ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS O COMPLEMENTARIAS PARA ELTRATAMIENTO O DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

INFORME FINAL

Dra. Ma. Teresa Orta de Velásquez[1]
M. en C. Isaura Yáñez Noguez[2]
Dr. Ignacio Monje Ramírez[2]
Dra. María Neftalí Rojas Valencia[2]
Ing. Amb. Leonardo Toscano Vélez [3]
Q. F. B. Jazmín Rentería Martínez[4]
Ing. Quim. Karen Velázquez Pedroza[4]
Ing. Quim. Erick Iván García Santiago[4]
Pas. Q.F.B. Nathalie Monserrat Hernámdez Rodríguez[4]
Pas . Ing. Industrial Lizbeth Hernández Reyes[4]

Elaborado para:

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

Noviembre 2009

Proyecto Instituto de Ingeniería 9335

[1]Responsable, Investigadora, Instituto de Ingeniería, UNAM.
[2]Técnico Académico, Instituto de Ingeniería, UNAM.
[3]Servicios profesionales, Instituto de Ingeniería UNAM.
[4]Becarios, Instituto de Ingeniería UNAM

Pág.

0. RESUMEN EJECUTIVO……..……..... 3

1. INTRODUCCIÓN……..... 6

2. ANTECEDENTES……. 12

3. METODOLOGÍA APLICADA……..... 17

4. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES…….…… 22

4.1 Tecnologías de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos aplicadas en México…….. 23

4.2 Revisión bibliográfica sobre las tecnologías en otros países analizando las condiciones de los residuos que han ingresado a dichas tecnologías para el manejo, tratamiento y disposición final de RSU…….. 75

4.3 Inventario de proveedores de tecnologías para el manejo y disposición de Residuos Sólidos Urbanos en México……. 168

4.4 Fichas técnicas de las tecnologías alternativas para el tratamiento o disposición final de RSU, que incluyen la descripción de cada tecnología considerando: la capacidad, tipos de residuos a manejar, ventajas, desventajas y costos……. 245

4.5 Evaluación técnica, económica, ambiental y social de cada tecnología identificada y descrita…….. 289

4.6 Selección de tecnologías por grupos representativos…… 314

4.7 Tecnologías que pueden tener acceso al mercado de bonos de carbono……. 328

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……. 364

6. ANEXOS

6.2 Anexo 6.1 Bibliografía……... 371

6.1 Anexo 6.2 Índices…….. 388

6.2.1 Índice de cuadros……. 389

6.2.2 Índice de figuras…… 392

6.2.3 Índice de mapas…….. 395

6.2.4 Índice de gráficas……... 396

6.2.5 Índice de diagramas…….. 397

Anexo 6.3 Información…….. 398

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio surge de la necesidad de conocer lo que está sucediendo actualmente con las tecnologías que se están aplicando y ofertando a nivel nacional y mundial, para solucionar la problemática del manejo integral de los residuos sólidos urbanos, y así evaluar dichas tecnologías considerando su factibilidad técnica, económica, ambiental y social de aplicación en México.

Se realizó una investigación a nivel gabinete sobre las tecnologías aplicadas en el país, y se encontró que en México las principales tecnologías y métodos de tratamiento, son las relacionadas con la separación, reciclaje y compostaje de los residuos sólidos urbanos. Aunado a ello, se sigue considerando el uso de rellenos sanitarios como opción más viable, por lo cual, se están haciendo esfuerzos en los estados de la república para lograr el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

De esta misma forma, existe la tendencia a acondicionar los sitios de disposición final, de tal manera que se pueda realizar el aprovechamiento de biogás para generación de energía. En el estado de Nuevo León se han logrado muchos éxitos en el manejo integral de los residuos sólidos, y el principal orgullo de este estado, es la Planta de generación de energía “Bioenergía de Nuevo León S.A. de C.V.” (BENLESA), donde se están generando actualmente 12.72 MW.

En el caso de la construcción de nuevos rellenos sanitarios, actualmente se están considerando modificaciones a los rellenos tradicionales, donde se está promoviendo la utilización de sistemas o unidades de alta compactación con el fin de aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios, disminuir la generación de biogás y

lixiviados, conocido como “relleno sanitario seco”. Este sistema se está tratando de implementar en el estado de Tlaxcala, pero aun está a prueba y no se ha podido ejecutar eficientemente.

De igual manera, en otros casos de construcción de nuevos rellenos sanitarios se está considerando fomentar la producción de biogás en las celdas, con ayuda de un reactor que inyecta un lixiviado procesado, rico en microorganismos y complementos, conocido como relleno sanitario Metanogénico. Desde el año 2008, en el estado de Morelos se tiene planeado la construcción de un relleno sanitario metanogénico regional para los municipios de Temixco, Miacatlán, Jiutepec, Tlaltizapán y Xochitepec.

Dentro de este mismo contexto, existe una nueva iniciativa que se está desarrollando por todo el país, que es la creación de Centros Intermunicipales para el Tratamiento Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (CITIRS), con la finalidad de que los municipios de escasos recursos puedan tener un sitio de disposición final que cumpla con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. Este modelo está tomando importancia en los estados de Aguascalientes, Chihuahua, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Puebla y Zacatecas. Siendo el estado de Jalisco donde se ha prestado mayor interés y se han obtenido grandes logros.

El composteo ha tenido un desarrollo muy lento y poco progresivo en México, aun así este método de tratamiento (plantas de composta y prácticas de composteo) se está aplicando en varios estados de la república como son: Aguascalientes, Colima, Distrito federal, Jalisco, México, Morelos, Quintana Roo, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán. Siendo la planta de composta de Bordo Poniente ubicada en el Distrito Federal, un ejemplo de éxito en el desarrollo de este método de tratamiento.

En cuanto a las tecnologías de tratamiento térmico, existen empresas que están ofertando este tipo de tecnología para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos, pero no se tiene conocimiento de que se haya logrado la instalación de alguna de estas de forma exitosa en la república.

Se realizó una revisión bibliográfica sobre las tecnologías de otros países, analizando las condiciones de los residuos que han ingresado a dichas tecnologías para el manejo, tratamiento y disposición final de RSU. De esta manera, se encontró que a nivel mundial la toma de decisiones para la aplicación de tecnologías va mucho más allá de los recursos económicos para su implementación, ya que se deben considerar aspectos fundamentales como la densidad poblacional, urbanización, características técnicas necesarias para el funcionamiento de la tecnología y terrenos disponibles para su instalación. La aplicación de tecnologías en el mundo se encuentra de la siguiente manera:

Alemania: compostaje, reciclaje, incineración, pirolisis, gasificación y otras modalidades más modernas como metanización y mineralización.

