entre otros. En México específicamente en el Distrito Federal se generaban en el 2006, 12,000 toneladas de RSU y RME al día, de estos se estimaba que alrededor de 3,000 toneladas de residuos provenían de los sistemas constructivos [16].

2. Estado de México

Como generalmente sucede en la investigación realizada se enfrentó al problema de la falta de datos fiables, lo que forzó a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basadas en muestras de limitada representatividad. Por ejemplo, una obra de demolición generaba 900 kg/m^2 de residuos, mientras que una obra nueva generaba 200 kg/m^2 . Se estimó que un m^3 de obra construida, genera 0.068 m^3 de RC, asimismo se estimó un peso volumétrico 1.5 ton/m^3 , por lo que un m^3 de obra construida genera 102 kg de residuos de construcción [8].

Los residuos generados por actividades asociadas a la construcción están constituidos generalmente por un conjunto de fragmentos de tabiques, piedras, tierra, concreto, morteros, madera, alambre, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos y varillas, principalmente. Su composición puede variar ampliamente [20].

3. Chiapas

En el estado de Chiapas, el estudio fue específico para su capital Tuxtla Gutiérrez, para el año 2010 se realizó un estudio que concluye con una estimación que la generación de residuos sólidos de construcción y demolición por cada vivienda es de 12.99 m^3 , teniendo como limitante que no se determinó el peso volumétrico, a pesar de esto se estimó que la generación per cápita para la capital chiapaneca ascendería a $448.18 \text{ kg/habitante}$, para un periodo de ocho años. Finalmen-

te también se reportó, que en esta ciudad este tipo de residuos no se manejan correctamente y que la ley ambiental para Chiapas contiene ciertos instrumentos que de operar estimularía el reciclaje de residuos de manejo especial, pero al día no se han implementado [17].

En España la composición de los residuos de la construcción y demolición es muy variada, en otras palabras, la heterogeneidad de los residuos es evidente, de estos componentes, los que se destacan: cemento, gravas, agregados finos, materiales pétreos, y cerámicos, plásticos, cartón-papel, cables eléctricos, pedacero de varilla, clavos, botes, entre otros [21].

En suma, la generación de residuos de la construcción y/o demolición no permitiría proporcionar un dato representativo por unidad de construcción o demolición; ya que esta depende de muchas variables que van desde, lo cultural, tamaño de obra, pasando por lo económico, tipo de sistema de constructivo, entre otros.

Otro escenario se presenta en la caracterización, porque diversos autores reportan de manera general, amplias similitudes, que se presentan en la Tabla 2, sin reportar los porcentajes de cada componente.

Tabla 2. Características de los residuos de la construcción y demolición.

Componentes	Fuente bibliográfica			
	5	1	8	30
Madera				
Cemento	X			
Gravas	X			
Agregados finos	X			
Materiales pétreos	X		Piedras	
Cerámicos	X	X	X	X
Plásticos	X	X	X	
Cartón	X			
Papel	X			
Cables eléctricos	X			

Componentes	Fuente bibliográfica			
	5	1	8	30
Pedacero de varilla	X	X	X	
Clavos	X	X		
Botes	X			
Otros	X	X		
Concretos		X	X	X
Tabla Roca		X		
Residuos de albañilería		X		Mampostería
Vidrio		X		
Asfalto		X		X
Ladrillos		X		X
Bloques		X	Tabiques	X
Alambre			X	
Yeso			X	
Cal			X	
Cerámica			X	
Tejados			X	
Pisos			X	Adoquines
Arcilla				X

Tratamiento de residuos de construcción

De acuerdo a la LGPGIR se define tratamiento como: Los procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad.

Siendo la caracterización de los residuos sólidos provenientes de la construcción y demolición totalmente heterogénea, se tiene que las posibilidades de tratamiento de acuerdo a la naturaleza de cada una de las fracciones identificadas, tendrían una amplia gama de tratamientos, además de considerar que las actividades de reutilización y reciclaje forman parte de tratamiento.

De los distintos componentes identificados en la composición de los residuos sólidos de la construcción y demolición se puede decir que la arena, materiales pétreos triturados y tierra tienen como la mejor opción la reutilización. Los triturados, concretos, morteros, cerámicos y los asfaltos el reciclaje. Para el reciclaje de la madera, papel, plástico y el vidrio primero se procede a la separación en la fuente y en segundo lugar venta y como última opción la disposición final en sitios autorizados [22; 23].

