



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN PRODUCTO DE LA  
EXCAVACIÓN PARA EL SUBSECTOR DE CONSTRUCCIÓN DE  
VIVIENDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO.**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN INGENIERÍA SANITARIA**

PRESENTA:

**ING. JORGE GIOVANNI SÁNCHEZ GARCÍA**

DIRECTOR DE TESINA: **MTRO. ANTONIO JACINTOS NIEVES**

MÉXICO, D.F.

ABRIL 2017

# CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
JUSTIFICACIÓN .....	2
OBJETIVO GENERAL .....	4
OBJETIVOS PARTICULARES.....	4
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	5
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN POR EXCAVACIÓN PARA EL SUBSECTOR VIVIENDA EN LA CIUDAD DE MÉXICO.....</b>	<b>20</b>
ANÁLISIS DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN .....	20
ANÁLISIS DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN .....	24
<i>Generación.</i> .....	27
<i>Almacenamiento.</i> .....	37
<i>Recolección y Transporte.</i> .....	39
<i>Tratamiento.</i> .....	41
<i>Disposición final.</i> .....	51
<b>4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE PLANES DE MANEJO PARA RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>58</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
DISCUSIÓN DEL TEMA .....	63
CONCLUSIONES .....	65
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Valor de producción en construcción generado en el Distrito Federal Variación % anual. Fuente: (SEDECO CDMX, 2017).....	3
Figura 2-1 Elementos de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos. Adaptado de: Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. ....	8
Figura 2-2 Residuo, competencia y generadores. Fuente: Elaboración propia.....	11
Figura 3-1 Cadena productiva de la industria de la construcción. Fuente PM-RCD CMIC, página, 14.....	22
Figura 3-2. Participantes para la gestión integral de los RME. Fuente Elaboración propia 2017.....	24
Figura 3-3 Manejo de los residuos de la construcción. Fuente: PM-RCD CMIC, página 21..	26
Figura 3-4 Diagrama del Proceso constructivo. Adaptado del diagrama original “Diagrama que representa el proceso constructivo”. Fuente: Introducción al Proceso Constructivo, página 42.....	28
Figura 3-5 Generación porcentual de RCMD. Fuente: DGBIR, página74. ....	31
Figura 3-6 Estimación de la caracterización de los RCMD. Fuente: PM-RCD CMIC, página 17.....	33
Figura 3-7 Ciclo de Vida del Material de Excavación (Sic.). Fuente: PM-RCD CMIC, página 25.....	35
Figura 3-8 Diagrama de flujo residuos producto de la excavación. Elaboración propia. ....	36
Figura 3-9 Camión de 7m <sup>3</sup> . Fuente: (CYLEX, 2017) Retiro de escombros y venta de material para construcción en Guadalajara. ....	41

Figura 3-10 Porcentaje de aportación para procesamiento. Fuente: Inventario de Residuos Sólidos Ciudad de México 2015 (Sic), página 32..... 43

Figura 3-11. Zonificación del Distrito Federal. Fuente: NTC-DCC, numeral 2.2 Reconocimiento del sitio..... 46

Figura 3-12. Trommel de clasificación-reciclaje. Fuente: Transportadores Universales S. A., 2017..... 48

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1-1 Valor de producción en construcción generado en la Ciudad de México por tipo de obra y sector..... 4

Tabla 2-1 Categoría y requerimientos ambientales..... 17

Tabla 2-2 Clasificación de los residuos de la construcción y demolición. .... 18

Tabla 3-1 Generación por subproducto DBGIR. .... 32

Tabla 3-2 Clasificación y estimación de RCMD. .... 34

Tabla 3-3 Tratamientos mecánicos. .... 48

Tabla 3-4 Sitios autorizados para la disposición de materiales de excavación y de construcción..... 54

Tabla 3-5 Sitios a autorizados para el reciclamiento de materiales pétreos de desechos de la construcción y para la transferencia y almacenamiento temporal de los residuos de la construcción..... 57

Tabla 4-1 Comparativa de planes de manejo estatal y nacional. .... 60

## **1. Introducción**

La Ciudad de México es de una de las principales urbes en desarrollo del país, vinculada al crecimiento poblacional, la demanda de bienes y servicios, lo que acelera el consumo de éstos hasta el punto que genera una problemática importante en la sociedad.

El modelo de desarrollo aplicado en los últimos años ha afectado de forma importante el ambiente, uno de los principales sectores que contribuyen al impacto negativo es la construcción, lo que además coadyuva de manera significativa para el crecimiento de la ciudad.

La construcción es uno de los principales sectores generadores de residuos sólidos, por esta razón genera impactos negativos en el agua, aire, suelo, además, por una inadecuada disposición puede contribuir al deterioro del suelo de conservación como, es en el caso de la Ciudad de México.

Para atender esta problemática el Gobierno local emitió el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México 2016-2020, siendo el instrumento normativo en que se presentan acciones, metas para la gestión y manejo de los residuos en la ciudad.

El programa es una medida de política pública enfocada a reducir la generación, manejar, aprovechar y disponer de manera apropiada los residuos sólidos.

En el capítulo 2 de este trabajo, se presenta la legislación aplicable en materia de residuos, enfatizando en las leyes, reglamentos y normas a nivel estatal que incluyen a los residuos de la construcción. De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos éstos son competencia de los gobiernos estatales, dada la importancia de generación y manejo, en

la Ciudad de México se cuenta con una normatividad específica para estos residuos: NADF-007-RNAT-2013.

El capítulo 3 presenta el diagnóstico: gestión y manejo de los residuos de la construcción en la Ciudad de México, en particular lo relacionado con los residuos resultantes de la excavación.

Asociado al diagnóstico, en el capítulo 4 se analizan los planes de manejo como un instrumento programático para la gestión y manejo de los residuos de la construcción. Se realiza una comparativa de los planes dirigidos a los residuos de la construcción, el plan elaborado por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción y un plan de manejo del estado de Tabasco.

Por último, el capítulo 5 establece la importancia de los residuos de la construcción, enfatizándose en los residuos generados por las actividades de la excavación, y la importancia de realizar una gestión y un manejo apropiado.

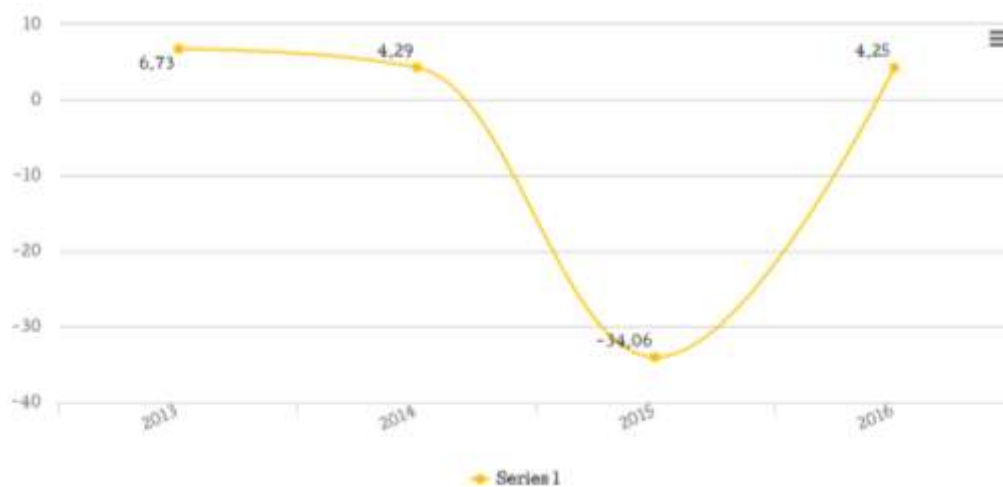
### **Justificación**

El sector de la construcción aportó al Producto Interno Bruto (PIB) a nivel nacional, a precios de mercado para el tercer trimestre de 2016 el 7.9%, siendo la segunda aportación más importante para las actividades secundarias por debajo de las Industrias manufactureras con un 19.3% (INEGI, 2016).

La relevancia de este estudio, radica en la importancia que tiene el sector de la construcción a nivel nacional, regional y local. Adicionalmente a la demanda de recursos y energía requeridos, siendo uno de los sectores más destacados para el desarrollo de una ciudad y que impactan en la economía, el ambiente y la sociedad. Es uno de los sectores con mayor generación de residuos sólidos, por consiguiente la gestión integral de éstos debe llevarse a cabo de manera adecuada.

El análisis se enfoca a los residuos producto de la construcción de edificaciones tipo vivienda en la Ciudad de México, el cual ha presentado una inversión importante en los últimos años. Los residuos de la construcción son diversos y existe una amplia generación de subproductos, por mencionar algunos, se encuentran los residuos generados por las actividades ejecutadas de la cimentación y obras conexas, los cuales generan un gran volumen de residuos en las obras civiles por su volumen y características, son susceptibles a valorización.

En noviembre de 2016 de acuerdo a la Encuesta Nacional de Empresas Constructoras realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), los ingresos por la ejecución de obras y servicios realizados por contratistas, alcanzaron una suma de 9, 590, 422 millones de pesos, este monto ha tenido variaciones, que para el último año muestra una tendencia a la alza (INEGI, 2017). En la Figura 1-1 se muestra el comportamiento durante el período 2013 al 2016 del sector de la construcción en la Ciudad de México.



**Figura 1-1 Valor de producción en construcción generado en el Distrito Federal Variación % anual.**  
Fuente: (SEDECO CDMX, 2017).

De manera análoga, dentro del sector de la construcción, el subsector que tiene una mayor producción es la edificación, en el cual está incluida la vivienda, que durante en esta

administración (2012-2018), ha realizado una considerable inversión. La Tabla 1-1 se evidencia la aportación de cada subsector de la construcción en la Ciudad de México al año 2017 (Secretaría de Desarrollo Económico, 2017).

**Tabla 1-1 Valor de producción en construcción generado en la Ciudad de México por tipo de obra y sector.**

Trimestre 2016	Otras construcciones	Petróleo y petroquímica	Transporte y urbanización	Electricidad y comunicaciones	Agua, riego y saneamiento	Edificación
Absoluto	6,067,780	828	3,549,339	3,191,815	1,161,539	10,720,213
% respecto al total del DF	24.60%	0.00%	14.40%	12.90%	4.70%	43.40%

Fuente: (SEDECO, 2017)

Derivado de lo anterior, la generación de residuos de la construcción es importante, por lo cual surgen algunas preguntas, ¿la gestión que actualmente se lleva a cabo obtiene todos los beneficios que puede conseguir?, ¿la valorización de los residuos generados en dichas obras es conveniente? y ¿se realiza un apropiado manejo de los residuos de la construcción? Estas son preguntas que se responden en esta tesina, entendiendo que la problemática supera por mucho el alcance de la misma, contribuyendo en una primera aproximación hacia su entendimiento.

### **Objetivo general**

Proponer alternativas para la integración de actividades que permitan aumentar el aprovechamiento y valoración de los residuos producto de la excavación, reduciendo los potenciales impactos negativos en el ambiente y en la sociedad.

### **Objetivos particulares**

Analizar la gestión y el manejo actual de los residuos de la construcción, en particular los generados por las actividades de excavaciones para desplante de cimentaciones en la Ciudad de México.



Determinar los posibles tratamientos de los residuos de construcción generados de la actividad de excavación, mejoramiento del suelo para integrarlo a una nueva cadena productiva.

### **Alcances y limitaciones**

Este estudio está limitado a la Ciudad de México y su legislación.

La caracterización de los residuos de la construcción, mantenimiento y demolición es acorde a lo especificado en la norma NADF-007-RNAT-2013.

Para este estudio sólo se analiza y considera los residuos producidos de las actividades ejecutadas para la excavación, es decir, el material excavado que tiene un potencial de generación alto.

Bajo la premisa que en la Ciudad de México en su mayor parte encontramos suelos de tipo arcilloso o limo arcilloso las recomendaciones serán elaboradas para este tipo de suelo.

Las obras consideradas para este trabajo son las de edificación tipo vivienda con la intención de abordar este sector en constante crecimiento en la Ciudad de México, sin embargo, las propuestas contenidas son resultado de la información recaba durante la investigación. Para mayor detalle de este subsector, es necesario realizar estudios de campo de generación, composición y peso volumétrico, por mencionar los principales, trabajos que para esta tesina quedan fuera de alcance.

## 2. Marco Teórico

El desarrollo de México, entre otros factores, está vinculado con el crecimiento económico, la industrialización, el incremento de servicios básicos y los procesos de urbanización. El conjunto de estas interacciones originan mayores niveles de consumo, demandando materias primas, bienes y servicios para satisfacer las necesidades de la sociedad. El nivel económico, los patrones de consumo y las relaciones socio ambientales influyen en la generación de residuos, representando una problemática de tipo complejo que puede afectar directa o indirectamente la salud de la población y el equilibrio de los ecosistemas.

El Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018 apunta hacia un desarrollo sustentable debido a los efectos del cambio climático y la degradación ambiental. Dentro de todos los temas apremiantes para lograr el desarrollo sustentable se encuentra la gestión de los residuos sólidos, que incentiva la prevención de la generación, separación de los residuos sólidos, así como una valorización de los mismos para un mejor aprovechamiento y la reducción de la disposición final (REPÚBLICA, 2013).

En el 2001 la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) comenzó a desarrollar el panorama general de la gestión de los residuos sólidos, considerando inicialmente el planteamiento de aspectos sociales, legales, financieros, manejo y gestión integral (SEMARNAT, 2001). Esto implica integrar grupos interdisciplinarios para la realización de dicha gestión que incluye relaciones complejas entre disciplinas para obtener una solución óptima.

México cuenta con legislación nacional específica para la gestión de residuos, teniendo como principal objetivo garantizar el derecho de toda personal a un ambiente sano y propiciar el

desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos urbanos y de manejo especial, así como prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar acabo su remediación lo anterior está normado en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) publicada en el 2003, con la última modificación en el 2015. (H. CONGRESO DE LA ÚNION, 2015).