Dinamarca, Países Bajos, Japón y megalópolis asiáticas: preferencia por la tecnología de Incineración.

África: digestión anaerobia y estudios de biometanización.

Latinoamérica: el manejo de los residuos sólidos se encuentra en una etapa de investigación, donde se están identificando las soluciones más eficientes acorde a sus recursos y tomando decisiones en relación a la aplicación de tecnologías para el tratamiento de sus residuos. Hasta el momento aun se sigue disponiendo finalmente los residuos en tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios, aunque se tiene la perspectiva de mejoramiento de los rellenos sanitarios y acondicionamiento de los mismos para la generación de energía, seguir avanzando en programas de segregación, reciclaje y composteo, y fomentar la aplicación de nuevas tecnologías.

Se realizo un inventario de proveedores de tecnologías en México y la descripción que hacen de la aplicabilidad de la tecnología y costos. Con lo cual, se identificó que el 99% de las tecnologías ofertadas han sido desarrolladas en otros países, y en su mayoría aprovechan al máximo los residuos durante el proceso de tratamiento, con el fin de dar viabilidad a la propuesta, garantizando porcentajes muy bajos de residuos de rechazo, con lo que se disminuye la utilización de los rellenos sanitarios. Sin embargo, esto hace que los costos de estas tecnologías sean muy elevados.

Existen empresas con diferentes enfoques de tratamiento, como es el caso de las plantas de separación para el aprovechamiento de residuos potencialmente reciclables, la producción de composta, generación de energía eléctrica y combustibles alternativos. Aunque las características técnicas de algunas propuestas no son muy claras, especialmente en el aspecto de los residuos que son capaces de procesar.

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro país no existe diversificación de tecnologías utilizadas para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos, por lo cual frecuentemente se buscan nuevas alternativas. Considerando que el tema de los residuos, se ha convertido en uno de los de más importancia a nivel nacional, en la mayoría de los municipios se presentan a diario empresas que ofertan nuevas tecnologías, que prometen mucho, pero que algunos de ellas se encuentran todavía en fase piloto y otras ya se han implementado en algunos países de forma industrial, pero la realidad es que nuestras autoridades municipales y en algunos casos también estatales, no cuentan con elementos suficientes para poder tomar una decisión a este respecto. Entre las tecnologías más ofertadas se encuentran la incineración, la gasificación y el plasma.

Existen diversos sistemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos, algunos de ellos con mayor madurez tecnológica que otros, pero aun así cada una con sus propias limitantes.

Por ello, la aplicación de las tecnologías existentes no es siempre la más adecuada en todos los casos, ya que la eficacia del sistema y la eficiencia de su proceso, depende de ciertas características geográficas, sociales y económicas, además de las características en generación, composición y parámetros fisicoquímicos de los residuos sólidos que se generan en cierto municipio, región o lugar del mundo.

Mientras unos sistemas no son lo suficientemente flexibles con respecto a la calidad de residuos ingresados en el proceso, otros tienen la particularidad de asimilar más fácilmente los cambios que se presentan, y si es necesario se puede aumentar su capacidad de tratamiento, teniendo así la ventaja de mantener su periodo de vida útil.

Dichas tecnologías, requieren en algunos casos de un pre-tratamiento, con el fin de alcanzar un nivel de separación y/o acondicionamiento requerido de los residuos.

Este pre-tratamiento depende de la flexibilidad de la tecnología para aceptar la cantidad, composición y parámetros fisicoquímicos de los residuos que son ingresados al proceso.

En lugares donde existe un amplio territorio, baja densidad de población y bajo nivel de ingresos, predomina el uso de relleno o métodos territorio-extensivos; mientras en lugares con escaso territorio, alta densidad de población y alto nivel de ingresos, predomina la Incineración o métodos territorio-intensivos. De esta manera, el nivel de tratamiento está relacionado con el nivel económico, mientras el método de tratamiento esta ligado a las características geográficas, sociales y de generación de residuos sólidos, y aunque las grandes urbes marcan la tendencia, siempre deben estar alineadas con las realidades del país.

Además, los costos de inversión inicial como los de operación y mantenimiento muestran una alta variabilidad según el país, debido a:

- Tipo de tecnología usada en la planta.
- Ubicación y capacidad de la planta.
- Costo local de la mano de obra.
- Costo de la energía y el combustible.
- Mercado local de los subproductos.

En este contexto, el tema de los residuos sólidos urbanos se ha convertido en uno de los de mayor prioridad en la agenda nacional para los diferentes órdenes de gobierno. La reciente publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) es una muestra de la preocupación e importancia que se tiene al respecto.

Con la finalidad de desarrollar una herramienta de consulta nacional, respecto de las tecnologías para el manejo de los residuos sólidos, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), por conducto de la Dirección de Manejo Sustentable de Residuos, encomendó al Instituto de Ingeniería de la UNAM la tarea de realizar el estudio “Evaluación de Tecnologías Alternativas o Complementarias para el Tratamiento o Disposición Final de los Residuos Urbanos”.

Con éste enfoque, se desarrollaron diferentes actividades que proporcionarán las herramientas necesarias respecto a las tecnologías alternativas para el tratamiento o disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos.

Dentro de dichas actividades, se realizó una investigación a nivel gabinete de las tecnologías que se aplican en el país. Al respecto se encontró que en algunas entidades federativas se están aplicando programas exitosos de manejo integral de

residuos sólidos urbanos en donde se utilizan tecnologías novedosas para el tratamiento y confinamiento de residuos. Pero también existen casos en donde se han hecho inversiones importantes con pocos o nulos resultados.

En el mercado nacional se encuentran disponibles tecnologías para el tratamiento de residuos urbanos que han tenido éxito en otros países del mundo. Con frecuencia las empresas que las distribuyen en México, hacen atractivas ofertas a los municipios, presentándolas como la opción adecuada para dar solución al problema de los residuos. En algunos casos las tecnologías se encuentra en fase de desarrollo en los países de origen, en otras ya se tiene experiencia en su aplicación a nivel industrial.