Por otra lado se equiparan una serie de tratamientos para los residuos sobre todos los que provienen de la industria de la construcción, a partir de operaciones unitarias, es decir, procedimientos físicos mediante los cuales se cambian las características de los residuos y básicamente se reduce su volumen, de entre las que sobresalen la disminución del volumen o trituración y el cribado, con dos propósitos fundamentales, el primero para separar de otras fracciones y la segunda como parte de la selección de los diferentes tamaños, las menos utilizadas como la que presentan reacción química, donde sobre todo se emplea cemento para unión de partículas de menor tamaño.

En general se tienen que la tecnología utilizada para el tratamiento orientado al reciclaje de los escombros procedentes de la construcción y demolición es de aplicación sencilla, pero el carácter heterogéneo de los residuos de construcción y demolición, que en este punto son la materia prima marca ciertas diferencias en la selección de equipos y procesos.

Inclusive se han realizado importantes esfuerzos por incorporar alguna fracción de los denominados residuos sólidos urbanos, específicamente plásticos de los tipos Polietileno Tereftalato (PETE) y Polietileno de alta densidad (PEHD) o polietileno de baja densidad (PELD) con tecnología limpia y limpiadora, no contaminante, al reciclar materiales que típicamente se queman o entierran, produciendo piezas que van desde placas hasta ladrillos para utilizarlos en mampostería en la autoconstrucción de viviendas a bajo costo en la república de Argentina [24], o la fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (tetra brik) en México [25].

Por otro lado se tienen ejemplos de reciclaje tales como: El caso de Concretos Reciclados, empresa cien por ciento mexicana de las primeras organizaciones que utiliza su amplia experiencia en el ramo para aprovechar los residuos de la construcción, reciclándolos y obteniendo agregados pétreos para la misma industria, que compiten en calidad y precios con los materiales. Esta empresa nace a partir de la actividad de la mina *La Esperanza* y se desarrolla desde hace 35 años, dedicada a la explotación, trituración y clasificación de agregados pétreos para la construcción, ubicada en un predio de ocho hectáreas en el cerro *Yehualique*, delegación Iztapalapa, México, D.F., siguiendo los pasos de países desarrollados de la Comunidad Europea y algunos de Oceanía, Concretos Reciclados utiliza tecnología de punta, como es el uso de máquinas de trituración y clasificación, computarizadas y robotizadas, equipadas con motores ecológicos, para reciclar los materiales pétreos.

Productos del reciclaje

Los materiales aceptados para reciclar, provenientes de desechos de la industria de la construcción y demolición, están compuestos por tabiques, ladrillos, concretos, cerámicos, arcillas, blocks, adocretos, mamposterías, etc. de éstos es posible obtener una variedad de productos:

Material de 3". Material recomendado para estabilización de suelos, rellenos, filtros o pedraplenes.

Material de 3" a finos. Valor relativo de soporte estándar mayor al 50% especificado para éste producto, habiendo obtenido valores hasta del 80%, cumpliendo también en forma satisfactoria con el valor cementante, el equivalente de arena y la contracción.

Material de 2" a finos. Además de emplearse con cierta ventaja en los anteriores, se puede emplear en rellenos donde se requiera un material más fino que el anterior.

Material de 1" a finos. En todas las anteriores y en rellenos que se requiera un material aún más fino. Puede sustituir con ventaja al tepepate natural en muchas aplicaciones, para recibir firmes en banquetas o edificaciones pequeñas.

Además de los servicios presentados la empresa cuenta con el laboratorio *Inspectec, Supervisión y Laboratorio, S. A. de C. V.*, certificada para la realización de pruebas de calidad de materiales de la construcción.

Materiales para reciclar

Dentro de esta actividad, los materiales factibles de reciclar son los que provienen de demoliciones y desechos de la industria de la construcción (edificaciones, excavaciones, vialidades, urbanizaciones, caminos, etc.).