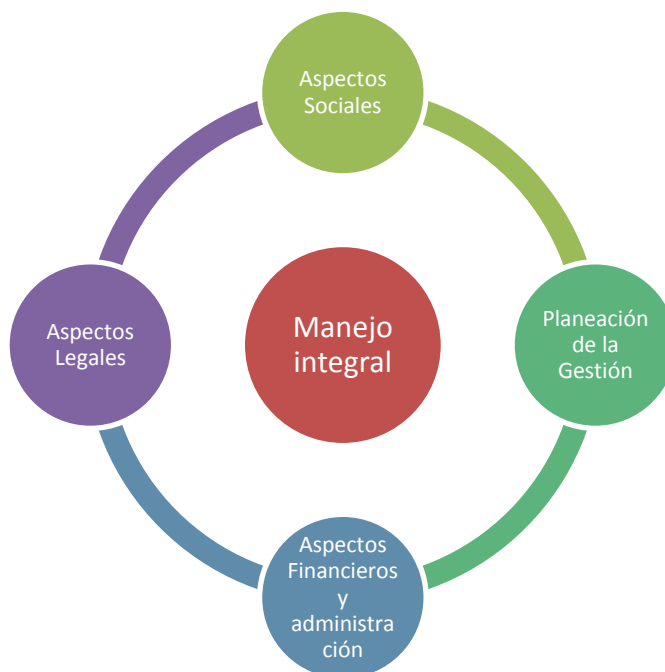
La LGPGIR define a la gestión integral y manejo integral, como conceptos que participan conjuntamente, debido a esto es necesario establecer la diferencia entre ellos. La definición de gestión integral contiene rasgos muy esenciales desde la introducción de este concepto por los grupos de trabajos que elaboraron documentos previos a esta ley, derivado de lo anterior las definiciones expuestas en la LGPGIR son las siguientes:

Gestión Integral de Residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región

Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de

valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social; (H. CONGRESO DE LA UNIÓN, 2015, pág. 4 y 5).

La interpretación de esta definición para la gestión integral de residuos comprende todas aquellas acciones, actividades, y procedimientos llevados a cabo por personas físicas, morales o autoridades cumpliendo con las necesidades de este cometido; y el manejo integral incluye la parte técnica y tecnológica para conducir las actividades antes mencionadas en la definición, de lo que resultarán beneficios ambientales, económicos y sociales, esto se presenta en la Figura 2-1.



**Figura 2-1 Elementos de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos. Adaptado de: Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales.**

La LGPGIR contiene la clasificación de los residuos sólidos que se dividen en las siguientes categorías:

- Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

- Residuos de Manejo Especial (RME)
- Residuos Peligrosos (RP)

La clasificación realizada en la LGPGIR tiene la finalidad de controlar y permitir la toma de decisiones para su manejo y tratamiento, en caso de su viabilidad. No obstante, las entidades federativas desprenden a su vez subclasificaciones para cada una de las enlistadas en la LGPGIR, estas estarán manifestadas en la legislación estatal o municipal, y normas en caso sea aplicable.

La importancia para esta tesina son los residuos de manejo especial, es importante conocer las definiciones para cada tipo de residuo establecido en la LGPGIR.

**Residuos Sólidos Urbanos (RSU):** Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole;

**Residuos de Manejo Especial (RME):** Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos;

**Residuos Peligrosos (RP):** Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran

peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley; (H. CONGRESO DE LA ÚNION, 2015, pág. 6)

En lo que se refiere a las competencias, los RSU son competencia de los municipios conforme a la LGPGIR, que tienen a su cargo las funciones del manejo integral de residuos sólidos urbanos, además de formular programas, emitir reglamentos, colaborar con el gobierno de la entidad federativa y de la federación, entre otras acciones.

Los RME son responsabilidad de las entidades federativas de acuerdo a la LGPGIR, derivado de lo anterior se coadyuvará y elaborarán paralelamente con el gobierno federal los programas en materia de RME, registro de planes de manejo para suscribir convenios, así como el cumplimiento de otras atribuciones mencionadas en ésta ley.

Los RP son facultad de la federación acorde a la LGPGIR, además de esta atribución, la elaboración del Programa Nacional de Prevención y Gestión integral de Residuos Sólidos, reglamentos, normatividad, regulación, verificación y diversas acciones en materia de residuos peligrosos. De igual forma, coadyuvará con los gobiernos estatales en los RME y a los municipales en RSU, y en general, con acciones en materia de residuos.

De este modo cada una de las categorías también presupone actores para cada una de ellas en la Figura 2-2 se muestra una relación generador-gobierno-residuo.



**Figura 2-2 Residuo, competencia y generadores. Fuente: Elaboración propia.**

Los generadores de RME deben participar en el manejo de los residuos bajo la responsabilidad compartida ya que, su manejo integral es una corresponsabilidad social y requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de productores, distribuidores, consumidores, usuarios de subproductos, y de los tres órdenes de gobierno según corresponda, bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social (H. CONGRESO DE LA ÚNION, 2015).

Dado que la investigación de la tesina se limita a la Ciudad de México, el manejo de los RME está a cargo del gobierno de ésta entidad federativa en colaboración con las delegaciones, distribución geopolítica que hasta el día de hoy están vigentes<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> ACUERDO General del Pleno del Consejo de la Judicatura Federal por el que se cambia la denominación de Distrito Federal por Ciudad de México en todo su cuerpo normativo. Fuente: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5424565&fecha=05/02/2016](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5424565&fecha=05/02/2016), remitirse al acuerdo para aclaraciones sobre la transición.

Los RME tienen una clasificación más detallada en categorías conforme a materiales y fuentes de generación, según se establece en la LGPGIR en el artículo 19.

I. 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, excluidos de la competencia federal conforme a las fracciones IV y V del artículo 5 de la Ley Minera;

II. Residuos de servicios de salud, generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos;

III. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades;

IV. Residuos de los servicios de transporte, así como los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas;

V. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales;

VI. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes;

VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general;

VIII. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico;



IX. Pilas que contengan litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc, o cualquier otro elemento que permita la generación de energía en las mismas, en los niveles que no sean considerados como residuos peligrosos en la norma oficial mexicana correspondiente;

X. Los neumáticos usados, y

XI. Otros que determine la Secretaría de común acuerdo con las entidades federativas y municipios, que así lo convengan para facilitar su gestión integral (H. CONGRESO DE LA ÚNION, 2015, pág. 15).

Del listado anterior, los residuos de interés son los contenidos en la categoría de los Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general (RCMD). Los residuos de estudio en esta tesina son generados por el sector de la construcción.

Los RCMD tienen diferentes subproductos dependiendo la actividad que se realice, generando diversos residuos, cada uno de ellos a partir de las labores ejecutadas y contenidas en el catálogo de obra.

En otras palabras, cada actividad contenida en el catálogo de obra generará un residuo o varios residuos, considerar que la cantidad generada será directamente proporcional a la cantidad de obra a ejecutar, debido que cada una de estas labores generan residuos siendo un porcentaje de los materiales usados o en su totalidad. Esto hace referencia a la merma en materiales, daños en los materiales, mala ejecución, entre otros. Más adelante se detallará sobre esto, en el apartado de generación, lo que ayudará para proponer recomendaciones y elaborar las conclusiones de este trabajo.

Dado que los RCMD son RME están sometidos a un Plan de Manejo (PM) acorde a la ley vigente. En el Reglamento de la LGPGIR se establecen todos los aspectos relacionados con el PM, los elementos y la elaboración del mismo, entre otros (SEMARNAT, 2014).

La Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo, en cuyo caso los RCMD que estén sujetos a PM deberán cumplir con esta norma para realizar el PM correspondiente.

En el capítulo IV se analiza un PM, el caso analizado en esta tesina fue el realizado por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), el cual es un PM que atiende a la modalidad mixta, colectiva y nacional, conforme lo requerido por la mencionada NOM-161-SEMARNAT-2011.

La Ciudad de México cuenta con la Ley de Residuos Sólidos para el Distrito Federal (LRSDF) publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal con fecha 22 de abril de 2003 y su Reglamento, los cuales deben cumplirse en materia de residuos de esta entidad federativa.

La LRSDF cuenta con una clasificación para los RME, en el Artículo 31 de dicha ley, la clasificación establece como los residuos de la demolición, mantenimiento y construcción civil en general (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2015).

Todas estas obras están comprendidas en diferentes tipos, por ejemplo: vías terrestres, presas, riego, marítimo fluviales, urbanización, construcción industrial, instalaciones, edificación no residencial, vivienda y consultoría (Mendoza Sánchez, 2006). Las obras civiles en general deben

entenderse como las obras posibles dentro de esta entidad federativa, en el ramo de la ingeniería, esta delimitación favorecería a una clasificación futura, aun cuando para esta investigación no es necesario ahondar en el tema. La clasificación de las obras civiles para la Ciudad de México es un contenido que tendría que ser estudiado de manera profunda para poder delimitar las obras que se realizan dentro de la ciudad y las posibles a ejecutarse, y así realizar una clasificación de estas de acuerdo a la generación de los RCMD en apoyo de la norma aplicable, sin embargo, por las limitaciones de este trabajo se clasificarán y estudiarán de acuerdo a la LGPGIR y LRSDF.

Simultáneamente la LRSDF enfatiza que los RME deben clasificarse en la fuente de generación, plantas de selección, tratamiento de los mismos, todo ello con la finalidad de identificar todos aquellos que sean susceptibles de valorización (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2015).

El Reglamento de la LRSDF define en su artículo segundo a los RMCD como: materiales, productos o subproductos generados durante las actividades de demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada; así como el producto proveniente de la excavación cuando este se haya alterado en sus condiciones físicas, químicas y biológicas originales (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2008, pág. 5).

Tomando en cuenta la definición anterior y considerando que los residuos de la excavación son generados cuando se han realizado cambios en sus características físicas, químicas y biológicas respecto a su estado inicial, indudablemente al realizar una excavación generan cambios físicos dentro de los estratos del suelo ya que existen alteraciones en los esfuerzos, derivado de esto pueden presentarse expansiones en el suelo, asentamientos diferenciales,

cambio de las redes de flujo, entre otras afectaciones al suelo excavado y a su entorno así como al material retirado.

Las alteraciones físicas son los cambios más evidentes, no obstante los cambios químicos o biológicos pueden presentarse sin ser percibidos hasta su determinación mediante pruebas de campo y análisis de laboratorio.

Igualmente la norma ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013, que establece la Clasificación y Especificaciones de Manejo para Residuos de la Construcción y Demolición, en el Distrito Federal, publicada el 26 de febrero de 2015 tiene como objetivo establecer una clasificación y especificaciones para el manejo de los RCMD para optimizar, y fomentar su aprovechamiento y minimizar su disposición final inadecuada (Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2015).

Puesto que la NADF-007-RNAT-2013 profundiza en materia de los residuos de la construcción, para el análisis en esta entidad federativa se utilizará como un recurso no sólo por que aborda a los RCMD, sino porque en ella se encuentra la clasificación de los residuos producto de la excavación tema central de este trabajo.

Esta norma prohíbe la descarga, depósito, disposición de los RCMD en lugares no autorizados o que no cuenten con lo necesario para la recepción de los RCMD, la norma considera los sitios siguientes (Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2015):

- Centros de acopio
- Centros de reciclaje
- Sitios de disposición final autorizados

La norma cuenta con la clasificación para los generadores conforme al volumen de generación en metros cúbicos, de igual modo, enuncia los requerimientos y acciones que debe realizar cada generador considerando el volumen generado, mostrado en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1 Categoría y requerimientos ambientales.**

<b>VOLUMEN DE GENERACIÓN</b>	<b>GENERADOR</b>	<b>PRESTADOR DE SERVICIOS TRANSPORTE</b>	<b>CENTRO DE ACOPIO</b>	<b>CENTROS DE RECICLAJE Y SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL AUTORIZADOS</b>
<b>Hasta 3 m<sup>3</sup></b>	1. Dar aviso a la delegación del inicio de obra.	Contar con manifiesto entrega-recepción.	Contar con responsiva de recepción de los residuos.	Contar con manifiesto entrega-recepción.
	2. Contar con responsiva de entrega a centros de acopio, reciclaje o sitios de disposición final autorizados.			
	3. En caso de contratar a un prestador de servicios de transporte autorizado le deberá solicitar manifiesto entrega-recepción.			
<b>Más de 3 y hasta 7 m<sup>3</sup></b>	1. Dar aviso a la delegación del inicio de obra y adherirse a un plan de manejo.	Contar con manifiesto entrega-recepción.	Contar con responsiva de recepción de los residuos.	Contar con manifiesto entrega-recepción.
	2. Contar con responsiva de entrega a centros de acopio, reciclaje o sitios de disposición final autorizados.			
	3. En caso de contratar a un prestador de servicios de transporte autorizado le deberá solicitar manifiesto entrega-recepción			
<b>Más de 7 m<sup>3</sup></b>	1. Contar con un plan de manejo propio autorizado y en su caso con la autorización en materia de impacto ambiental.	Contar con manifiesto entrega-recepción.	Contar con manifiesto entrega-recepción.	Contar con manifiesto entrega-recepción.
	2. Contratar a un prestador de servicios de transporte autorizado;			
	3. Contar con manifiesto entrega-recepción.			

**Fuente: NADF-007-RNAT-2013, páginas 11 y 12.**

Para el caso de las obras de vivienda multifamiliares o condominios, que han sido desarrollados en los últimos años, se conjetura que la generación de residuos es mayor a 7 m<sup>3</sup> por lo cual debe contar con un PM, Autorización en Impacto Ambiental (AIA) y los manifiestos de entrega-recepción correspondientes.

Lo anterior deberá presentarse ante la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), en las fases de evaluación, validación y autorización, como un sustento para el cumplimiento en materia ambiental.