Entre las tecnologías más ofertadas se encuentran las plantas o sistemas para la separación de residuos sólidos, recuperación de materiales, trituración y compactación. Plantas para el tratamiento térmico de residuos como la incineración, la gasificación, la pirólisis y el plasma. En este último caso se destaca la posibilidad de poder aprovechar la energía calorífica que se genera del proceso de combustión de residuos sólidos.

Con respecto a la disposición final, un número importante de empresas transnacionales y nacionales, ofrecen y tienen concesionados los servicios de construcción así como la operación de rellenos sanitarios. En este caso se ofrece la construcción de rellenos sanitarios con nuevas características constructivas y operativas, distintas al diseño convencional que se limita a cumplir con la NOM-083-SEMARNAT-2003. Ejemplo de ellos son los rellenos sanitarios secos, los mecánico biológicos y aquellos que consideran la instalación de sistemas de recirculación de lixiviados bajo condiciones controladas conocidos como bio-rellenos metanogénicos.

En algunas entidades federativas del país comienza a observarse el aprovechamiento del “biogás” generado en los rellenos sanitarios utilizándolo en la producción de energía eléctrica, como muestra se encuentra el municipio de Salinas Victoria, de Nuevo León, en donde se producen del orden de 12.72 MWh.

Actualmente en la mayoría de las entidades federativas del país el relleno sanitario convencional sigue siendo la opción más viable, tanto técnica como económica, para dar solución al problema de los residuos sólidos urbanos. Una nueva modalidad basada en este método de confinamiento, es la construcción y operación de rellenos sanitarios regionales o intermunicipales, como una medida tomada por algunos estados de la república, para poder cumplir con los nuevos requerimientos normativos y leyes relacionadas.

En esta nueva realidad de requerimientos normativos y avances tecnológicos, las autoridades municipales y dependencias responsables, en muchas ocasiones no cuentan con la información y las herramientas suficientes para la toma de decisiones en el tema del manejo de los residuos sólidos.

Otra de las actividades desarrolladas consistió en realizar una búsqueda bibliográfica sobre las tecnologías a nivel internacional, analizando las condiciones de los residuos que han ingresado a dichas tecnologías.

Al respecto se encontró que la postura frente a los residuos y su tratamiento, varía significativamente entre países y depende de su historia, su cultura y su geografía.

El manejo de residuos sólidos en América Latina, se encuentran en diversas etapas de desarrollo, en particular las tecnologías para el tratamiento de residuos se están investigando, predominan aún los tiraderos a cielo abierto y los rellenos sanitarios están cobrando mayor importancia.

En el ámbito mundial el reciclaje es una gran opción para disminuir el desecho de subproductos que van a ocupar normalmente espacio en los rellenos sanitarios cuando todavía tienen una vida útil, además de disminuir la explotación de materia prima virgen. Además, en los rellenos sanitarios contribuye a reducir el impacto ambiental de la disposición de desechos sólidos, las emisiones a la atmósfera, la generación de lixiviados y los malos olores.

Las tecnologías más utilizadas en el mundo para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos son: el Relleno Sanitario, la Incineración, y el Composteo; con la incineración se recupera energía y con el composteo materiales orgánicos. Diferentes tipos de compostaje pueden producirse de acuerdo al proceso biológico como es el vermicompostaje.

Por otra parte, se hizo un inventario de proveedores de tecnologías en México y la descripción que hacen de la aplicabilidad de la tecnología y costos. En esta actividad, se llevó a cabo una búsqueda de proveedores potencialmente factibles para la aplicación de su producto en México. No obstante a que la información que proporcionan los proveedores en muchas ocasiones en escasa, fue posible hacer un análisis de cada una de las tecnologías y se identificó que el 99% de las tecnologías ofertadas han sido desarrolladas en otros países, y en su mayoría aprovechan al máximo los residuos durante el proceso de tratamiento, con el fin de dar viabilidad a la propuesta, garantizando porcentajes muy bajos de residuos de rechazo, con lo que se disminuye la utilización de los rellenos sanitarios. Sin embargo, esto hace que los costos de estas tecnologías sean muy elevados.

Existen empresas con diferentes enfoques de tratamiento, como es el caso de las plantas de separación para el aprovechamiento de residuos potencialmente reciclables, la producción de composta, generación de energía eléctrica y combustibles alternativos. Aunque las características técnicas de algunas propuestas no son muy claras, especialmente en el aspecto de los residuos que son capaces de procesar.

Así también, se elaboraron las fichas técnicas de las tecnologías aplicables para el tratamiento y/o disposición final de los RSU. Las fichas técnicas que se incluyen, son las opciones tecnológicas disponibles para procesar y disponer de manera controlada

los RSU, considerando los diferentes aspectos que deben tomarse en cuenta para éste fin, los cuales incluyen la descripción de cada tecnología, el objetivo que se persigue con cada tecnología en particular, la capacidad, las características o tipos de residuos que se pretende tratar, el proceso que describe cada tecnología, la aplicabilidad, ventajas y desventajas, así como costos de inversión; y los proveedores en México que ofrecen cada tecnología. Los aspectos incluidos permitirán hacer una comparación de tecnologías para, en un momento dado realizar la selección de las mismas.

Por otra parte, se hizo una selección de tecnologías por grupo representativo, y se proponen tres grupos de posibles usuarios para el manejo integral de residuos sólidos urbanos en México. Grupo 1, en este grupo se encuentran aquellos municipios en donde el acceso a las tecnologías de tratamiento es limitado o en su caso la aplicación de las mismas no es viable técnicamente por la cantidad de residuos que se generan.

Grupo 2, este grupo considera municipios que pueden optar por implementar y hacer el uso de las tecnologías que actualmente se están aplicando a nivel nacional, con el fin optimizar el manejo, tratamiento y disposición final de sus residuos, con beneficios ambientales, económicos y sociales. En este grupo el acceso a las tecnologías es posible y con ello debe buscar reducir al mínimo los costos derivados del manejo integral de los residuos sólidos urbanos.

Grupo 3. En este grupo se incluyen aquellos municipios y entidades en donde el uso de tecnologías se convierte en una herramienta indispensable para poder llevar a cabo de manera eficiente y segura, el manejo integral de sus residuos sólidos.