Es importante tener el cuidado de no contaminar los residuos de la construcción y demolición para reciclar, debido a que disminuye sensiblemente la calidad de los productos, los residuos que pueden ser recibidos para su reciclaje:

- Adocretos
- Arcillas
- Blocks
- Tabiques
- Ladrillos
- Concreto simple
- Concreto armado
- Mamposterías
- Cerámicos
- Fresado de carpeta asfáltica

Así que para poder llevar a cabo esta actividad, los residuos deberán entregarse libres de materiales que se enlistan: ^[26]

- Basura (residuos sólidos urbanos)
- Orgánicos
- Aceites
- Grasas
- Asbestos
- Baterías
- Llantas usadas
- Papel
- Plásticos

- Químicos
- Tanques de gas
- Textiles
- Vidrio
- Tablaroca
- Metales no ferrosos
- Metales ferrosos

Es decir, que esta empresa orienta sus políticas de producción a la valorización de los residuos, tal como lo prevé la LGPGIR. En el ejercicio profesional de las actividades propias de los ingenieros civiles, arquitectos y en general de constructores, se generan residuos, los denominados escombros o residuos de la construcción y demolición, provenientes de las distintas etapas de los proyectos.

Estudios donde se propone la reutilización, (antes que cualquier otra operación) de estos residuos para la producción de concreto, inclusive se han desarrollado metodologías para evaluar la resistencia del concreto y estimar el módulo de elasticidad en función de la resistencia obtenida en las mezclas de diferentes fracciones de agregados. Estos valores pueden ser utilizados para recomendar una ecuación que pueda ser utilizada por los calculistas diseñadores, con miras a aprovechar los residuos como agregados para concretos o morteros, con resultados halagadores ^[22].

Recomendaciones de gestión de residuos de construcción

Las alternativas de acción para la mejora de la gestión ambiental de los residuos son diversas. Sólo que pensemos en ello, seguro que ya conseguiremos mejoras apreciables, y habremos contribuido así a minimizar el uso de materias primas y a reducir la producción de residuos. No obstante, no se trata solamente de tenerlo presente cuando actuamos: para obtener mejoras eficaces, es necesario definir una jerarquía de prioridades, que ordene de modo decreciente el interés de las acciones posibles de la siguiente manera:

Minimizar en lo posible el uso de materia prima:

1. Reducir residuos.
2. Reutilizar materiales.
3. Reciclar residuos.
4. Recuperar energía de los residuos.
5. Enviar la cantidad mínima de residuos a disposición final.

Disposición final de residuos de construcción

Se conoce como disposición final a la acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos ^[28], en sí esta es la etapa final de los residuos, por tal razón debe ser la última opción del manejo de los residuos de la construcción y demolición.

Los residuos sólidos pueden clasificarse de acuerdo a principios y criterios variados de acuerdo a la tecnología disponible, origen de los residuos, posibilidad de tratamiento, legislación ambiental vigente y/o la idiosincrasia del lugar. Los escombros de materiales provenientes de demoliciones y desechos de excavaciones, frisos, enchapes y estructura reforzada, hacen parte de aquellos residuos que pudieran ser reusados en aplicaciones industriales. Es importante recalcar que los escombros recuperados no se pueden contaminar, es decir, deberán estar libres de basura, papel, y tóxicos.

Una clasificación práctica sugiere que se pueden reciclar adoquines, arcillas, bloques, tabiques, ladrillos, concreto simple, mampostería, cerámicos y material de carpeta asfáltica ^[27, 22] (Figura 1). Para el caso del almacenamiento se sugiere la implementación de sistemas de riego por aspersión para la estabilización de material fraccionado ^[23].



Figura 1. Propuesta para aprovechamiento de escombros.

En suma la gestión debe orientarse a que la menor cantidad de recursos, para este caso residuos de la construcción lleguen a los sitios de disposición final autorizados, porque la disposición final representa, que en los procesos de donde se generaron los residuos no son eficientes y por tanto se pierden recursos materiales y económicos, además de las potenciales agresiones al medio, finalmente, la disposición final cuanto más garantice el respeto al medio más costosa es y en los rellenos sanitarios estos residuos por sus características presionan el espacio dejando poco margen de maniobra por lo voluminoso y a su vez su alto peso volumétrico.