Los RCDM en la NADF-007-RNAT-2013 se definen como los residuos provenientes de actividades o restos de materiales, y están constituidos por un conjunto de fragmentos o restos de materiales producto de la construcción, demolición, desmantelamiento y/o excavación, tales como tabiques, materiales pétreos, tierra, concreto, morteros, madera, alambre, resina, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos y varillas, entre otros, cuya composición puede variar ampliamente dependiendo del tipo de proyecto, obra y etapa de construcción (Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, 2015, pág. 10). De acuerdo a la norma referida, los residuos de la excavación están clasificados como muestra la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2 Clasificación de los residuos de la construcción y demolición.**

<b>TIPO DE RESIDUO DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN</b>	<b>POSIBLE REÚSO</b>
<b>D. RESIDUOS DE EXCAVACIÓN</b>	
Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.	Deberá privilegiarse su separación para facilitar el reúso y reciclaje.

**Fuente: NADF-007-RNAT-2013**

Con la clasificación previa, los suelos contaminados quedarán excluidos ya que requieren remediación, además de ser residuos peligrosos requieren estudios complementarios para la caracterización del contaminante que existe en la masa de suelo, localización del sitio y su uso de suelo, cercanía a cuerpos de agua y las tecnologías para su remediación (Volke Sepúlveda & Velasco Trejo, 2002).

Los materiales presentes en el sitio donde es realizada la excavación para el desplante de la cimentación debe contar con los estudios previos como el de mecánica de suelos para el diseño de la cimentación, esta información contribuirá para clasificar el suelo, con ello conocer la factibilidad para el reúso en la obra, reúso en otras obras, si requiere tratamiento, por ejemplo, tratamiento mecánico entre otras diversa opciones para su aprovechamiento o en caso contrario dar una adecuada disposición final en los sitios autorizados.

La estimación del volumen generado del residuo producto de la excavación es de gran relevancia puesto que es uno de los conceptos de obra con mayor volumen después del concreto, acero y materiales pétreos, este tema se trata en el subcapítulo correspondiente a la generación.

Finalmente, la viabilidad económica deberá estar sujeta a análisis para que esté dentro de las actividades de obra y no generen un sobre costo, lo que pueda suscitar toma de decisiones que no cumplan con los requerimientos ambientales, sociales y económicos. Estos aspectos se desarrollarán en los capítulos del manejo integral de la presente tesina.

### **3. Residuos de la construcción por excavación para el subsector vivienda en la Ciudad de México**

#### **Análisis de la gestión de los residuos de la construcción**

En el Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición (PM-RCD) publicado por la CMIC considera no sólo a los constructores para una apropiada gestión, incluyendo a los actores que intervienen en la generación. Lo anterior responde a un esquema eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social que esta es el resultado de la responsabilidad compartida (CMIC, 2014).

La LGPGIR define en su artículo 5 a la responsabilidad compartida como:

Principio mediante el cual se reconoce que los residuos sólidos urbanos y de manejo especial son generados a partir de la realización de actividades que satisfacen necesidades de la sociedad, mediante cadenas de valor tipo producción, proceso, envasado, distribución, consumo de productos, y que, en consecuencia, su manejo integral es una corresponsabilidad social y requiere la participación conjunta, coordinada y diferenciada de productores, distribuidores, consumidores, usuarios de subproductos, y de los tres órdenes de gobierno según corresponda, bajo un esquema de factibilidad de mercado y eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social; (H. CONGRESO DE LA ÚNION, 2015, pág. 6)

Por consiguiente el PM-RCD trabajado por la CMIC hace énfasis en que el sector de la construcción es el más perceptible en el proceso de generación de los RCMD y por ende el de mayor responsabilidad. En la Figura3-1 ejemplifica la cadena productiva estudiada por la CMIC.



En el sector primario se observa la extracción o explotación de los materiales requeridos en las obras agregados pétreos, rocas para acabados, yeso, roca caliza, bancos de materiales, y materiales como cemento, concreto, prefabricados, acero, tabiques entre otros.

El sector secundario es considerado como el resultado del conjunto de las actividades de transformación, que para el caso de análisis se refiere en específico a la construcción y servicios relacionados, incluyendo la edificación de vivienda.

El sector terciario reconoce un nivel de participación de servicios complementarios, por ejemplo, la compra de maquinaria, transporte, renta equipo, financiero, como otros.

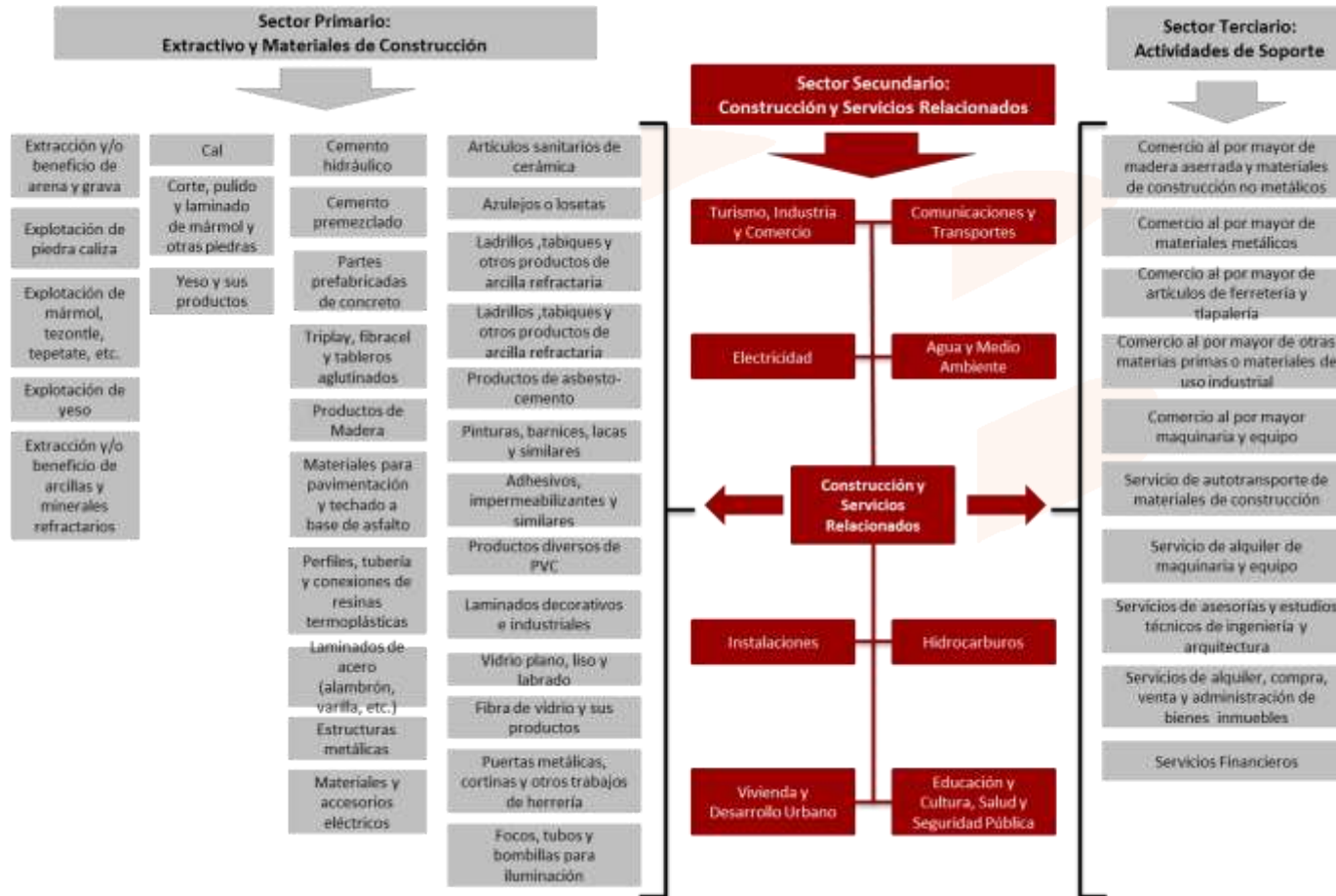


Figura 3-1 Cadena productiva de la industria de la construcción. Fuente PM-RCD CMIC, página, 14.

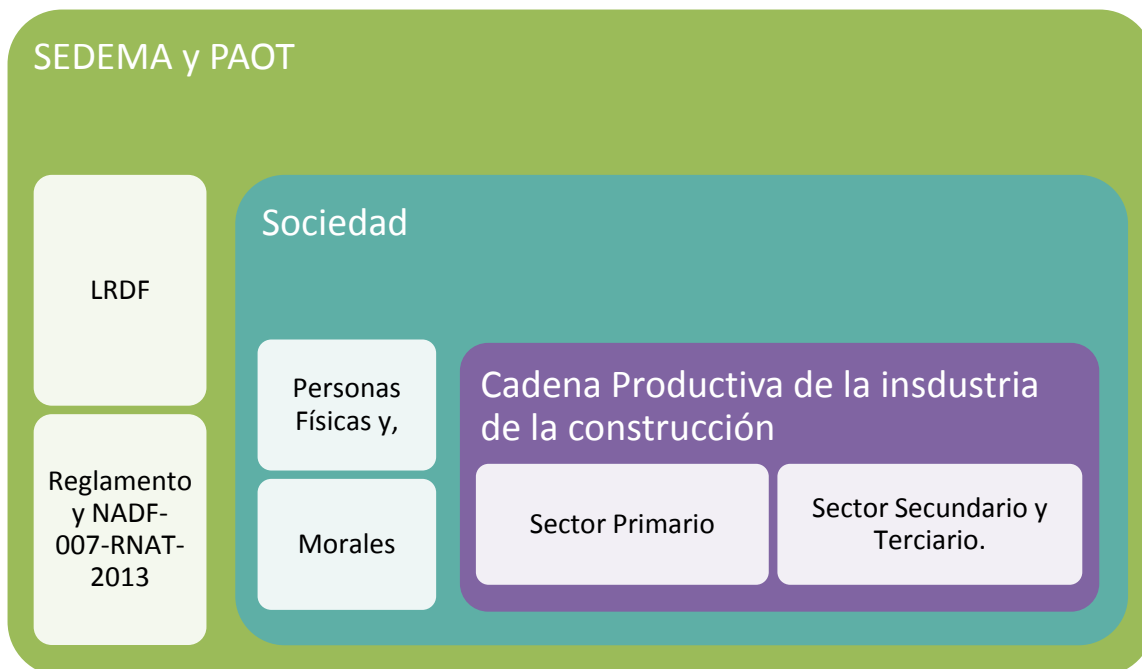
Los actores que intervienen en el esquema anterior tienen la responsabilidad de dar seguimiento a los materiales desde que estos ingresan a la cadena productiva de la industria de la construcción, en ciertos puntos de la cadena productiva tienen la probabilidad de generar residuos y esto implica un análisis exhaustivo del producto, sugiriendo que se realice posteriormente considerando la responsabilidad de cada uno de los actores. El poseer la información les otorga una valorización de residuos relacionados en áreas específicas, lo cual resulta benéfico para reintegrarlo a la cadena productiva o asesorar sobre el manejo de estos residuos y así efectuar una mejor disposición final.

El PM-RCD elaborado por la CMIC plantea la integración de estos actores, sugiriendo mecanismos para la adhesión de los participantes en la cadena productiva de la industria de la construcción para cumplir con la obligación correspondiente, lo que puede llevarse a cabo con una línea de conceptos, estrategias, líneas de acción y planeación para dar cumplimiento a un PM (CMIC, 2014).

Por otra parte, el esquema no indica la participación de los gobiernos estatales, siendo éstos los encargados de emitir la legislación en materia de RME, así como programas para la instalación, el manejo en el ámbito de los RME y demás atribuciones conferidas en la LGPGIR. En la Ciudad de México, la SEDEMA es la representante del gobierno estatal en materia de RME y en específico de RCDM.

La sociedad también es participe de la gestión colaborará con quejas y denuncias a través de la SEDEMA (encargada de la regulación de esta materia) o de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (PAOT). La Figura 3-2 ilustra la participación

de la sociedad y la SEDEMA, los cuales deben incluirse a los actores mencionados anteriormente.



**Figura 3-2. Participantes para la gestión integral de los RME. Fuente Elaboración propia 2017.**

En suma, la participación de los actores que intervienen en la gestión para los RCMD ayuda a aplicar el concepto de la responsabilidad compartida, el cual no se encuentra desarrollado, debido a la transición. Considerando que el crecimiento de la industria de la construcción en el ramo de la edificación en los próximos años seguirá aumentando, se tendrá como resultado la generación de residuos hacia este escenario y requerirá un PM de RCMD para la Ciudad de México.

### **Análisis del manejo de los residuos de la construcción**

En el manejo actual de los RCMD las entidades federativas han implementado padrones de prestadores de servicios, incluyendo recolección y transporte, en algunos casos centros de acopio, transferencia y sitios de disposición final (CMIC, 2014).

El manejo en materia de RCMD presenta oportunidades de mejora, en pocas entidades cuentan con infraestructura para el manejo apropiado de los RCMD generado en la entidad (CMIC, 2014), sin embargo, el manejo de los RCMD queda a cargo de los constructores que de forma implícita ejecutan un manejo de los mismos, en algunos casos llevan a cabo buenas prácticas realizando el traslado a los sitios de disposición final autorizados y reúso, se tiene la contra parte en la cual proceden afectando al ambiente y la sociedad.

La CMIC en su PM-RCD presenta un diagrama en el cual se incluyen el manejo actual de los residuos de la construcción, identificando fuentes de generación, público y privadas, autoconstrucción y los residuos generados por situaciones de desastres naturales, una aportación analizada en este documento.

Los RCDM de generadores en obras pequeñas son recolectados por vehículos de carga privados, un poco más de 5%, son acopiados por los vehículos de recolección destinados para los RSU, y alrededor del 10% de estos residuos se disponen en vía pública o zonas aledañas a la generación (CMIC, 2014). Además, en la obra pública y privada se estima que el 67% de los residuos son trasladados por transporte privado, sin embargo, sólo el 20% es depositado en sitios autorizados y un 3% es reciclado, disponiendo el 51% de manera inapropiada en suelos de conservación<sup>2</sup> o la vía pública (CMIC, 2014).