Finalmente, se llevó a cabo la definicón de las tecnologías que pueden tener acceso al mercado de bonos de carbono, los cuales son por el momento, una de las estrategias para la disminuir la contribución de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) e incrementar la competitividad en el mercado de las tecnologías disponibles para su aplicación en nuestro país. Se estudiaron los puntos que intervienen en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Este mecanismo es de gran interés para países como México, que desean llevar a cabo proyectos que reduzcan emisiones de CO_2 y pretendan recibir beneficios económicos de ellos. Dentro de esta sección se explica el ciclo que debe seguir un proyecto para ser considerado MDL y poder certificar las reducciones de emisiones e ingresar al mercado de bonos de carbono, especificando los requisitos, procesos, tiempos y costos que implica. Tal es el caso de las tecnologías aplicables al manejo de los RSU.

También se exponen los proveedores que ya cuentan con una cartera de proyectos con acceso al mercado de bonos de carbono, tanto en México como en otros países. Haciendo así más sencilla la identificación de las tecnologías que pueden beneficiar a nuestro país con bonos de carbono.

Al respecto se pudo identificar que los proyectos MDL en México cuentan con una participación significativa, pues es el cuarto país con el mayor número en ventas de bonos de carbono. Se identificaron diferentes actividades con potenciales para

desarrollar este tipo de proyectos sobre todo lo que concierne al sector energético y en lo referente a los residuos sólidos urbanos, se tiene una gran participación en la generación de energía en rellenos sanitarios a partir del aprovechamiento del biogás.

Los procedimientos y lineamientos para ingresar al mercado de bonos de carbono son un proceso con etapas claras y consecuentes. Se muestra una clara oportunidad para el desarrollo de proyectos con acceso al mercado de bonos de carbono en nuestro país. Las reducciones anuales totales de los proyectos MDL en México fueron de 11,592 ktCO_2e.

2. ANTECEDENTES

En México la ley que da marco legal a todas las políticas, programas y planes relacionados con el sector de los residuos sólidos urbanos, especiales y peligrosos, es la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada el 19 de junio de 2007 en el Diario Oficial de la Federación.

Establece como facultades de la federación en materia de residuos, entre otras, el expedir las normas oficiales mexicanas (NOM) con enfoque a la gestión integral de los residuos sólidos urbanos, de manejo especial y peligrosos, así como promover junto con las entidades federativas y municipios la participación de inversionistas y del sector social (Artículo 7°). Menciona igualmente la promoción, investigación, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, equipos, sistemas y procesos que eliminen reduzcan o minimicen la liberación al ambiente y transferencia de uno a otro de sus elementos, de contaminantes provenientes de la gestión integral de los residuos también impone medidas de control, incentivos económicos, fiscales financieros y de mercado, que tengan por objeto prevenir o evitar la generación de residuos, así como sanciones que en su caso correspondan, entre otros, para el correcto cumplimiento de la normatividad. Hace evidente también su pretensión de colaborar en conjunto con las entidades federativas para la instrumentación de programas para la prevención y gestión integral de los residuos.

Para los estados, se les indica que deberán someter a consideración de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la construcción y operación de rellenos sanitarios para recibir asistencia técnica del Gobierno Federal para tal fin. Así mismo contempla el cobro por el manejo integral de los residuos sólidos urbanos.

También se prevé, por parte de los tres órdenes de gobierno, la realización de inventarios de generación de residuos sólidos urbanos, a la par de integrar inventarios de tiraderos de residuos o sitios en donde se han depositado clandestinamente residuos de diferente índole, para conocer su ubicación, origen, características y otros elementos útiles a las autoridades para desarrollar medidas tendientes a evitar o reducir riesgos. La integración de inventarios se sustentará en criterios, métodos y sistemas informáticos, previamente acordados, estandarizados y difundidos. (Artículo 39°).

En el Título sexto, referente a la prevención y manejo integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, el Artículo 97° establece que las normas oficiales mexicanas fijarán los requisitos para la ubicación de sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, ya sea en rellenos sanitarios o en confinamientos controlados. Tiene el enfoque especial de prevenir la formación de lixiviados y su migración fuera de las celdas de confinamiento, a su vez de señalar en qué casos está permitida la captación de biogás para su aprovechamiento. Los municipios regularán los usos de suelo de conformidad con los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano, en los cuales se considerarán las áreas en las que se establecerán los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

El Artículo 115° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos da el poder al municipio para manejar de forma autónoma sus residuos sólidos urbanos. Ello implica que las autoridades municipales tienen a su cargo las funciones y servicios públicos de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de los RSU.

Las entidades federativas tienen a su cargo participación en la gestión de los RSU. Si bien la gestión de los RME es responsabilidad directa de las entidades federativas, la regulación de la generación y manejo integral de los mismos estará de acuerdo con lo estipulado en la LGPGIR en el Artículo 9°, las disposiciones emitidas por las entidades federativas y demás disposiciones aplicables.

Conforme a esto, el Estado deberá llevar a cabo las siguientes acciones:

- Formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborara los programas en materia de RME.
- Expedir los ordenamientos jurídicos que permitan dar cumplimiento al manejo de los RME y a la prevención de la contaminación de sitios con dichos residuos y su remediación.
- Autorizar el manejo integral de los RME e identificar los que estarán sujetos a planes de manejo.
- Controlar los RP de micro generadores, así como imponer las sanciones que procedan, de acuerdo a la normatividad aplicable y lo que establezcan los convenios.

- Establecer el registro de planes de manejo y programas para la instalación de sistemas destinados a su recolección, acopio, almacenamiento, transporte, tratamiento, valorización y disposición final, presente a los lineamientos en la LGPGIR.
- Promover la creación de infraestructura para el manejo integral de RSU en las entidades federativas y municipios con la participación de los inversionistas y representantes de los sectores sociales interesados.
- Promover los programas municipales para la prevención y gestión integral de residuos de su competencia y prevención de la contaminación de sitios con tales residuos.
- Promover la investigación, desarrollo y aplicación de tecnologías para el manejo de residuos sólidos en donde se reduzca o minimice la liberación de contaminantes al ambiente.
- Promover la participación de los sectores privado y social en la gestión integral de residuos, así como prevención de la contaminación de sitios con estos residuos.
- Promover la educación y capacitación continua de personas o grupos.
- Coadyuvar en la integración de subsistemas de información nacional sobre la gestión de residuos sólidos.
- Suscribir convenios y acuerdos con cámaras de industriales, comerciales y de otras actividades para llevar a cabo acciones que den cumplimiento a la LGPGIR.
- Diseñar y promover el establecimiento y aplicación de instrumentos económicos, fiscales, financieros y de mercado para cumplir con los principios rectores de la LGPGIR.
- Regular y establecer las bases para el cobro por la prestación de servicios de manejo de residuos.
- Someter a consideración de la SEMARNAT los programas para el establecimiento de sistemas de manejo integral de RME y la construcción y operación de rellenos sanitarios.
- Determinar los indicadores que permitan evaluar el cumplimiento de la Ley.