Costos del manejo de los residuos

Los residuos de la construcción y demolición provienen de obras para vivienda, comercios, industria e infraestructura. Tal vez es donde más reciclables se encuentran, por la tradición y por su recuperación y aplicaciones por ejemplo, adocretos, arcillas, tabiques, ladrillos, mampostería, concreto armado, fresado de carpeta asfáltica, etc.

Al 2006, las empresas dedicadas al reciclaje de éstos, cobran aproximadamente \$40/m³ de escombros para recibirlos, este precio no incluía el costo del transporte. Se estima una generación promedio de 13,130 ton/día para esta corriente de RME en el país ^[4]. En el año de 2006, una de la principales recomendaciones que se realizaron para este tipo de residuos, es precisamente diseñar al corto plazo las metodologías para los muestreos de generación –en su caso- formular índices de ge-

neración con lo encontrado y con la información existente –previa investigación y clasificación acorde a la LGPGIR, así como generar los inventarios y con ello, definir la infraestructura y servicios para atender este concepto.

Como se mencionó, queda pendiente realizar estimaciones o cuantificaciones preliminares de las cantidades de generación de las siguientes corrientes de RME: Residuos de las rocas o los productos de su descomposición que sólo puedan utilizarse para la fabricación de materiales de construcción o se destinen para este fin, así como los productos derivados de la descomposición de las rocas, en el caso de los índices hoy se han generado algunos de ellos ^[29], no precisamente en México, sino en Argentina, pero que dan un buen comienzo.

La dificultad principal de la gestión y tratamiento de los residuos de la construcción está relacionada al hecho de generarse en gran cantidad ^[30], y en consecuencia las operaciones de recolección, transporte, tratamiento y disposición final son costosas y con impactos ambientales relevantes ^[31]. Tan solo en el estado de México, para el año 2007, la Secretaría de Medio Ambiente del gobierno del Estado de México reportó costos de transporte de los residuos de la construcción y demolición que van desde los \$124.00/m³ hasta los \$210.00/m³, en promedio de distancia de 25 km y después de esto el costo aumenta sin criterio establecido.

Para la disposición final, al menos en el Estado de México se manejan diversos precios, que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Costos por el depósito de residuos de la construcción en sitios de disposición final.

Sitio de disposición final	Torton (16 m ³)	Volteo (6,7 y 8 m ³)
Cuartos de Naucalpan	\$120-\$130	\$80-\$100
Bordo Xochiaca	\$100-\$150	\$50-\$70
Ecatepec, Tultitlán, La Paz	\$100-\$120	\$50-\$100

Fuente: Secretaría Medio Ambiente del gobierno del Estado de México, 2007 ^[20].

Otro ejemplo de los costos de la disposición final de los residuos de la construcción y demolición se encuentra en Chiapas donde se pagaba para el 2006 desde \$112.97 hasta \$110.21 por tonelada de residuos tanto urbanos como de manejo especial dispuesta, dependiendo la cantidad que se disponía.

Legislación y/o normatividad aplicable

La legislación ambiental a nivel nacional aplicable en México aparece en el año 1988, con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, reglamentaria de la constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, en este instrumento por primera vez en el país se trataba de manera directa lo relacionado con la política ambiental de la nación y desde luego, el manejo de los residuos, sin que fuesen cubiertos todos los aspectos para la gestión integral de los residuos, la legislación se ha perfeccionado a media que se ha tomado conciencia de la problemática relacionada con el manejo de los residuos, de tal suerte que para inicios de 2000 el gobierno federal firmó un acuerdo con el gobierno federal alemán para que a través de la agencia de cooperación técnica GTZ, quién brindó asesoría técnica en lo relacionado con la gestión de los residuos sólidos No peligrosos, en el marco de este convenio; se emite en el 2003 la NOM-083-SEMAR-NAT-2003, *Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras, complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*, y en ese mismo año el 8 de octubre se decretó la Ley General Para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en el diario Oficial de la Federación y posteriormente el correspondiente reglamento.

En la LGPGIR, se definen las atribuciones para cada nivel de gobierno y clasifican los residuos desde sus características de peligrosidad en dos grandes grupos, los peligrosos y los no peligrosos; en este último grupo se advierten una sub-clasificación de dos, los residuos sólidos urbanos (RSU) y los de manejo especial (RME), así mismo la ley define a los residuos de la construcción, como los materiales, productos o

subproductos generados durante las actividades de excavación, demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada ^[16].