En consecuencia, existe un manejo incorrecto de los RCMD, fundamentalmente en la disposición final, desprendiendo problemas ambientales, de imagen urbana y salud, en la Figura 3-3 presenta la disposición final en el manejo actual (CMIC, 2014).

---

<sup>2</sup> Territorio que se localiza principalmente al sur y sur-poniente de la Ciudad de México, y que produce todo un conjunto de servicios ambientales. Remitirse al Atlas Geográfico del Suelo de Conservación del Distrito Federal. [http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/Atlas\\_Version\\_final.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/Atlas_Version_final.pdf)

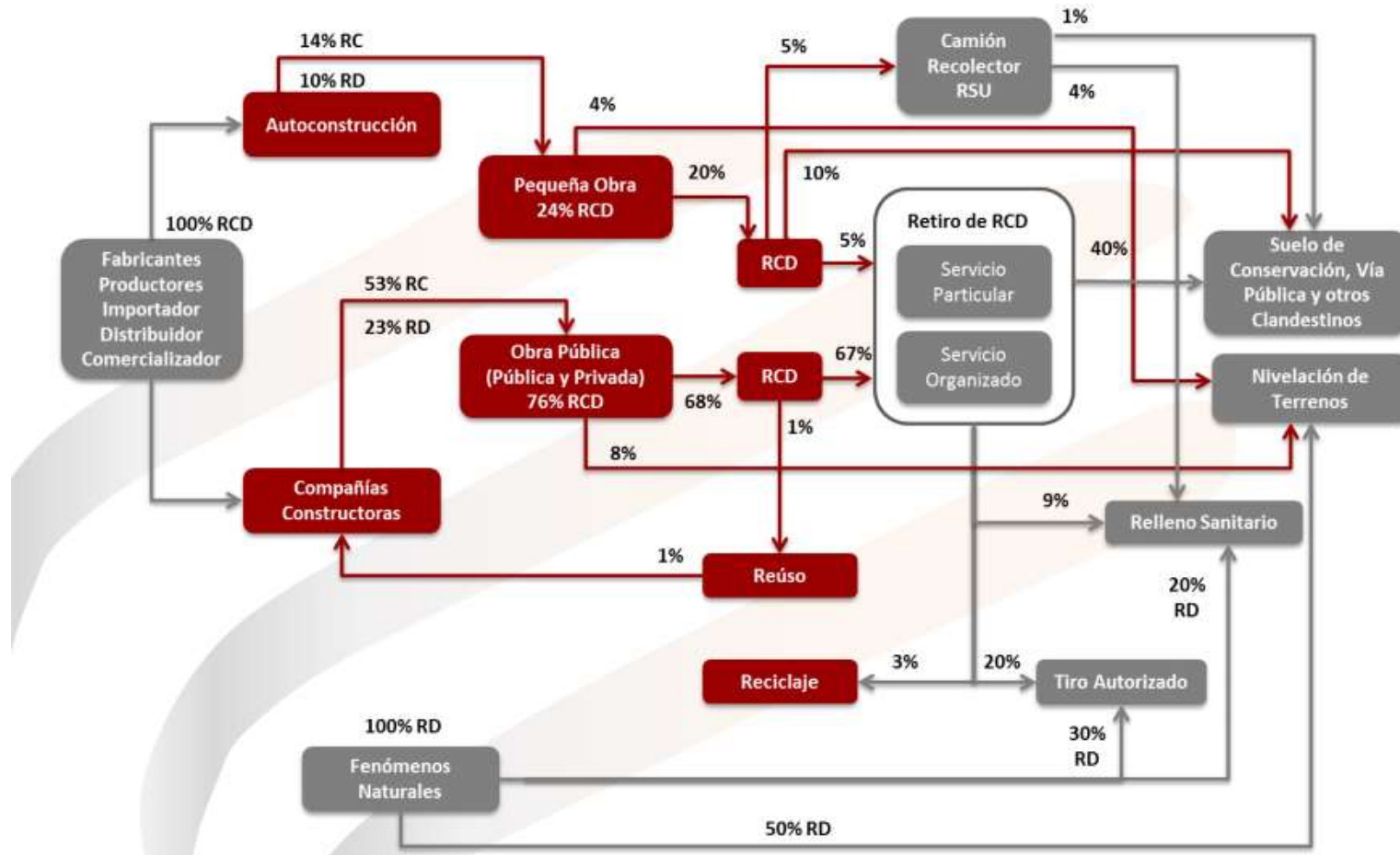


Figura 3-3 Manejo de los residuos de la construcción. Fuente: PM-RCD CMIC, página 21.

A consecuencia del manejo inadecuado de los RCMD, principalmente en la disposición final, se han identificado diversos problemas originados por esta irregularidad, destacando los siguientes:

- Obstrucción de arroyos, cañadas y barrancas
- Afectación al drenaje natural
- Azolve de las partes bajas e inundación de zonas aledañas en temporada de lluvias.
- Afectación al medio abiótico y medio biótico (flora y fauna).
- Focos de contaminación por mezcla de residuos, incluso peligrosos.
- Contaminación del suelo y subsuelo e incluso de acuíferos.
- Afectación de zonas de recarga de agua subterránea.
- Impacto visual del entorno.

En definitiva el manejo de los RCMD es muy relevante debido a los efectos negativos que esto provoca en el ambiente, la sociedad, a la economía, y la salud pública por lo que no es posible un desarrollo sustentable.

### **Generación.**

La generación está definida en la LRSDF en el artículo tercero como: la acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2015, pág. 2); en este caso se reconocerá a la actividad de la construcción como un proceso productivo que genera residuos durante su ejecución para llevar a cabo su meta. La Figura 3-4 presenta la simplificación de proceso constructivo donde las entradas y salidas deberán estar identificadas para un mejor control.



**Figura 3-4 Diagrama del Proceso constructivo. Adaptado del diagrama original “Diagrama que representa el proceso constructivo”. Fuente: Introducción al Proceso Constructivo, página 42.**

Cualquier actividad económica que emplea insumos en su labor, los transforma y procesa, generando residuos, principalmente sólidos, enfocándose en la industria de la construcción, por ejemplo, escombros por demolición, materiales térreos producto de excavación, concretos, entre otros materiales (CMIC, 2014).

Al mismo tiempo, es necesario indicar que los generadores pueden ser personas físicas o morales de acuerdo a la LRSDF producen residuos a través del desarrollo de procesos productivos o de consumo (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2015). Los generadores serán las empresas constructoras así como las personas que contraten el servicio para una construcción, es decir, que será vinculado directamente con el permiso de construcción para dirigirlo de manera concisa con el responsable de la obra.



Como parte del cumplimiento de la LGPGIR en el 2013, la SEMARNAT en coordinación con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) publicaron el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DBGIR), uno de los objetivos principales de este estudio fue actualizar la información referente al manejo de los residuos RSU, RME y RP.

En lo que respecta a los RME en el DBGIR, en donde son incluidos los RCMD están direccionados a la Ciudad de México y el Estado de México, lo que para el presente trabajo en cuestión, dará noción de la generación de los RCMD en especial los residuos producto de la excavación, en el año 2012.

En el DBGIR la estimación de generación para los RCMD promedio anual para el periodo del 2006 al 2012 fue de 6,111.09 (mil ton/año) (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, y otros, 2012), en este caso no se presentaron datos de aprovechamiento y disposición final, información no disponible en el documento de referencia.

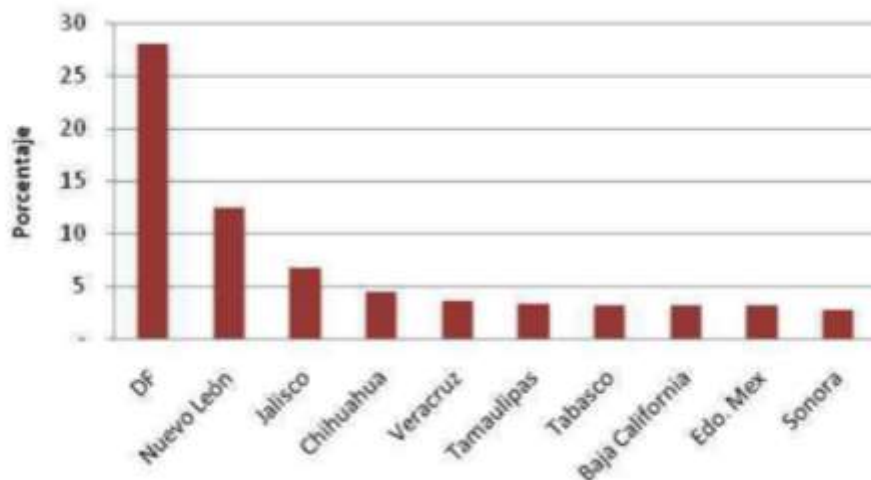
Recapitulando, los residuos de la construcción son considerados los materiales, productos o subproductos generados durante las actividades de demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada; así como el producto proveniente de la excavación cuando este haya sido alterado en sus condiciones físicas, químicas y biológicas originales.

En un estudio titulado: “Estudio de análisis, evaluación y definición de estrategias de solución de la corriente de residuos generados por las actividades de construcción en México”, se indica que la generación de los RCMD representa un incremento de manera proporcional al índice de crecimiento poblacional (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, y otros, 2012).

Esto es una alternativa para la estimación de la generación de RCMD ya que se cuenta con los censos poblacionales realizados por el INEGI y con ello las tasas de crecimiento de la ciudad o la entidad federativa. Sin embargo, ya que los métodos de cálculo para la proyección de la población pueden no representar el fenómeno de la generación de los RCMD para el trabajo se ocuparan de apoyo las cifras estimadas en el DBGIR.

El DBGIR realizó una estimación del promedio porcentual de la generación en los años de 2007 y 2008, para diez entidades federativas las cuales sumaron el 71.15% del promedio de los RCMD (INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, y otros, 2012).

Con lo anterior es posible enfocarse en los estados con mayor generación de los residuos RCMD para así realizar un estudio de generación de campo de estos residuos, efectuando una sectorización de los ramos relevantes de la construcción conforme a la CMIC en cada uno de los estados, por ejemplo el sector de la edificación. En la Figura 3-5 se aprecia los estados estudiados, la Ciudad de México tiene la mayor generación de estos residuos, con el objeto de dar la importancia a estos es indispensable llevar a cabo un estudio de generación, para así presentar las soluciones adecuadas al manejo de los RCDM en cada una de las entidades federativas enfatizando en la de mayor generación como es el caso de la Ciudad de México.



**Figura 3-5 Generación porcentual de RCMD. Fuente: DGBIR, página74.**

En el DBGIR plasmaron el promedio por subproducto en los cuales se incluyen los de mayor generación de RCMD, es decir, realizaron un listado por generación. Se clasificó considerando su porcentaje promedio, resultado de lo anterior, la Tabla 3-1 presenta el porcentaje de generación de residuos y de los principales residuos son los generados por el material de excavación.

Al mismo tiempo dentro de las obras se generan residuos sólidos con características domiciliarias, como parte de las actividades realizadas por los trabajadores, éstos no se consideran RCMD. Por tener una clasificación diferente, no deberán mezclarse y el responsable de la obra, deberá cumplir con la separación definida por el municipio para que realice el manejo apropiado para los RSU generados en este sitio (CMIC, 2014).

**Tabla 3-1 Generación por subproducto DBGIR.**

Subproducto	Generación promedio	%
Material de excavación	2,637.55	43.16
Concreto	1,489.88	24.38
Block tabique	1,425.72	23.33
Tablaroca Yeso	247.50	4.05
Madera	92.89	1.52
Céramica	51.94	0.85
Plástico	44.00	0.72
Piedra	37.89	0.62
Papel	29.94	0.49
Varilla	29.33	0.48
Asfalto	15.28	0.25
Lámina	5.50	0.09
Otros	3.67	0.06
Total	6,111.09	100.00

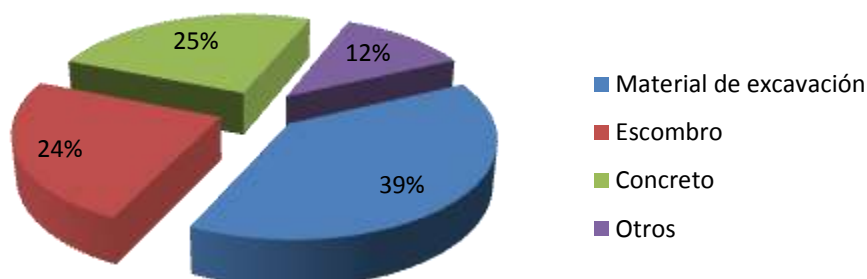
**Fuente: DBGIRR, página 74.**

Otro punto a destacar son los trabajos preliminares tales como despalme, desmonte, acondicionamiento, trazo y nivelación, entre otros, a pesar de generar residuos relacionados con las actividades de la construcción, sin embargo, no forman parte de los RCMD (CMIC, 2014).

Los RP que pudieran generarse en la obra no están incluidos en los RCMD, por ello, si existiera presencia de RP en la construcción deberán ser identificados, separados y dar el manejo adecuado por medio de empresas autorizadas prestadoras de servicio para el manejo.

Igualmente, en el PM-RCD publicado por la CMIC se realizaron estimaciones para la generación de los RCMD mostrando de manera evidente que los residuos provenientes del material de excavación, de concreto y prefabricados representan el mayor porcentaje, esto es más claro en la Figura 3-6 (CMIC, 2014).