- Por otro lado, conforme al Artículo 10° de la LGPGIR, los municipios tienen a su cargo las funciones de gestión integral de RSU conforme a las siguientes facultades:
- Formular, por sí o en coordinación con las entidades federativas, y con la participación de representantes de los distintos sectores sociales, los Programas Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos.
- Prestar, por sí o a través de gestores, el servicio público de manejo integral de residuos sólidos urbanos.
- Otorgar las autorizaciones y concesiones de una o más de las actividades que comprende la prestación de los servicios de manejo integral de los residuos sólidos urbanos.

- Establecer y mantener actualizado el registro de los grandes generadores de residuos sólidos urbanos.
- Verificar el cumplimiento de las disposiciones de esta Ley, normas oficiales mexicanas y demás ordenamientos jurídicos en materia de residuos sólidos urbanos.
- Participar en el control de los residuos peligrosos generados o manejados por microgeneradores, así como imponer las sanciones que procedan, de acuerdo con la normatividad aplicable.
- Coadyuvar en la prevención de la contaminación de sitios con materiales y residuos peligrosos y su remediación.
- Efectuar el cobro por el pago de los servicios de manejo integral de residuos sólidos urbanos y destinar los ingresos a la operación y el fortalecimiento de los mismos y las demás que se establezcan en la LGPIGR y normas correspondientes.

Así mismo, contempla (Articulo 2°, incisos VIII y IX) que la disposición final de residuos estará limitada a aquellos cuya valorización o tratamiento no sea económicamente viable, tecnológicamente factible y ambientalmente adecuada; aclarando que la selección de sitios para la disposición final deberá estar de acuerdo con las normas oficiales mexicanas y con los programas de ordenamiento ecológico y desarrollo urbano.

Se entiende por ***prevención*** de los residuos al conjunto de acciones que debe realizar la autoridad, tanto federal, como estatal y municipal, en corresponsabilidad con la comunidad, para disminuir la cantidad de RSU y RME generados, con el fin de que los trabajos relacionados con el servicio público de manejo integral de residuos sean realizados con eficiencia, los recursos humanos, técnicos y financieros puedan ser mejor administrados y los daños al ambiente puedan ser disminuidos.

La ***gestión integral*** de los residuos comprende todas las acciones que desarrolla la autoridad municipal para manejar y gestionar adecuadamente los RSU y RME de su comunidad. Por ejemplo: expedición de reglamentos de limpia, estímulos para la reducción de la basura, promoción de centros de acopio, gestión de recursos y apoyos, capacitación, etc.

Mientras que el **manejo integral** es la parte técnica de la gestión integral e incluye todos los aspectos relacionados con los RSU y RME, desde la generación, almacenamiento, barrido, recolección, traslado, tratamiento, aprovechamiento de materiales y disposición final.

Respecto a las normas mexicanas vigentes referentes al sector de residuos sólidos urbanos, se tienen las siguientes:

- **NOM-083-SEMARNAT-2003:** Que establece aparte Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación,

monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

- **NMX-AA-15-1985:** Muestreo – Método de cuarteo.
- **NOM-AA-22:** Protección al Ambiente-Contaminación del suelo – Residuos sólidos Municipales-Selección y Cuantificación de Subproductos.
- **NMX-AA-61-1985:** Protección al Ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos Municipales Determinación de la generación.
- **NOM-098-SEMARNAT-2002:** Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
- **NMX-E-233-CNCP-2005** : Norma elaborada por el Subcomité 9 de reciclado del comité técnico de Normalización Nacional de la Industria de plástico y emitida por el centro de Normalización y Certificación de Productos, A. C, (CNCP); establece términos relacionados con el reciclado de plásticos, con el objeto de unificar la terminología empleada en la industria del plástico.

En cuanto a reglamentos internos, se presenta el caso de Saltillo en donde para llevar a cabo la construcción de un relleno sanitario se rige bajo el Reglamento para el uso de Relleno Sanitario, el cual cuenta con 6 capítulos y 3 transitorios de la siguiente manera:

- Capítulo I: Disposiciones generales
- Capítulo II: en donde establece las características que debe cumplir el personas que ahí labora
- Capítulo III: funciones que debe cumplir el personal de vigilancia del relleno
- Capítulo IV: el papel de los pepenadores en el relleno, en donde por razones de seguridad tienen prohibido llevar a cabo realizar actividades de selección en ellos así como habitar el área
- Capitulo V: aquella persona que desee comprar residuos sólidos del relleno debe cumplir con documentación actualizada y expedida de lo contrario no podrán ingresar a hacer adquisición alguna
- Capítulo VI: características de las personas que tienen acceso al rellenos sanitario así como los deberes de éstas una vez dentro del relleno.

3. METODOLOGÍA APLICADA

Definir el alcance de la actividad así como la información requerida para cumplir con los objetivos del estudio.

Con base en el punto 1, se solicitó información oficial disponible del tema de estudio a la SEMARNAT para realizar la actividad 1.

Se realizó una búsqueda intensiva de información en bases de datos disponibles en internet (INE, SEMARNAT, INEGI, etc.) y en las páginas “web” de las 32 entidades federativas del país, con el fin de obtener datos sobre las tecnologías de tratamiento y disposición final de residuos sólidos.

Búsqueda de información de las direcciones de dependencias encargadas del manejo de los RSU en las 32 entidades federativas con la finalidad de poder contactarlas.

Con la información recabada en el punto cuatro, se hizo el envío de una carta solicitud a cada una de las dependencias encargadas del manejo de residuos sólidos en las 32 entidades federativas.

Dado que la mayoría de las dependencias en los estados no enviaron respuesta a la carta solicitud, se decidió establecer contacto vía telefónica con los responsables del manejo de los RSU en cada entidad federativa.