A nivel de los estados en México, hasta el 2007 existían trece entidades federativas y el Distrito Federal que contaban con leyes específicas en la materia de residuos; Baja California, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Guerrero, Jalisco, Guanajuato, Morelos, Puebla, San Luis Potosí, Querétaro, Quintana Roo, Veracruz y Yucatán.

En general estas leyes observan artículos orientados a la gestión de los residuos y se mencionan a los residuos de la construcción y la demolición. Para el Estado de México en el año de 1997 se acogió a la cooperación técnico de la GTZ, hasta el 2007 se desarrolló el Diagnóstico Básico de Residuos de la Construcción, y con base en sus resultados se promulgó la Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-011-SMAR-2008 que establece los requisitos para el manejo de los residuos de la construcción para el Estado de México.

El Distrito Federal también cuenta con una norma técnica exclusiva para el manejo de los residuos de este tipo, es la Norma Técnica Ambiental Estatal: Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004, que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción.

En general estas normas clasifican o categorizan a los generadores por la cantidad generada, proporcionan procedimientos para la separación en la fuente, el almacenamiento, la recolección, el transporte, el aprovechamiento (donde se indican los porcentajes de reciclaje o reutilización), y las especificaciones para la disposición final en sitios autorizados, así mismo y en función de la cantidad generada los instrumentos teóricos-prácticos, como los planes de manejo de estos residuos, además de los de control, tales como los manifiestos de entrega-recepción que garanticen que los residuos no se dispongan de manera incorrecta.

Estas normas ambientales son de aplicación obligatoria en todo el territorio del Distrito Federal y del Estado de México para los generadores de los residuos de la construcción y prestadores de servicio que intervienen en su generación, recolección, transporte, aprovechamiento o disposición final.

Conclusiones

Si se reducen los residuos que habitualmente genera la construcción y la demolición, por ende se disminuyen los gastos en comprar menos materias primas y el balance medioambiental global será beneficioso, en suma los gastos de la gestión disminuyen.

En un gran número de ejemplos alrededor del mundo, se detectan una enorme heterogeneidad en lo referente a la generación y caracterización de los residuos de la construcción y demolición, por otra parte esta industria genera una gran cantidad de residuos, ya sea por el mismo proceso de construcción o por demoliciones, de hecho es la mayor fuente de residuos industriales en los países desarrollados ^[30], los cuales se han evaluado en cerca de 450 kilogramos por habitante por año ^[32], y en un estudio más reciente en España ^[19], se reportó un rango entre 520 y 760 kg/hab/año, sin tomar en cuenta guerras, ni desastres por fenómenos naturales. De ese gran volumen el concreto es el más abundante.

En general todos los estudios que abordan esta problemática, refieren que la gestión y enfocarse a la reutilización de los materiales y otra parte importante es el reciclaje de los materiales.

En general se prevé una serie de cinco estrategias identificadas, orientadas a disminuir la generación de los residuos que debe contemplar entre otras:

1. Educación ambiental con campañas de sensibilización de los profesionales de la construcción, que incluya un plan de gestión interno que puede contener entre otros aspectos:
 - Que los residuos no forman parte de la cultura de la obra.
 - Es importante que la Cámara de la Industria de la Construcción se involucre en la gestión de residuos.
 - Se requiere crear una base de datos que contenga índices de generación para cada tipo de obras, a fin de planificar la gestión sobre todo en la construcción de fraccionamientos o nuevos centros de vivienda u obras de gran magnitud.
 - Tener en cuenta las responsabilidades y acciones que se establecen por personal ocupado en la obra: desde el proyectista, responsable de obra, maestro de obra y finalmente los ayudantes generales.