## Estimación de la Caracterización de los RCMD



**Figura 3-6 Estimación de la caracterización de los RCMD. Fuente: PM-RCD CMIC, página 17.**

Asimismo, elaboraron esta estimación agrupando los subproductos de los RCMD, en cuatro grandes grupos mostrados anteriormente en la Figura 3-6, lo que en cierta medida reduce la caracterización de los RCMD. Aunque la estimación haya sido efectuada con una caracterización más detallada la categorización publicada no permitirá obtener más información de aquellos subproductos de los cuales se cuente con la cantidad generada. Sin embargo, dicha clasificación pudiere auxiliar a los constructores para realizar una separación directamente en la fuente sin tener complicaciones en una primera instancia. Posteriormente realizar una separación en dado caso que tome la decisión de llevarlos a tratamiento o disposición final.

En la Tabla 3-2 se muestra el porcentaje estimado y la agrupación de los subproductos realizada por la CMIC.

Tabla 3-2 Clasificación y estimación de RCMD.

Grupo	Subproducto	Porcentaje Incidencia	Participación (Miles Ton)
Material de excavación	Material de Relleno	39	2,381
Concreto	Concreto: Bases Hidráulicas, Concretos Hidráulicos, Adocretos, Adopastos, Bordillos, Postes de Cemento-Arena, Morteros.	24	1,482
	Asfalto: Carpetas Asfálticas.	0.3	15
Elementos Mezclados Prefabricados y Pétreos	Piedra, Block-Tabique, Tabicones, Mortero, Tubos de Albañal, Mamposterías, Tabiques, Ladrillos.	24	1,456
Otros	Yeso, Muro Falso Madera Cerámica Plástico Metales Lamina Vidrios Cartón	12	746
RSU Residuos Orgánicos Producto de Despalle	RSU Hojas, Ramas, Troncos y Raíces		
<b>Totales</b>		<b>100</b>	<b>6080</b>

Fuente: PM-RCD CMIC (Sic), página 18.

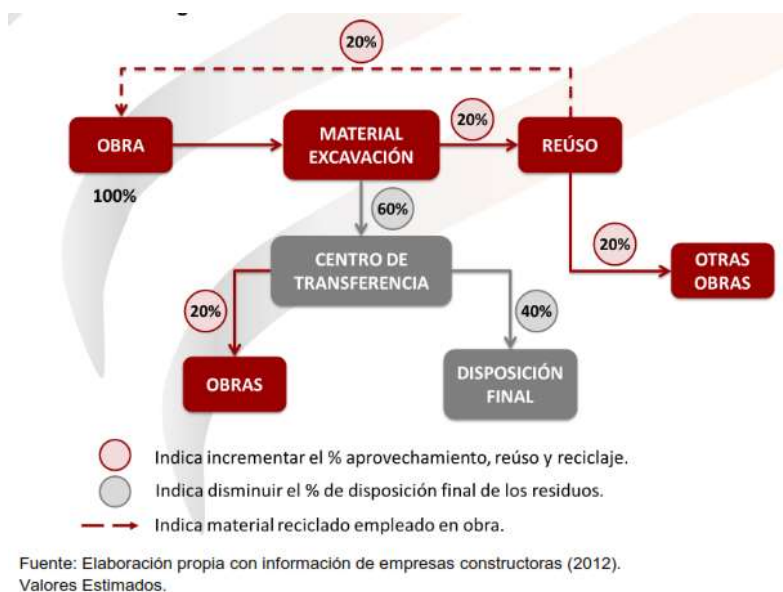
Con los dos documentos citados anteriormente, se tiene como resultado que el material producto de la excavación es un residuo de mayor generación independientemente del alcance que cada trabajo tiene, sin embargo, el PM-RCD, el DBGIR y la SEDEMA no cuentan con datos relacionados directamente con el sector de la vivienda en la Ciudad de México.

En el caso de la Ciudad de México la generación sería posible conocerla a través de los planes de manejo de Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA), en donde se declara la cantidad estimada de residuos y su manejo, incluyendo la disposición final. En 2014 se registraron 1,503

MIA's con una cantidad de residuos de la construcción de 12'003,359.51 metros cúbicos (SEDEMA, 2016).

Puesto que sería indispensable revisar cada uno de los PM de las MIA's registradas para poder tener una generación de los residuos producto de la excavación, en cuyo caso todas ellas incluyeran este residuo. Así que la suposición del porcentaje de generación en el PM-RCD y el DBGIR será el comportamiento principal para continuar con este trabajo, al no contar con datos precisos para obtener un análisis más minucioso se estimará la generación de los residuos producto de la excavación.

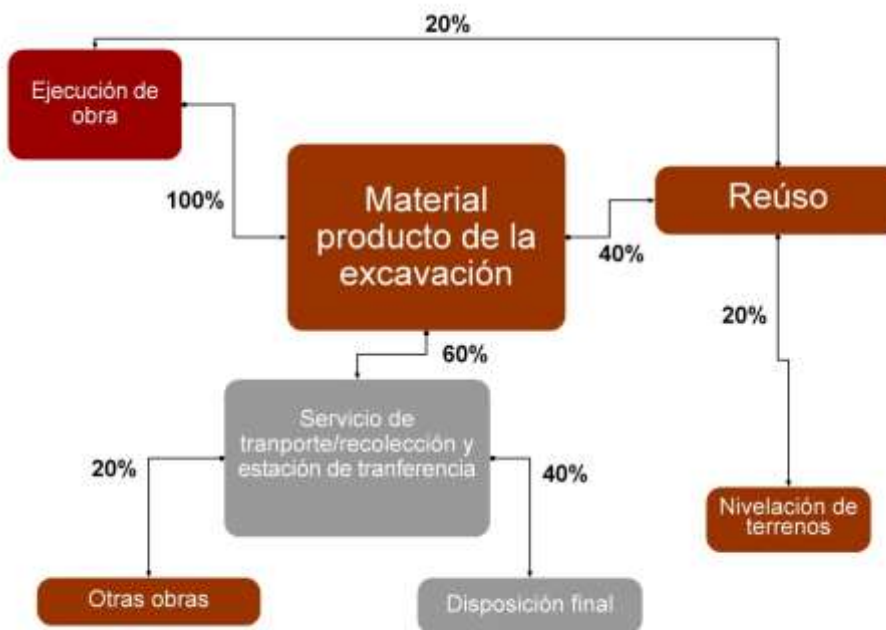
La CMIC en su PM-RCD expone un Ciclo de Vida particular para los residuos de la excavación Figura 3-7, en el cual estima porcentajes de generación, reúso, uso en otras obras y disposición final. Los porcentajes podrán diferir de una obra a otra, puesto que cada obra en particular presentará condiciones distintas.



**Figura 3-7 Ciclo de Vida del Material de Excavación (Sic.). Fuente: PM-RCD CMIC, página 25**

Del ciclo de vida de la Figura 3-7, es importante realizar la observación acerca del porcentaje enviado a reúso ya que con el porcentaje de 20% expuesto en esta figura no tiene coherencia, debido que al realizar la suma de las salidas del sistema no cumple con la ley de la conservación de la masa donde la entrada es igual a la salida. Sin embargo, efectuando las operaciones pertinentes el porcentaje faltante es de 20% en el reúso para cumplir con la ley de la conservación de la masa, enviando a reúso el 40% lo que da resultados más consistentes.

Con base en la idea expuesta en el ciclo de vida anterior, los porcentajes estimados en el PM-RCD y en el DBGIR, admitiendo que las estimaciones mencionadas previamente representan el comportamiento del residuo producto de la excavación y reparando en el manejo de los RCDM actual. Se propone realizar un ciclo de vida cumpliendo con estos supuestos utilizando de base lo anterior el resultado se muestra en la Figura 3-8.



**Figura 3-8 Diagrama de flujo residuos producto de la excavación. Elaboración propia.**



Para resumir, se puede estimar la generación con base en el catálogo de obra, estudios de mecánica de suelos, diseño de la cimentación y afinar la estimación con volúmenes de obra.

### **Almacenamiento.**

Con respecto al almacenamiento la LRSDF lo define como el depósito temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición final (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2015), pero para este residuo no se utilizará un almacenamiento por medio de un contenedor debido a los volúmenes de generación y el tipo de residuo.

No obstante, en el almacenamiento participan distintos factores para realizar la selección de los contenedores y área de localización, por el motivo del tiempo de duración del almacenamiento. Para la selección de este tipo de almacenamiento intervienen los siguientes factores (Jacintos Nieves, Semestre 2016-2):

- Biodegradable
- Volumen
- Área disponible
- Frecuencia de recolección

La idea central para la determinación del almacenamiento del residuo producto de la excavación es el lugar donde este sea colocado, para este caso puntualmente se considerarán los factores siguientes:

- Volumen
- Área Disponible (dentro y fuera de obra)

- Tiempo de recolección (Acarreo)

El factor de ser biodegradable queda excluido ya que consideramos a los RCMD como materiales inertes, esta característica podrá ser anexada si en las pruebas realizadas para el suelo muestran que tiene un contenido de materia orgánica relevante para ser considerado degradable.

Se cuenta con dos tipos de almacenamiento para los residuos sólidos los contenidos y no contenidos. Los primeros son los que interviene un contenedor delimitando el volumen a ocupar y los no contenidos, con aquellos que no ocupa embalaje propiamente, es decir, están en un depósito a cielo abierto delimitándolos con barreras (malla, piedra, alambre, madera, acrílico, entre otros) o por el mismo material (Jacintos Nieves, Semestre 2016-2).

Dado que este residuo producto de la excavación siempre ha sido almacenado en un almacenamiento no contenido, los factores anteriores son para realizar una mejor delimitación del área para almacenarlo, dentro o fuera de la obra en particular cuando el área disponible es escasa. En ese escenario los acarreo y el espacio de maniobras fungen como principales factores para elegir el área de almacenamiento.

Para la elección del área de almacenamiento dentro de la obra estará vinculado directamente con el procedimiento constructivo de la excavación, debido que cada una presentará particularidades del suelo, tipo de excavación, equipo utilizado, entre otros. Esta cuestión queda a criterio del constructor, pero es importante recordar seleccionar un área adecuada para el almacenamiento para que no exista una mezcla con otros residuos y de igual manera considerar los elementos antes mencionados.

En caso de recurrir a un almacenamiento fuera de la obra, en vía pública, considerar que el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) permite colocar materiales de

construcción, escombros u otros residuos con excepción de los peligrosos, generados en obra, depositarlos en las banquetas de la vía pública por un periodo no mayor a 24 horas, sin invadir superficie de rodamiento y que impida el paso, contando con un permiso otorgado por la Delegación. Si opta por ocupar este espacio deberán ser protegidos con barreras y contar con señalización adecuada (Administración Pública del Distrito Federal, 2004).

Por último lo más importante es realizarlo de un modo que no genere afectaciones al ambiente y a la sociedad, cumpliendo con los lineamientos legales citados.

### **Recolección y Transporte.**

La recolección está definida en la fracción XXX, el artículo 3 de la LRSDF por la acción de recibir los residuos sólidos de sus generadores y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2015); esta actividad se llevará a cabo por transportes autorizados registrados ante la SEDEMA.

Esta tarea es realizada por transportistas del sector público y privado, prestando el servicio por unidad o flotilla, también puede ser proporcionado por organizaciones sociales (sindicatos), dependiendo del requerimiento por parte del constructor, es decir, los acarreos correspondientes de la obra.

En obras públicas, los RCMD son transportados por vehículos licenciados por el gobierno de la entidad a sitios autorizados, un sitio de disposición final, sitio autorizado para RCMD, relleno sanitario o bien una mina que ha terminado su vida útil. En caso contrario que los transportistas deciden la disposición final de los residuos el cual puede ser un sitio autorizado o clandestino (Gobierno del Estado de Tabasco, 2012), aunque no es correcto realizar el depósito en tiraderos a

cielo abierto o barrancas y menos en áreas naturales protegidas (ANP) estas son prácticas frecuentes en los transportistas.

El camión de volteo es uno de los más usuales para el acarreo en movimiento de tierras, sin embargo, no es el único que realiza esta función puesto que existe maquinaria diversa que puede ser usada para este fin (Chávarri M., 2007). La elección dependerá de la necesidad del material a transportar, caminos de acceso, orografía, rendimientos, coste, entre otros. Por ejemplo, camión de volteo, tracto-camión, camión articulado y camión rígido.

La Ciudad de México cuenta con un registro de los transportes autorizados para traslado de residuos sólidos, listado de establecimientos mercantiles, de servicio y/o unidades de transporte de residuos sólidos de competencia local, con autorización y registro por la SEDEMA (RAMIR) localizado en su sitio web oficial.

En el RAMIR se encuentran las empresas o particulares dedicadas a los RCMD algunas de ellas dedicadas exclusivamente a la recolección y transporte de los RCMD, sin embargo, existen otras que tienen un registro para otros residuos además de los RCMD.

El equipo para recolectar y transportar los RCMD, en específico de excavación, será seleccionado con la metodología utilizada para el acarreo en movimiento de tierras, ya que por una mala elección en el equipo se pueden generar problemas no sólo al manejo de los residuos sino en daños al equipo, pérdida de tiempo, materiales y dinero, en la Figura 3-9 se observa equipo para transporte de este tipo de material (Chávarri M., 2007).