Elaborar un listado con los datos actualizado del (o los) encargado(s) del manejo RSU en cada una de las dependencias de las entidades federativas del país, con lo cual ha sido posible dar seguimiento a las solicitudes de información.

A la par de las actividades anteriormente mencionadas, realizar una investigación bibliográfica y de gabinete sobre generación, recolección, reciclaje, tratamiento y disposición final de los RSU en el país, así como de las tecnologías respectivas.

Se elaboraron las fichas técnicas de cada una de las tecnologías aplicables en el país, utilizando la información recopilada del invetario de proveedores y la recopilada en la bibliografía (libros y artículos).

La metodología usada para la evaluación técnica, económica, ambiental y social de las tecnologías para el tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos, se basa en la aplicación de la herramienta matemática “Análisis Jerárquico Multicriterio” (AHP).

Este método consiste en hacer la comparación entre dos o más alternativas para seleccionar la que ofrezca mejores posibilidades con respecto a las otras, evaluándolas con una serie de criterios. Fue desarrollado por T. L Saaty (Goicoechea, 2003); se basa en el concepto de comparar las preferencias de un analista por medio de matrices y autovalores (eigenvectores) para llegar a escoger una o varias alternativas en un problema de decisión.

De esta manera, para la aplicación de la metodología se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Se formo un grupo evaluador, conformado por personas del Instituto de Ingeniería responsables del presente estudio, con cualidades y puntos de vista diferentes, de tal manera que el problema se analizó desde diferentes perspectivas.

2. Se listaron las alternativas de solución identificadas y descritas en el presente estudio.

3. Se hizo un listado de variables técnicas, económicas, ambientales y sociales representativas, que caracterizan completamente los sistemas alternativos de tratamiento y disposición final.

4. Se establecieron los criterios de evaluación, a través de la aplicación del método de “Matriz de Impacto Cruzado” (MIC). Este método consiste en vincular las distintas variables en una matriz especialmente preparada para el caso de análisis. Las filas y columnas de la matriz corresponden a las variables que se identificaron en el tercer paso de esta metodología.

Para llevar a cabo esta evaluación se debe llenar una matriz de *nxn* casillas, y para llenarla se hace la comparación entre parejas de variables (influencia) de un elemento i sobre el elemento j. El estudio arroja como resultado el grado de influencia que existe entre todas las variables y si estas son directas o indirectas.

El trabajo consiste en calificar el grado de influencia y dependencia que existe entre estas variables, contestando a la pregunta ¿Qué relación existe entre la variable i y la variable j?. La calificación que se tiene como respuesta a esta pregunta se determina de la siguiente manera (Godet, 2000):

0, si no existe relación directa de causa-efecto entre las variables.
1, si existe relación directa débil entre las variables.
2, existe relación directa que es moderada entre las variables.
3, existe una relación directa que es fuerte entre las variables.

El valor se coloca en la casilla localizada en la intersección de la fila i y la columna j. La matriz se llena fila por fila hasta quedar completada.

De esta manera, se realiza la identificación de las variables estratégicas. Los resultados de la matriz se representan de manera gráfica. Estas matrices graficas se encuentran divididas en cuatro cuadrantes que definen el estado de las variables dentro del sistema.

Dado que se tiene un par de valores para cada variable, estos se representan en un plano influencia-dependencia. Para el caso de las filas el total se denomina Suma activa (SA) y para el caso de las columnas Suma pasiva (SP).

Seguidamente se procede a identificar las causas claves mediante la construcción del plano cartesiano, que consiste en un eje coordenadas (motricidad - dependencia), para ello se realizan los siguientes pasos:

- Se asocia un par ordenado (X_n, Y_n) a cada una de las causas, colocando la suma activa correspondiente en el lugar de las X_n y la suma pasiva en lugar de Y_n. De este modo el par ordenado de las C_n tiene asociado el par ordenado (SA_n, SP_n).
- Se construye un plano cartesiano colocando en el eje de las abscisas (X) los valores correspondientes de las sumas activas (SA_n) y en el eje de las ordenadas (Y) los valores correspondientes a las sumas pasivas (SP_n). Las escalas de cada uno de los ejes quedan definidas por los valores que se hayan obtenido en las respectivas sumatorias.
- Se ubican las causas en el plano como punto de coordenadas (SA_n, SP_n).
- Se calcula el promedio de la actividad del sistema dividiendo el número de las causas entre la suma total de la matriz gama.

Se divide el plano en cuatro cuadrantes, trazando líneas rectas a la altura del promedio de actividad en cada uno de los ejes y se ubican las causas de acuerdo a sus grados de influencia. De esta forma se obtiene el gráfico con cuatro cuadrantes que determinan las causas altamente motrices y dependientes sobre las cuales se centra al análisis (Grafica 1).

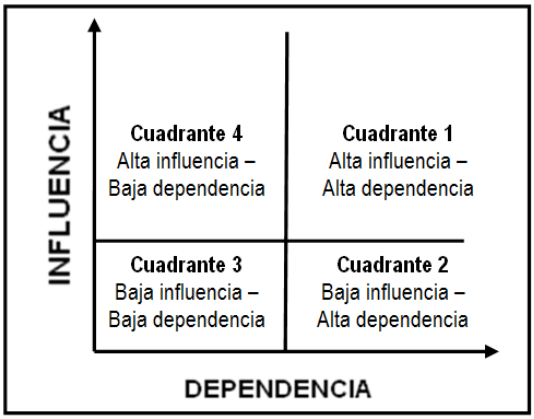
La ubicación de las variables en los cuadrantes queda definida de la siguiente manera:

CUADRANTE 1 (Alta influencia – Alta dependencia). Ubicado en la parte superior derecha de la gráfica, se ubican las causas que ofrecen soluciones temporales y paliativas para atender el problema.

CUADRANTE 2 (Baja influencia – Alta dependencia). Ubicado en la parte inferior derecha de la gráfica, incluyen aquellas causas que ofrecen solución inmediata netamente coyuntural.

CUADRANTE 3 (Baja influencia - Baja dependencia). Ubicado en la parte inferior izquierda de la gráfica, contiene las causas que no ofrecen soluciones reales al problema.

CUADRANTE 4 (Alta influencia - Baja dependencia). Ubicado en la parte superior izquierda de la gráfica, punto central de la acción, contiene las causas claves a atacar. Las variables que quedan ubicadas en este cuadrante, son los criterios de evaluación.