2. Estímulos fiscales para alentar la integración de medidas para disminuir la generación de los residuos e integrar la mayor cantidad nuevamente al ciclo constructivo, con tratamientos o reciclaje, disminución o reducción de generación de los residuos, reutilizar la mayor cantidad de materiales considerados residuos y reciclar; es decir poner en práctica el método comprobado de las tres “R”.
3. Impuestos diferenciados por porcentajes por la utilización de materiales pétreos vírgenes, a mayor cantidad de materiales vírgenes mayor impuesto, desalentar la apertura indiscriminada de bancos y el *abuso* en términos de utilización de nuevos materiales pétreos.
4. Legislación más coercitiva, a nivel estatal y municipal, con los correspondientes reglamentos que abarque aspectos administrativos de multas y sanciones, para los infractores, caso aparte implementar un mecanismo capaz de obligar o implementar sanciones contra la propia autoridad por omisión.
5. Normas técnicas orientadas a la disminución y manejo correcto de los residuos provenientes de la construcción y demolición.

Finalmente para que una vivienda sea *sustentable* se requiere respetar el uso de recursos tanto energéticos como materiales, en estos últimos se encuentran, la utilización de responsable en el sentido de utilizar únicamente lo necesario, y en una segunda instancia la eminente generación de los residuos en las diferentes etapas constructivas, que deben ser gestionados de la mejor manera para disminuir los materiales utilizados y los impactos al ambiente.

Referencias

1. *Manual de minimización y gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*, 1998. Programa Life, Dirección general de medio ambiente DGXI – Comisión Europea, Instituto tecnología de la Construcción de Catalunya.

2. Mercante, I. T., Arena, P. y Bovea, E., 2009. *Evaluación de Alternativas de Gestión de Residuos de la Construcción y Demolición con Consideraciones de Ciclo de Vida*. Universidad Nacional de Cuyo. Centro Universitario. CC405. Mendoza. Argentina. Universidad Tecnológica Nacional. Argentina, Universidad Jaume I. España.
3. Lee, S., Xu, Q., Booth, M., Townsend T., Chadik, P. & Bitton, G., 2006. Reduced sulfur compounds in gas from construction and demolition debris landfills. En revista *Waste Management* 26: 526-533.
4. Gutiérrez, V. J., (coordinador). 2006. *Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*. Instituto Nacional de Ecología, 1ª. edición octubre.
5. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M., Carrasco, M., Grether, R., Suarez, M. & Beltramini, L., 2006. *Factibilidad de uso de residuos de la explotación de carbón en la producción de cuerpos densos*. Actas del 4º Encuentro del Proyecto Integrador PROCQMA.
6. Mejía, E., Hernández, L. A. y Saza, M. G., 2003. Proyecto de Protocolos de Residuos Sólidos “Protocolos para el manejo de escombros y materiales sobrantes de construcción”, Universidad Nacional de Colombia (Bogotá), Vicerrectoría Dirección de Gestión, División de Recursos Físicos, Sistema de Gestión Ambiental, pp. 144.
7. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M. y Lalla, N., 2011. *Inclusión de Residuos Industriales en la Producción de Materiales Cerámicos*. Grupo de Estudios Ambientales –Facultad Regional San Nicolás– Universidad Tecnológica Nacional Colón 332, San Nicolás-Argentina.
8. Castells, X. E., 2000. *Reciclaje de Residuos Industriales. Aplicación a la Fabricación de Materiales para la Construcción*. Ediciones Días De Santos S.A., Madrid, España.
9. Seoáñez, M., 2000. *Tratado de reciclado y recuperación de productos de los residuos*. Ediciones Mundi Prensa. España y México.
10. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M., Carrasco, M., Grether, R., Suarez, M. & Beltramini, L., 2007. *Wastes from Coal Extraction Process as Raw Material for Construction Industry, Ecosystems and Sustainable Development*. VI Transactions on Ecology and the Environment. 106: 483–492.

11. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H. & Regondi, M., 2005. *Cement Based Floors with Rubber Addition, Ecosystems and Sustainable Development*. V Transactions on Ecology and the Environment. 81: 735–742.
12. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M. & Giansiracusa, C., 2008. *Blast furnaces' mud: waste or a new by-product?*, *Waste Management and the Environment*. IV Transactions on Ecology and the Environment. 109: 405–413.
13. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M., Pietri, L. y Vázquez, P., 2008. *Caracterización de compactos cerámicos desarrollados a partir de arcilla común y lodos de alto horno*. Actas del Octavo Congreso Internacional de Metalurgia y Materiales, Chile.
14. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M., Pasquini, J. y Lalla, N., 2008. *Reciclado de arenas residuales de fundición como sustituto de materias primas en la industria ladrillera*. 6º Encuentro del Proyecto Integrador PROCQMA.
15. Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M., Pasquini, J., Lalla, N. & Boccaccini, A., 2009. *Recycling of foundry sand residuals as aggregates in ceramic formulations for construction materials*. Transactions on Ecology and the Environment.
16. *Norma ambiental para el Distrito Federal. NADF-007-RNAT-2004. Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal*.
17. Alegría, J. N., 2010. *Elaboración de blocks con residuos de la construcción obtenidos en Tuxtla Gutiérrez*. Tesis de licenciatura, Escuela de Ingeniería Ambiental UNICACH, Chiapas, México.
18. Lauritzen, E. K. y Hahn, N. J., (s/a). *Producción de residuos de construcción y reciclaje*. En revista *Residuos*. Edita: Instituto Juan de Herrera. No 8. Madrid, España. ISSN: 1578-097X.
19. Parra, J. L. y Calvo, B., 2002. *Situación en España del reciclado de Residuos de Construcción y Demolición como áridos. Aplicabilidad a la fabricación de hormigones*. En II Jornada Iberoamericana de Materiales de Construcción, La Habana, Cuba.
20. Hernández, J. D., Rodríguez, M. A., Macht, A. y Guevara, E. R., 2008. *El manejo de los residuos de la construcción en el estado de México en el marco de la cooperación técnica alemana en México*.

- En revista *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*. Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global, Vol. 1, Nº 3, consulta electrónica en www.eumed.net/rev/delos/03/.
21. SMAGEM/GTZ. 2006. *Programa Estatal de Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos Estado de México*. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Agua, Suelo y Residuos. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. (Agencia Alemana de Cooperación Técnica).
 22. Serrano, M. F. y Pérez, D., 2009. *Propuesta de un programa de gestión integral de escombros*. II Simposio Latinoamericano de ingeniería de residuos, Barranquilla, Colombia.
 23. Serrano, M. F., Torrado, L.M. y Porras, N. 2009. *Propuesta de ecuación para la estimación del módulo de elasticidad del concreto preparado con material reciclado*. II Simposio Iberoamericano I de Ingeniería de Residuos, Barranquilla, Colombia.
 24. Gaggino, R., 2007. *Tecnología de reciclado para la auto-construcción de viviendas*. Año II, Nº 10, 2007, ISSN Nº 1850-1117.
 25. Domínguez, J. A. y Guemez, P., 2011. Fabricación y evaluación de paneles aplicables a la industria de la construcción a partir del reciclaje de envases multicapa (Tetra Brick) D.2. En revista *FI-UADY*, 14-3, pp 191-196, ISSN: 1665-529-X.
 26. *Concretos Reciclados*. Consultado en línea en agosto de 2011. <http://www.concretosreciclados.com.mx/materiales.php>.
 27. Ministerio del Medio Ambiente. 1995. *Guía técnica para el manejo de escombros en las obras de construcción*. Unidad de Soporte para el control de la contaminación industrial, Bogotá, pp 32.
 28. *Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal*.
 29. Mercante, I. T., 2008. *Impacto ambiental de los residuos de construcción y demolición alternativas de gestión*. Universidad Nacional del Cuyo, Facultad de Ingeniería, Argentina.
 30. Domínguez, J. A. y Martínez, L. E., 2007. Reinserción de los residuos de construcción y demolición al ciclo de vida de la construcción de viviendas, Ingeniería, En revista *FI-UADY*, 11-3, pp. 43-54, ISSN: 1665-529X.

31. Mercante, I. T., Magistocchi, L., Llamas, S., Salomón, M. & Marti-
nengo, P., (s/a). *Relevamiento y diagnóstico de áreas impactadas por resi-
duos de la construcción y demolición en el Gran Mendoza. Estudio de caso: las
Heras*. Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de
Cuyo. Centro Universitario. CC 405. Mendoza. Argentina.
32. Molina, J. M., 1997. *Recuperación de Materiales de Construcción*. Boletín
CF+S Especial sobre Residuos. Documento recuperado en [http://
habitat.aq.upm.es/boletin/n2/lista.html](http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/lista.html).