**Figura 3-9 Camión de 7m<sup>3</sup>. Fuente: (CYLEX, 2017) Retiro de escombros y venta de material para construcción en Guadalajara.**

### **Tratamiento.**

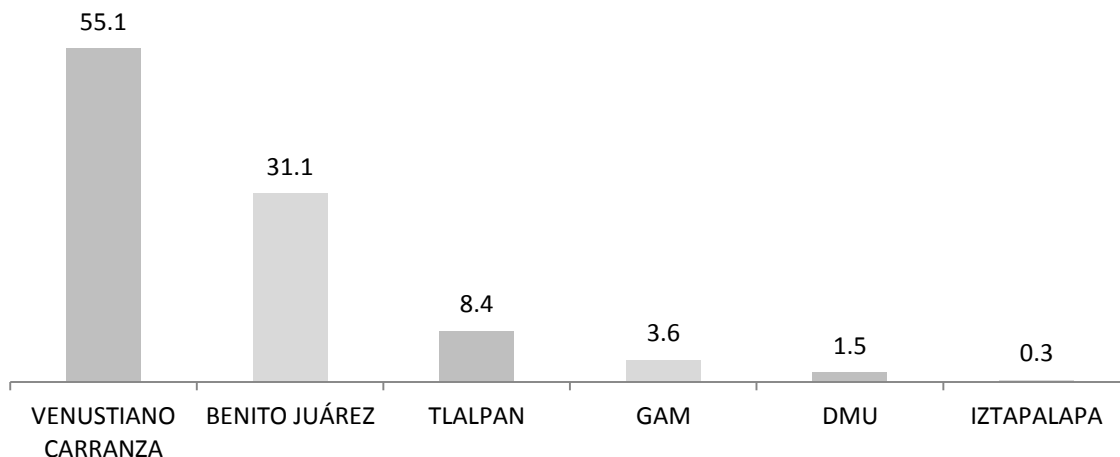
El tratamiento de residuos se define en la fracción XLI, artículo 5 de la LGPGIR como procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen y peligrosidad (H. CONGRESO DE LA UNIÓN, 2015, pág. 7), además la LRSDF incluye procedimientos mecánicos en su definición para la investigación es importante ya que son los principales tratamientos para los RCMD, por ejemplo, cribado de materiales de acabados. (ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL, 2015).

El tratamiento de residuos sólidos puede considerarse un subsistema dentro del manejo de los residuos sólidos, proyectado con área de recepción, almacenamiento, tratamiento, almacenamiento del producto reutilizable y una disposición final del residuo del tratamiento, por ejemplo, el tratamiento mecánico biológico.

En el presente trabajo se analizará el flujo de material de excavación mediante una secuencia de procesos propuestos: almacenamiento, tratamiento, almacenamiento temporal del residuo tratado y traslado a disposición final del producto del tratamiento. La selección de técnicas específicas para el tratamiento de residuos sólidos dependerá de los objetivos a alcanzar, teniendo como finalidad la reducción del volumen, recuperación de material reutilizable o reducir la peligrosidad del residuo sólido (Tchobanoglous, Theissen, & Eliassen, 1994).

Por esta razón la recuperación es uno de los objetivos fundamentales del tratamiento ya que es esencial conseguir una recuperación del material de excavación dando beneficios ambientales, sociales y económicos.

En la Ciudad de México durante el 2015, la Secretaría de Obras y Servicios de esta entidad reportó haber recibido y procesado 33 toneladas diarias de RCMD, el 98.3% corresponde a las delegaciones Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztapalapa, Gustavo A. Madero (GAM) y Tlalpan, mientras que el resto proviene de trabajos realizados por la Dirección de Mantenimiento e Infraestructura Urbana de la dependencia, en la Figura 3-11 se presenta el porcentaje de aportación de RCMD (Ciudad de México, 2016).



**Figura 3-10 Porcentaje de aportación para procesamiento. Fuente: Inventario de Residuos Sólidos Ciudad de México 2015 (Sic), página 32.**

El tratamiento está ligado fuertemente a la valorización de los residuos definida en la LGPGIR como principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica (H. CONGRESO DE LA ÚNION, 2015), es de observar que la definición incluye características de los residuos y actividades que intervienen para efectuarla.

Simultáneamente, se debe analizar la incorporación del producto tratado al mercado como insumo y tener definido el sitio de disposición final donde será llevado el remanente, con la finalidad de desempeñar un adecuado manejo de los RCMD.

Generalmente no se cuenta con un manejo de los RCMD formal, realizando un manejo sobreentendido de sólo algunos subproductos, por lo tanto el tratamiento de los residuos no es una actividad programada. En consecuencia los residuos generados por la industria de la

construcción no cuentan con una valorización y un tratamiento para todos los subproductos de esta labor, debido a esto, es escaso el manejo completo de todos ellos.

Con el fin de tratar los residuos de la excavación es necesario conocer las características del suelo para elegir el tipo de tratamiento a realizar, a partir de los estudios efectuados para el diseño de la cimentación somera o profunda que presente la mejor solución estructural conforme al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y la Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC-DCC), paralelamente se sugiere consultar estos documentos para elegir el método de tratamiento.

Antes de considerar el uso de un método de tratamiento para un suelo en particular, es indispensable contar con información del sitio y clasificación del suelo, así como otras características de interés para la elección del tratamiento. Puede elegirse con base en sus costos, y a la disponibilidad de materiales y equipo para realizar el tratamiento (Volke Sepúlveda & Velasco Trejo, 2002).

Es posible auxiliarse en la Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC-DCC) que divide en tres zonas a la Ciudad de México con las siguientes características (SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN, 1987):

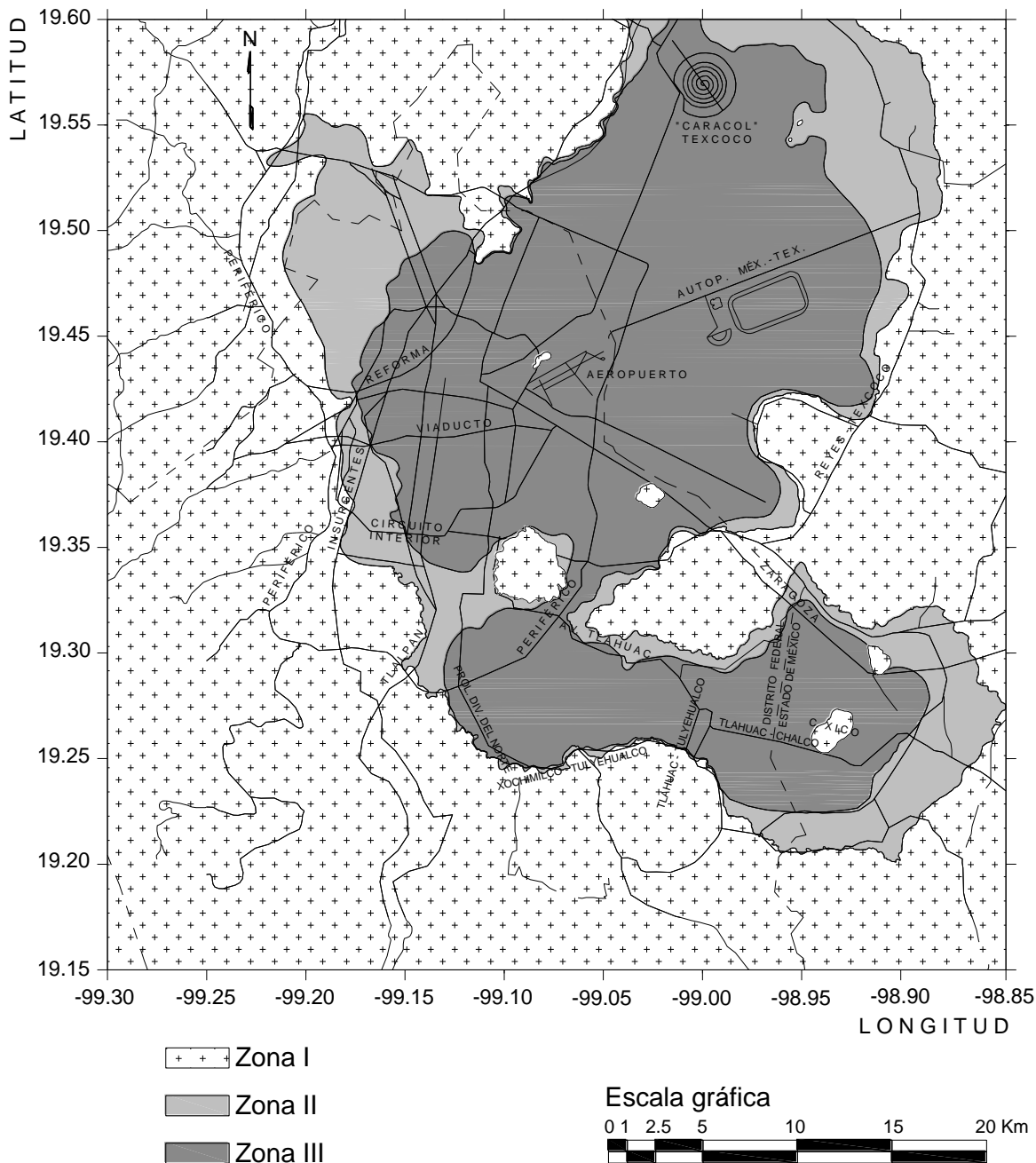
Zona I.- Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas y de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena;



Zona II.- Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limoarenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros, y

Zona III.- Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son de consistencia firme a muy dura y de espesores variables de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m (SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN, 1987).

La ubicación del predio determinará a la zona a la cual pertenece según la zonificación realizada en la NTC-DCC, efectuando en el suelo del predio objeto de estudio las pruebas necesarias, tal y como lo establezca la NTC-DCC. Podrá determinarse la zona mediante el mapa incluido en la misma, si el predio está dentro de la porción zonificada; los predios ubicados a menos de 200 m de las fronteras entre dos de las zonas antes descritas se supondrán ubicados en la más desfavorable ver Figura 3-12 (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2016).



**Figura 3-11. Zonificación del Distrito Federal. Fuente: NTC-DCC, numeral 2.2 Reconocimiento del sitio.**

Estas zonas facilitarán la localización del sitio para tomar en cuenta el posible suelo a encontrar. No obstante, la exploración es necesaria así como estudios de mecánica de suelos y adicionales para definir adecuadamente las condiciones y características del suelo, mediante

estos estudios se proveerá de la información necesaria para realizar el diseñado requerido NTC-DCC además para el tratamiento expuesto en este capítulo.

Dada la complejidad y la diversidad de suelos presentes en la naturaleza, debe procederse a una clasificación de suelos basándose en sus propiedades mecánicas, se recomienda el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), clasificación más aceptada hasta el día de hoy.

Para obtener está clasificación es necesario realizar trabajos de campo el cual precisa de dos etapas (Tamez González, 2001):

- Exploración y muestreo preliminar
- Muestreo final y pruebas de campo

Debido a esto se desprenden una serie de pruebas para ejecutar y obtener la caracterización del suelo y así poder clasificarlo, además de obtener información relevante para el diseño de la cimentación, por ejemplo, granulometría, plasticidad, contenido de humedad, permeabilidad hidráulica, etc. (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2000)

Con la información de los ensayos es preferible el tratamiento mecánico, para una separación del suelo, previstas para su reúso y la disposición final de la fracción no recuperable. Los tratamientos más utilizados de esta índole son los mecánico-biológicos utilizados para el tratamiento de RSU. Hay que destacar que para el suelo sólo comprenderá la parte mecánica ya que previamente se limitó a un material inerte.

El tratamiento mecánico-biológico consiste en el procesamiento mecánico parcial de los residuos sólidos mediante la remoción de ciertos componentes y el proceso biológico de partes

remanentes, con el fin de que ocupen un menor volumen y sean aptos para ser aprovechados en otras actividades (TECHNOLOGY & BUSINESS REVIEW, 2005).

En la Tabla 3-3, se exponen los tratamientos de la parte mecánica correspondientes al tratamiento mecánico-biológico.

**Tabla 3-3 Tratamientos mecánicos.**

<b>Técnica de separación</b>	<b>Propiedad de separación</b>	<b>Materiales objetivo</b>
Trommels	Separación por tamaños	Suelo
Mallas (tamices)	Separación por tamaños	Suelo

**Fuente: Elaboración propia.**

El tratamiento a través de trommel o mallas consiste en segregar el suelo por tamaño, las dimensiones dependerán del fin para el cual se utilizará el material tamizado o el tipo de suelo a separar. El residuo puede requerir un pretratamiento o acondicionamiento para llevarlo a cabo y obtener mejores resultados. En la Figura 3-13 se presenta un trommel para la clasificación.



**Figura 3-12. Trommel de clasificación-reciclaje. Fuente: Transportadores Universales S. A., 2017.**

Para separar el suelo es indispensable que esté seco para que no forme acumulación entre sí o genere tapones en la malla usada lo que causaría problemas al ejecutar la segregación o daños al equipo.

El pretratamiento considerado es el secado por volteo, selección de rocas o con diámetros mayores a los que requeridos para el uso final, y exclusión de la capa vegetal del sitio excavado.

El aprovechamiento de los residuos producto de la excavación, dependerá de la correcta separación y asegurar que no exista mezcla con algún otro material, así como del tipo de material presente en la excavación.

Los residuos generados por el material producto de la excavación, pueden ser recuperables siempre que ello se especifique en el proyecto y presenten una calidad adecuada para lo que sean destinados, cuidando que la legislación local vigente permita el aprovechamiento o reúso, para el caso de análisis, lo establecido en la NADF-007-RNAT-2013.

En presencia de suelo arcilloso como el que se presenta en el Valle de México el tamizado para eliminar las partículas con diámetros mayores a los requeridos para el reúso puede ser a través de una inspección visual ya que es muy poco probable encontrar partículas de diámetros mayores a un centímetro (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 2000). En caso de encontrarse al sur de la ciudad y encontrar macizos rocosos es recomendable un tratamiento distinto.

El tratamiento del suelo se realizará en el área destina para ello, sin embargo, de no contar con un área disponible podrá realizar de manera simultánea al ejecutar una evacuación rápida de este material y que no entorpezca otras actividades dentro o fuera de la obra en progreso.

La carga de los camiones con el material ya tratado será documentada con un manifiesto que especifique las características del material que transportan, con la finalidad de llevar un control del mismo, volumen, propiedades y calidad con la que se suministrará.

Paralelamente el material con destino a disposición final contará con el mismo manifiesto ya que es de gran interés que se disponga de manera adecuada en sitios de disposición final autorizados para residuos de la construcción y demolición.

Realizado lo anterior el constructor contará con la seguridad de que los residuos de la excavación fueron dispuestos de forma apropiada, aunado a lo anterior recibe un ingreso del material que entra a una nueva cadena de producción y finalmente puede obtener indicadores para obras posteriores.