Gráfica 1. Ifluencia-dependencia.

El resultado de este método es la identificación de los criterios de evaluación (variables estratégicas - cuadrante 4) para la selección de las alternativas tecnológicas.

Se llevo a cabo la selección de la mejor alternativa tecnológica, haciendo uso del Software “Expert choice”, el cual permitió resolver las matrices y calcular los eigenvectores del “Análisis Jerárquico Multicriterio” (AHP).

Para ello, se cargaron datos en el software, realizando una comparación relativa de la preferencia de las tecnologías con respeto a cada uno de los criterios de evaluación.

De esta manera, el software arrojó el resultado de la alternativa tecnológica más idónea.

Por otra parte, también, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica de las tecnologías factibles para su acceso al mercado de bonos de carbono, y se elaboraron las fichas técnicas de dichas tecnologías, considerando la información que se obtuvo de las fichas técnicas de cada tecnología.

4. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

4.1. Investigación a nivel gabinete sobre las tecnologías aplicadas en el país.
4.2. Revisión bibliográfica sobre las tecnologías en otros países, analizando las condiciones de los residuos que han ingresado a dichas tecnologías para el manejo, tratamiento y disposición final de RSU.
4.3. Inventario de proveedores de tecnologías en México y la descripción que hacen de la aplicabilidad de la tecnología y costos.
4.4. Ficha técnica que considere la descripción de cada tecnología considerando: la capacidad, tipos de residuos a manejar, ventajas, desventajas y costos.
4.5. Evaluación técnica, económica, ambiental y social de cada tecnología identificada y descrita.
4.6. Selección de tecnologías por grupos representativos.
4.7. Tecnologías que pueden tener acceso al mercado de bonos de carbono, estableciendo los requisitos, procesos, tiempos y costos que implica.

4.1 Tecnologías de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos aplicadas en México

Dentro de las actividades a desarrollar como parte del estudio, en este capítulo se destaca lo relacionado con las *"Tecnologías aplicadas en el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos a nivel nacional"*.

4.1.1 Situación actual del las tecnologías de tratamiento

El tratamiento se define como el procedimiento mecánico, físico, químico, biológico o térmico, mediante el cual se cambian las características de los residuos sólidos y se reduce su volumen o peligrosidad (LGPGIR). Los métodos y tecnologías de tratamiento son parte integral del manejo de los residuos sólidos urbanos. Con ello se busca la recuperación de materiales, el rehúso y la reincorporación a procesos productivos. La optimización de los requerimientos para el manejo y la disposición final de aquellos que no son reutilizables.

En el cuadro1, se presenta una clasificación general los principales métodos y tecnologías de tratamiento por el tipo de proceso involucrado y el objetivo del tratamiento.

Cuadro 1. Clasificación de los métodos de tratamiento de los residuos sólidos.

a. De acuerdo al tipo de proceso que involucran

Procesos físicos
- Separación (manual o mecanizada)
- Trituración
- Separación magnética
- Compactación

Procesos químicos
- Hidrólisis
- Oxidación
- Vitrificación
- Polimerización

Procesos biológicos
- Composteo
- Digestión anaerobia

Procesos térmicos
- Incineración
- Pirólisis
- Esterilización
- Microondas

b. Conforme a los propósitos del tratamiento

Recuperación de materiales para reúso o reciclaje
- Separación (manual o mecanizada)
- Vitrificación
- Composteo
- Pirólisis

Recuperación de energía
- Digestión anaerobia
- Incineración
- Pirólisis

Tratamiento de agentes infectocontagiosos
- Incineración
- Microondas
- Esterilización

Fuente: (SEDESOL, 2001)

A continuación se hace una revisión del estado actual de las tecnologías de tratamiento que se llevan a la práctica a nivel nacional.

4.1.1.1 Selección y reciclaje

En este primer punto es importante precisar la diferencia que existe en algunos términos que comúnmente se manejan en este tema: "*residuo*" y "basura" así como entre "segregación" y "separación".

Los *"residuos"* son los desechos que generamos durante nuestras actividades diarias a partir del uso o consumo de diversos productos, mientras que el término *"basura",* es la mezcla de todos esos residuos en un mismo lugar (SEMADES-Gobierno de Jalisco, Guía de Reciclaje, 2008).

La *"segregación"* es la acción de separar los diferentes tipos de residuos en el momento de la generación para que estos no se mezclen y se conviertan en "*basura",* es una actividad que se realiza en los domicilios. Por otra parte, el término *"separación"*, se utiliza para referirse a aquella actividad o proceso que tiene por objeto separar los residuos sólidos mezclados y que se encuentran formando parte de la *"basura"*. Programa Municipal de Reciclaje 2008-2010).

Para lograr una recuperación eficiente es indispensable llevar a cabo primero una adecuada segregación de los residuos sólidos que se generan, y para lograrlo es necesario promover la práctica de la segregación a través de programas educativos. Con ello se reducirá significativamente los volúmenes de generación de basura y por ende, las dificultades que representa, la separación de los residuos sólidos y su disposición final.

La separación ya sea manual o mecanizada mediante el uso de equipo industrial (planta separadoras) tiene por objetivo la recuperación de materiales que pueden ser comercializados y tienen un valor agregado tales como el papel, cartón, vidrio, metales entre otros productos.

En cuanto a la separación se refiere, de acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos, queda definida como la acción de segregar los residuos sólidos urbanos, en orgánicos e inorgánicos, esta se inicia con el proceso manual en los vehículos recolectores, posteriormente continua en la plantas de selección o centros de acopio y finaliza en los sitios de disposición final.

Actualmente a nivel nacional empieza es una práctica común, en parte debido a que representa una fuente de ingreso económico para quienes la practican, por otro lado, como una medida implementada por los gobiernos municipales para optimizar el manejo de los residuos sólidos urbanos. En la figura 1 se observa la actividad de separación manual de residuos reciclables directamente en el vehículo recolector.

Figura 1. Selección manual de Residuos Sólidos Urbanos en los vehículos recolectores.

Un aspecto a destacar y el cual está asociado principalmente a las actividades de separación manual, es la presencia cada vez más notoria de *"centros de acopio"*, en donde se comercializa los residuos que tienen un valor agregado, debido principalmente a la situación económica del país.