Las actividades consideradas que debe ejecutar el constructor para realizar el tratamiento se divide en dos momentos: dentro y fuera de la obra, a continuación se listan las actividades para cada caso.

#### Dentro de la obra

- Residuos generados por la excavación de distintas actividades, selección de material a tratamiento.
- Movimiento y almacenamiento parcial de los residuos de la excavación.
- Pretratamiento del suelo.
- Tratamiento mecánico (trommel o mallas).
- Carga de camiones de volteo o movimiento de material destinado a reúso.
- Carga de camiones de volteo con material destinado a disposición final.

#### Fuera de la obra

- Almacenamiento temporal
- Pretratamiento del suelo.

- Tratamiento para su uso fuera de obra (trommel o mallas).
- Valorización del material e ingreso como un insumo en una cadena productiva.
- Carga de camiones de volteo con material de reúso.
- Carga de camiones con material destinado a disposición final.
- Traslado a disposición final en rellenos sanitarios o sitios de disposición final de residuos de la construcción.

Para terminar, no puede generalizar el tratamiento del suelo ya que como se mencionó en este capítulo existe una diversidad de suelos. El caso de la Ciudad de México es particular por lo que el tratamiento no será factible para todos los suelos, encontrando particularidades que requieran mayores consideraciones para un tratamiento lo que derivará en nuevas alternativas y procesos, siempre consiguendo el beneficio ambiental, social y económico.

### **Disposición final.**

En la actualidad los RCMD, son depositados frecuentemente en sitios inadecuados, por ejemplo, barrancas, predios abandonados y la vía pública. Por otra parte también son depositados en sitios autorizados, estos pueden ser sitios de disposición final para RSU o sitios para RCMD, puesto que por las características de estos residuos y su volumen provocan una disminución considerable de la vida útil para los sitios de disposición final de los RSU es preciso evitar el envío a estos sitios.

Derivado del análisis realizado por el estado de Tabasco en su PM se identifican cuatro sitios de disposición final:

a). Los rellenos sanitarios o sitios adecuados para RSU los cuales son autorizados como los lugares de destino de los RCD por las autoridades locales. La disposición de RCD en rellenos sanitarios si bien es una práctica adecuada, es importante señalar que estos residuos aún en un

relleno pueden ser útiles como cubierta diaria, sin embargo, la disposición irracional de estos residuos tiene como consecuencia la reducción de la vida útil del relleno.

b) Tiro autorizado, el cual incluye predios destinados exclusivamente para la recepción de los RCMD, sin embargo, y tomando en consideración que estos residuos en la Ciudad de México, son recolectados y transportados mezclados a otra entidad pueden tener la presencia de RP, RSU y otros RME;

c) Barrancas, cuerpos de agua, vía pública, entre otros., en todos los casos estos sitios no son autorizados, sin embargo es frecuente encontrar en estos sitios a los RCMD, y generalmente son los transportistas privados los que utilizan estos predios, es una actividad no regulada y que causa el mayor impacto al ambiente ya que estos sitios que no cumplen con ninguna regulación o están bajo ningún tipo de control por ninguna autoridad.

d).- Renivelación de predios.- en este caso, pudiera pensarse que la renivelación es una estrategia o actividad asociado al reciclaje o reúso, lo que pudiera ser sinónimo de una actividad ambientalmente adecuada y acorde a los principios y políticas ambientales sustentables, sin embargo, en México esta actividad en muchos casos está siendo realizada en predios asociados a asentamiento humanos irregulares, que involucran la pérdida de áreas naturales como barrancas, ANP o áreas con valor ambiental así como la afectación de cuerpos de agua, como ríos, cuencas, lagos, lagunas y otros donde se le gana tierra al agua a través del cubrimiento con RCD, esta actividad responden principalmente a intereses particulares y no de bien público (Gobierno del Estado de Tabasco, 2012).



Sin embargo, sólo se han podido identificar algunos estados de la república que cuentan con sitios de disposición final autorizados entre los cuales están incluidos la Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato y Baja California (CMIC, 2014).

En el PM-RCD elaborado por la CMIC señala que la Ciudad de México cuenta con 14 sitios autorizados ubicados en el Estado de México, la Ciudad de México sólo regula la recolección y transferencia a través de la NADF-007-RNAT-2013. Además la ciudad cuenta con un Centro de Transferencia Cuemanco y una Planta de reciclaje Privada (Concretos Reciclados, S.A. de C.V) (CMIC, 2014).

En resumen, en la Ciudad de México es realizada la disposición final fuera de la jurisdicción de la entidad, es de relevancia conocer los sitios autorizados para los RCMD, aunado a lo anterior conocer los impactos generados en estos sitios debido del depósito de los RCMD los cuales generan un gran impacto. La Tabla 3-4 muestra los sitios autorizados para la disposición final por la SEDEMA para la Ciudad de México, y en la Tabla 3-5 la planta de reciclaje y estación de transferencia..

**Tabla 3-4 Sitios autorizados para la disposición de materiales de excavación y de construcción.**

<b>Municipio</b>	<b>Empresa</b>	<b>Representante</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Resolución</b>
Huixquilucan	Ejido De La Magdalena Chichicaspa	Delfino De La Cruz Pérez	Centro De Disposición Final De Materiales “Dos Cerritos”	Paraje Dos Cerritos, En El Ejido De La Magdalena Chichicaspa	RESOL/113/06  05-abr-06  DGOIA/487/10 9/03/10
Huixquilucan	Ejido De La Magdalena Chichicaspa	Delfino De La Cruz Pérez	Centro De Disposición Final De Materiales “El Escobal”	Paraje Denominado El Escobal, En El Ejido De La Magdalena Chichicaspa	RESOL/114/06  05-abr-06
Huixquilucan		Laura Rufina Lara Gutiérrez	Tiro La Ratonera	Carretera Rio Hondo-Huixquilucan, En El Paraje La Ratonera	RESOL/310/06 23-ago-06 DGOIA/1422/07 2/06/07 DGOIA/142/08 18/01/08
Zumpango		Maria Carolina Villalobos Hernandez	Depósito De Material Procedente De Excavaciones Y Obras De Construcción	Lote 25, Fracc. No.5  De La Ex Hacienda De San Juan	RESOL/091/09  30-mar-09
Naucalpan	Consejo De Administración De La Industria Ejidal San Francisco Chimalpa	Federico Nabor Manuel	Disposición Final De Material Residual Procedente De Excavaciones Y Obras De Construcción	Paraje El Capulín A Un Costado De La Autopista Chamapa Lechería Dentro De Una Fracción Del Socavón Ya Existente	RESOL/122/09  23-abr-09

Municipio	Empresa	Representante	Proyecto	Ubicación	Resolución
Ixtapaluca	Tecnosilicatos De Mexico, S.A. De C.V.	Rafael Carmona Pardo	Recepción De Residuos De La Construcción Y Material De Excavación, Proveniente De Obras	Fracción Uno, Resultante De La Fracción Del Predio Rustico Loma Ancha, Ex Hacienda De Zoquiapan	<p>DOIA/1800/09</p> <p>08-sep-09</p>
Huehuetoca	Construcciones Y Trituraciones, S.A. De C.V.	Francisco Javier Bay Ortuzar	Banco De Tiro San Miguel Jagueyes	Domicilio Desconocido, Col. San Miguel De Los Jagueyes	<p>RESOL/401/09</p> <p>I/DICIEMBRE/09</p>
Zumpango	Carso Infraestructura Y Construcción, S.A. De C.V.	Carlos Alberto Constantino Galván Y José Guadalupe Fernández Fernández	Sitio De Tiro Ejido De San Juan Zitlaltepec	<p>Parcelas 1527,1579,</p> <p>364i95, 1370/163/48, 1544i526 Y 1525 Con Una Sup. 30,559 M2</p> <p>Del Ejido De San Juan Zitlaltepec En</p> <p>Circuito Exterior Mexiquense Sentido México Querétaro</p> <p>Km</p>	RESOL/407/09 I/12/09
Acolman	Martínez Villegas, S.A. De C.V.	Ruben Baez Fragoso	Tiro De Ejido Tepexpan Que Consiste En La Disposición Final De Residuos De Manejo Especial (Residuos De Demolición De Edificaciones, Residuos Del Levantamiento De La Carpeta Asfáltica Y Residuos De Excavaciones Para Preaparar La Construcción De Obras Civiles Y Residuos De Excavaciones De Minas) En Un Predio Con	En La Parte Sureste Del Cerro Tlahuilco En El Ejido De Tepexpan	RESOL/063/10 II/03/10

Municipio	Empresa	Representante	Proyecto	Ubicación	Resolución
Calimaya	Construcción Y Comercialización Hidra, S.A. De C.V.	José Horcio Miranda Valdes	Sitio De Disposición Final De Residuos De Manejo Especial La Magdalena	Camino Antiguo A Toluca Sin Numero	RESOL/051/10 I/03/10
Chalco	Túnel Río De La Compañía Y/O Alejandra Estebanes Fonseca	Luis Felipe Gil Garay	Depósito De Materiales Procedente De La Excavación De Las Lumbreras Y Del Túnel Del Río De La Compañía En El Socavón De San Marcos Huixtoco En Una Sup. De 2.04 Ha.	Km 24.4 De La Carretera Federal México-Puebla, Paraje Santo Domingo, Poblado De Tlalpizahuac	RESOL/265/807  20/808/07
Coacalco	Lausan, S.A. De C.V.	Carlos Rello Lara	Rehabilitación De La Mina La Bezana Consistente En El Relleno De Dicha Mina De Materiales Pétreos En Una Sup. De 12.23 Has.	Calle Cerrada De La I6  De Septiembre No. 82, Col. Hacienda Las Garzas	RESOL/002/07 I0/01/07
Mpio. De Texcoco, Estado De México	Maur, S.A. De C.V.	C. Gabriel Soria Padilla	Restauración De La "Mina Arenera San Jorge"	Predio Denominado Buenavista, Ubicado En La Calle Sin Nombre, Sin Número, Poblado De Tequexquahuac	212080000/DGOIA/RESO L/280/10  20-oct-11

Municipio	Empresa	Representante	Proyecto	Ubicación	Resolución
Xonacatlán	Grupo Contadero, S.A. De C.V.	Álvaro Muciño García	Sitio De Disposición Final De Residuos Sólidos Urbanos Y De Manejo Especial	Camino A Los Mesones No. 5, San Miguel Mimiapan, Xonacatlán, Estado De México, C.P. 52070	RESOL/217/07  06-jul-07

Fuente: SEDEMA, 2017

**Tabla 3-5 Sitios a autorizados para el reciclamiento de materiales pétreos de desechos de la construcción y para la transferencia y almacenamiento temporal de los residuos de la construcción.**

N° De Resolución Administrativa	Fecha De Emisión	Promovente	Proyecto	Ubicación
<b>SMA/DGRVA/DIR/9460/2004</b>	03 De Agosto Del 2004	C. José Valdez García	"Proyecto De Operación "Planta Para El Reciclado De Materiales Pétreos De Desecho De La Construcción En La Ciudad De México", En El Predio Conocido Como La Esperanza I, "El Yehualique" En La Delegación Iztapalapa, México, D. F."	Calle Del Árbol No. 106, Colonia El Triángulo, Delegación Iztapalapa, Distrito Federal
<b>SMA/DGRA/DEIA/005366/2011</b>	16 De Agosto Del 2011	C. Edmundo Sosa González	Centro De Transferencia Y Almacenamiento Temporal De Residuos De La Construcción Cuernavaca	Anillo Periférico Sur Número 7555, Colonia Rinconada Coapa, Delegación Xochimilco, Distrito Federal

Fuente: SEDEMA, 2017

#### **4. Análisis comparativo de Planes de Manejo para residuos de la construcción**

El Plan de Manejo (PM) está regulado por la norma oficial mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011; aprobada con fecha 23 de noviembre de 2012 (SEMARNAT, 2013), establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

El propósito de la norma es promover los lineamientos para la elaboración del PM para los RME que están en el listado de esta norma, así como para los que estén considerados para un PM por los Diagnósticos Básicos Estatales para la Gestión de Residuos o por un Estudio Técnico Económico. Además es un medio para que los residuos generados en las entidades sean considerados RME, generados de un proceso productivo y que no reúnan las características domiciliarias o peligrosas; y generadores de 10 toneladas al año o su equivalente.

Esta norma es obligatoria a nivel nacional y está dirigida a los grandes generadores de RME, de RSU, productores, importadores, exportadores, comercializadores y distribuidores de productos que en sus actividades generen RME sujetos a PM (SEMARNAT, 2013).

Los planes de manejo incluyen en ellos la responsabilidad compartida, ya que requiere la participación de los actores de la generación para colaborar en el PM, a fin de conseguir un manejo apropiado de los residuos. El PM tiene que cumplir con los elementos generales para su formulación, los principales elementos deben proporcionar información de cantidad y tipo de residuos, actores, manejo, tratamiento, propuestas, mecanismo de difusión, etc.

Actualmente hay dos planes de manejo dirigidos a los RCMD, uno de ellos del estado de Tabasco y el otro elaborado por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) a nivel nacional. Los planes de manejo fueron elaborados de acuerdo a la norma aplicable (NOM-161-SEMARNAT-2011) uno de ellos antes de ser aprobada y el otro después de su aprobación.

El PM en el estado de Tabasco fue solicitado por la Secretaría de Recursos Naturales y Protección al Ambiente a través de la Comisión de Medio Ambiente de la Cámara de Diputados, es un proyecto para elaborar planes de manejo para los principales residuos del estado dentro de estos se encontraron los residuos de la construcción.

El proyecto tiene la finalidad de integrar a los participantes de la cadena de valor de la construcción en el manejo de los residuos para recuperar espacios afectados por estos residuos en el estado de Tabasco.

Por otra parte el PM elaborado por la CMIC es iniciativa de esta institución ya que es la principal representante nacional del sector de la construcción, debido a esto el cumplimiento de leyes, reglamentos y normas que estén relacionadas con la construcción es de su interés.

Este PM de manejo se concreta con la firma de un convenio entre la SEMARNAT y la CMIC lo que da como resultado “Plan Nacional de Manejo de Residuos de la Construcción”. Su principal objetivo es la construcción sustentable, centrándose en la minimización de la generación de los RCMD y maximizando su aprovechamiento.

Realizando un análisis comparativo de los planes de manejo para ver los alcances de los mismos y sus elementos generales, se elabora un cuadro comparativo de ellos, véase Tabla 4-1, y en caso de no cumplir se sugiere que es lo que debería agregarse al PM.

Tabla 4-1 Comparativa de planes de manejo estatal y nacional.

Tema	Plan de Manejo Tabasco	Plan de Manejo CMIC	Contenido para mejorar
Motivo para la Elaboración del Plan de Manejo	Manejo adecuado de los residuos de la construcción del estado de Tabasco	Cumplimiento de la legislación en materia ambiental en el tema de residuos	Los dos cumplen el objetivo de prevenir la generación y maximizar el uso de los residuos.
Nombre, denominación o razón social del solicitante	----	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción	Incluir la razón social como estado de Tabasco. Ya que es el solicitante.
Nombre del representante legal	----	Director General CMIC: Ing. Humberto Ibarrola Díaz	Debe contener un representante ya que será el responsable del plan de manejo.
Domicilio para oír y recibir notificaciones	----	Periférico sur no. 4839, Colonia Parques del Pedregal, C.P. 14010, Delegación Tlalpan. México, Distrito Federal. Tel. 5424 7400.	Incluir un domicilio para recibir sugerencias, quejas o adhesión al plan de manejo, plan de manejo del estado de Tabasco
Modalidad del Plan de Manejo	Estatad, mixto, Colectivo	Mixto, Colectivo, Nacional	
Residuos del Plan de Manejo	Residuos de la construcción	Residuos de la construcción y demolición (RCD). a) material de excavación (Arcillosos, Granulares y Tepetatosos). b) concreto (Simple, Armado, Asfálticos). c) elementos mezclados prefabricados y pétreos (Fragmentos de Block, Tabique, Adoquín, Tubos, Ladrillos, Piedras, etc.). d) OTROS (Madera, Cerámica, Plásticos y Plafón, Yeso, Muros Falsos, Materiales Ferrosos, Residuos Orgánicos Producto del Despalme	Los residuos que estarán incluidos en el plan de manejo y de ser posible a los cuales va dirigido. Si existe una clasificación en el desarrollo del plan de manejo ponerlos como residuos objetivo.



Tema	Plan de Manejo Tabasco	Plan de Manejo CMIC	Contenido para mejorar
Diagnóstico del residuo	Diagnóstico de residuos de la construcción y residuos peligrosos.	Diagnóstico de residuos de la construcción con estimaciones.	Datos o estimaciones de los residuos actualmente, gestión y manejo actual, situación del estado de Tabasco en residuos de la construcción
Formas de manejo integral propuestas	Sólo contiene el manejo actual de los residuos de la construcción	Propone etapas para el manejo dentro y fuera de la obra. Contiene estimaciones para este manejo y un programa para incluirlas.	Incluir la propuesta de manejo para los residuos de la construcción del estado de Tabasco.
Metas de cobertura	Estatal	Nacional	
Descripción de destinos de disposición final	Rellenos Sanitarios, tiradero autorizado, barrancas y renivelación.	Cuadro con los estados con los sitios autorizados para la disposición final de los residuos de la construcción.	Además de la disposición final, localizar si existen sitios para el estado de Tabasco.

**Fuente: Elaboración propia.**

Finalmente se opta por adherirse al plan de manejo realizado por la CMIC ya que cuenta con mayores recursos para realizar el manejo de los residuos, entre las cuales se encuentran la guía rápida para el manejo de los residuos de la construcción, ayuda de estimación por medio de ejemplos ilustrativos, mecanismos de adhesión al plan de manejo, entre otros, sin embargo, debe aclararse que estos planes de manejo deberán ser actualizados con la información recabada por los mismos.

Es recomendable que cada entidad federativa cuente con un plan de manejo que describa específicamente la situación de la gestión y manejo de los RCMD del estado, ya que presentarán diferentes fuentes de residuos, resultado del desarrollo de infraestructura en cada demarcación, en algunos de ellos es relevante considerar los fenómenos meteorológicos y la respuesta ante estos.

En suma, es necesario realizar mejoras al plan de manejo elaborado por la CMIC, es decir, contar con mejores herramientas para adherir a los principales generadores y efectuar actualizaciones periódicas de este PM, y elaborar un PM para la Ciudad de México.

## 5. Conclusiones

### Discusión del tema

En añadidura, es de gran relevancia realizar un estudio de generación del residuo producto de la excavación, así como de otros subproducto de los RCMD, ya que no se cuenta con datos del volumen generado de este residuo, sobretodo porque con los datos de la generación se reflejarán en el análisis para el manejo apropiado para el residuo, ejecutando las acciones necesarias para obtener el mejor resultado.

Aunado a lo anterior, el manejo que actualmente es realizado por los constructores carece de actividades para realizarlo integralmente debido a diversos factores, informalidad en el manejo de los RCMD, negligencia en la disposición final, omisión del aprovechamiento de estos, escasez de mercado para los materiales reciclados en la industria de la construcción, limitación económica para dirigir recursos a estas actividades y falta de conocimiento en la materia del manejo de los residuos y su gestión.

Las oportunidades de mejorar el manejo de los RCMD son amplias, resultado del análisis en este trabajo, las actividades con mayores problemas en su ejecución es el tratamiento y la disposición final.

A pesar de que el tratamiento pudiera generar costos y tiempo en el desarrollo de la obra los beneficios serán reflejados en el aprovechamiento y reintegración de los residuos tratados en una nueva cadena productiva, obtención de ingresos por la venta del material tratado, cumplimiento de la legislación en materia de residuos, y disminuir los impactos ambientales y sociales.

Definitivamente la disposición final de los residuos producto de la excavación sobre todo el depósito en sitios no autorizados generará un gran impacto ambiental negativo, por ejemplo, la

contaminación de los suelos en donde se realiza su depósito, contaminación de cuerpos de agua superficial y subterránea, fauna nociva, cambio de cauces y obstrucciones de estos por mencionar algunos. Recordando que la disposición final de estos residuos es realizada fuera de la Ciudad de México hacia estados aledaños, principalmente el estado de México, es notable que esto originara una problemática cuando estos sitios de disposición final lleguen al término de su vida útil.

La finalidad de llevar la mínima cantidad de residuos a disponer en estos sitios no sólo considera el cuidado de la vida útil del sitio de disposición final, ya que propone la disminución de la construcción de estos lugares para el depósito de los residuos sólidos.

El manejo de los residuos producto de la excavación es ejecutado por los constructores sin ninguna directriz, a lo largo del trabajo se describe cómo es realizado actualmente, logrando observar actividades en las que no tienen un manejo adecuado, debido en ocasiones al desconocimiento de las actividades a realizar para operarlos de una manera apropiada. Con ello se cumple con el objetivo de realizar el análisis del manejo actual de los residuos producto de la excavación.

El tratamiento para suelos como los expuestos en este trabajo no dependen de una gran tecnología por lo que el constructor puede hacerlos sin requerir adquirir maquinaria adicional, podrá ocupar las que son utilizadas en otras actividades dentro de la obra destinando esta para realizar el tratamiento, no obstante, es preciso destinar en un mediano o largo plazo máquinas sólo para esta actividad y realizarlo de manera más eficiente.

Finalmente la Ciudad de México precisa de un Plan de Manejo para los RCMD, el PM-RCD elaborado por la CMIC debe considerarse hasta este momento como la principal guía para la

gestión y el manejo de los RCMD. Este plan deberá representar con mayor certidumbre la situación de la entidad en materia de los RCMD, sin embargo, este plan de manejo debe contar con mecanismo de adhesión y sin lugar a duda de vigilancia para que este logre los mejores resultados para el ambiente, la sociedad y la economía de la Ciudad de México.

### **Conclusiones**

Analizado el manejo de los RCMD es de concluir que presenta irregularidades durante su ejecución, no obstante, se determinó que el tratamiento y la disposición final de los residuos de la excavación son las actividades con una importante oportunidad para mejorar.

Se observó que para los suelos presentes en la Ciudad de México responderán a un tratamiento mecánico en este caso para la segregación del suelo a través de un trommel o mallas.

Finalmente, las propuestas efectuadas a lo largo del trabajo son susceptibles a una mejora continua ya que la puesta en marcha de programas, actividades y acciones para la el aprovechamiento de los residuos de la excavación y otros generados por este sector habrá de dirigirlo hacia un desarrollo sustentable y una economía circular.

### Referencias Bibliográficas

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (diciembre de 2001). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. Distrito Federal, Distrito Federal, México.

Administración Pública del Distrito Federal. (29 de enero de 2004). *Centro de Información y Documentación*. Obtenido de Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal: [http://centro.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/2016/RGTO\\_CONSTRUCCIONES\\_17\\_06\\_2016.pdf](http://centro.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/2016/RGTO_CONSTRUCCIONES_17_06_2016.pdf)

ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL. (7 de octubre de 2008). *CONSEJERÍA JURÍDICA Y SERVICIOS LEGALES*. Obtenido de <http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/REGLAMENTODELALEYDERESIDUOSSOLIDOSDELDISTRITOFEDERAL.pdf>

ASAMBLEA LEGISLATIVA DEL DISTRITO FEDERAL. (18 de noviembre de 2015). *CONSEJERÍA JURÍDICA Y SERVICIOS LEGALES*. Obtenido de <http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/leyes/LEYDERESIDUOSSOLIDOSDELDISTRITOFEDERAL.pdf>

Chávarri M., C. M. (2007). *Equipo de acarreo*. Ciudad de Mexico: Fundación para la enseñanza de la construcción, A.C.

Ciudad de México. (14 de diciembre de 2016). *SEDEMA*. Obtenido de Inventario de Residuos Sólidos Ciudad de México 2015: <http://www.cms.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2015-14-dic-2016.compressed.pdf>

CMIC. (2014). PLAN DE MANEJO DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA DEMOLICIÓN. México, Ciudad de México, México.

GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL. (2016). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural S.A. de C.V.* Obtenido de Normas Técnicas Complementarias: <http://www.smie.org.mx/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias.php>

Gobierno del Estado de Tabasco. (septiembre de 2012). *Plan Estatal de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición para el Estado de Tabasco.* Obtenido de <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/PM%20residuos%20de%20la%20construccion.pdf>

H. CONGRESO DE LA UNIÓN, C. (22 de Mayo de 2015). LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

INEGI. (23 de noviembre de 2016). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía.* Obtenido de Producto Interno Bruto a Precios Corrientes: [http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/notasinformativas/2016/pib\\_preocr/pib\\_preocr2016\\_11.pdf](http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/notasinformativas/2016/pib_preocr/pib_preocr2016_11.pdf)

INEGI. (09 de febrero de 2017). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía.* Obtenido de Banco de Información Económica: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/default.aspx>

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, C. Y., Gutiérrez Avedoy, V. J., Ramírez Hernández, I., Encarnación Aguilar, G., Medina Arévalo, A., . . . Mendoza Ursulo, R. (2012). DIAGNÓSTICO BÁSICO PARA LA GESTIÓN

INTEGRAL DE LOS RESIDUOS 2012, Versión Ejecutiva. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

Jacintos Nieves, A. (Semestre 2016-2). Apuntes de clase: Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y su Reglamento. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2000). *Mecánica de Suelos TOMO I*. Distrito Federal, México: Limusa.

Mendoza Sánchez, E. R. (2006). *Introducción al proceso constructivo*. Ciudad de México: FUNDEC A.C.

REPÚBLICA, G. D. (2013). PLAN NACIONAL DE DESARROLLO 2013-2018. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

Secretaría de Desarrollo Económico. (09 de febrero de 2017). *Secretaría de Desarrollo Económico*. Obtenido de Producción: <http://reporteeconomico.sedecodf.gob.mx/index.php/site/main/48>

SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. (3 de julio de 1987). *DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN*. Obtenido de REGLAMENTO DE CONSTRUCCIÓN DEL DISTRITO FEDERAL: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=4664221&fecha=03/07/1987](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4664221&fecha=03/07/1987)

Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. (26 de febrero de 2015). *Orden Jurídico*. Obtenido de NADF-007-RNAT-2013: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Distrito%20Federal/wo101947.pdf>



SEDEMA. (19 de octubre de 2016). *Secretaría del Medio Ambiente CDMX*. Obtenido de Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México 2016-2020: [http://www.cms.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/PGIRS\\_Gaceta.pdf](http://www.cms.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/PGIRS_Gaceta.pdf)

SEMARNAT. (diciembre de 2001). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales. Distrito Federal, Distrito Federal, México.

SEMARNAT. (02 de febrero de 2013). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo;: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286505&fecha=01/02/2013)

SEMARNAT. (31 de octubre de 2014). *Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión*. Obtenido de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGPGIR\\_311014.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf)

Tamez González, E. (2001). *Ingeniería de Cimentaciones Conceptos Básicos de la Práctica*. Distrito Federal, México: tgc geotecnia.

Tchobanoglous, G., Theissen, H., & Eliassen, R. (1994). *Desechos Sólidos Principios de Ingeniería y Administración*. McGraw-Hill.

TECHNOLOGY & BUSINESS REVIEW. (marzo de 2005). *Mechanical-Biological-Treatment: A guide for decision makers process policies and markets*. Obtenido de [http://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2005-003%20MBT\\_Summary\\_Report\\_Final.pdf](http://www.cti2000.it/Bionett/BioG-2005-003%20MBT_Summary_Report_Final.pdf)

Volke Sepúlveda, T., & Velasco Trejo, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