A nivel industrial, existe en el mercado mexicano diversas empresas que comercializan plantas seleccionadoras de diferentes capacidades y características operativas para la selección mecanizada de los residuos. El uso de sistemas mecanizados para la separación con frecuencia está asociado a las empresas que tienen concesionado los servicios de disposición final. Existen sistemas de separación mecanizados que incluyen la participación de personal para llevar a cabo la separación de los residuos.

En la figura 2 se observa el proceso de la selección mecánico-manual de los residuos en la planta de separación del relleno sanitario Bordo Poniente. Las nuevas tecnologías de separación o plantas separadoras, incluyen novedosos sistemas de trituración y compactación que tienen como finalidad de reducir el volumen de los residuos sólidos y con ello maximizar la vida útil de los sitios de confinamiento.

Figura 2. Selección mecánico-manual de Residuos Sólidos Urbanos, planta Bordo Poniente (DGSU, 1994).

4.1.1.1.1 Entidades federativas que cuentan con tecnología para la selección de residuos sólidos urbanos.

El uso de tecnologías para la selección de los residuos sólidos particularmente se observa en ciudades y municipios importantes de las entidades federativas, como resultado de los volúmenes de generación y a los recursos económicos que se requieren para esta actividad.

Actualmente las entidades federativas del país cuentan con un número importante de centros de acopio y empresas encargadas de la separación y reciclaje. En el cuadro 2, se da una lista actualizada de aquellas entidades que reportan la práctica de separación con tecnologías industriales.

La cantidad y tipo de residuos que se recuperan en plantas de separación varía de acuerdo con el tipo de zona, el nivel socioeconómico, número de habitantes y actividades económicas que se realizan.

Debido a la creación de industrias con grandes capacidades de recepción, manejo y comercialización de residuos reciclables, los centros de acopio pequeños en su mayoría, están perdiendo mercado.

Cuadro 2. Plantas de selección y centros de acopio por entidad federativa.

Entidad	Plantas de selección		Centros de acopio	Fuente
	N°	Planta		
Aguascalientes	0	-	17	(◘)
Baja California	-	-	7	(*)
Baja California Sur	-	-	1	(☼)
Campeche	-	-	2	(☼)
Coahuila	1	-	5	(☼)
Colima	-	-	1	(☼)
Chiapas	1	Tuxtla Gutiérrez	9	(☼)
Chihuahua	-	-	20	(*)
Distrito Federal	3	San Juan de Aragón, Santa Catarina y Bordo Poniente.	39	(*)
Durango	0	-	3	(*)
Guanajuato	-	-	29	(☼)
Guerrero	0	-	2	(☼)
Hidalgo	-	-	2	(☼)
Jalisco	-	-	83	(◘)
Estado de México	1	Municipio de Naucalpan	55	(*)
Michoacán	-	-	4	(*)
Morelos	-	-	4	(*)
Nayarit	-	-	2	(*)
Nuevo León	1	Salinas Victoria	50	(*)
Oaxaca	-	-	10	(◘)
Puebla	1	-	18	(*)
Querétaro	1	Municipio de Mompaní	12	(◘)
Quintana Roo	-	-	3	(*)
San Luis Potosí	-	-	5	(☼)
Sinaloa	-	-	1	(*)
Sonora		-	6	(*)
Tabasco		-	1	(☼)
Tamaulipas	-	-	4	(*)
Tlaxcala	1	Municipio de Panotla	21	(◘)
Veracruz	-	-	10	(*)
Yucatán	1	Municipio de Mérida Ardich S.A. de C.V.	124	(◘)
Zacatecas	-	-	2	(*)
Total	11		552	

Fuente: (◘) Información oficial proporcionada por las entidades federativas resultados de este estudio.
(*) http://guia-sonora.guiamexico.com.mx/
(☼) http://www.proteccioncivil.gob.mx/AH/Asia/AHA_Mx2.pdf

4.1.1.1.2 Plantas de selección de residuos sólidos urbanos en México

Plantas de selección en el Distrito Federal

El Distrito Federal cuenta con tres plantas de selección de residuos sólidos: Bordo Poniente (PSBP), San Juan de Aragón (PSSJA) y Santa Catarina (PSSC) con una superficie del terreno de 37000 m^2, 34000 m^2 y 35,000 m^2 respectivamente (figura 3, 4 y 5). Las dos primeras iniciaron su funcionamiento en julio de 1994 con una capacidad instalada de 2000 Ton/día y la tercera en marzo de 1996 con una capacidad de 2500 Ton/día. Las tres procesan residuos sólidos urbanos mezclados con una velocidad promedio de operación (selección y recuperación) de 18 y 25 m/min.

Figura 3. PSBP (DFSU, 1994)

Figura 4. PSSJA (DGSU 1994)

Figura 5. PSSC (DGSU, 1996)

La planta de Bordo Poniente y San Juan de Aragón, cuentan con 4 líneas de proceso, Sata Catarina con 5. En estas se lleva a cabo la separación mecánico-manual y recuperan subproductos como papel, cartón, vidrio, plástico, metales ferrosos y no ferrosos, textiles, madera, aparatos electrónicos, electrodomésticos, residuos alimenticios entre otros. La capacidad máxima de personas por línea es de 56 para Bordo Poniente y de 76 para San Juan de Aragón y Santa Catarina, respectivamente.

Las tres plantas cuentan con báscula de 80 Ton, lo que permite determinar el peso de ingreso y rechazo de residuos que se disponen finalmente en el relleno sanitario de Bordo Poniente.

Las plantas fueron diseñadas con una vida útil de 15 años de operación, de tal manera que dos de ellas (PSBP y PSSJA) ya han cumplido el tiempo de vida útil y la tercera (PSSC) está próxima a cumplirlo (alrededor de dos años más). De acuerdo con información de los responsables de la operación de dichas plantas, las tres se encuentran aún en excelentes condiciones para seguir operando.

En el cuadro 3, se registran los datos de recuperación de residuos sólidos reciclables durante los años 2005, 2006 y 2007, de acuerdo a lo reportado por la Secretaria de Obras y Servicios y las respectivas Delegaciones Políticas.

En este cuadro se observa que el porcentaje de recuperación en la planta de selección de Bordo Poniente aumento en un 1%, pasando del 5% al 6% entre los años 2005 y 2007, mientras que San Juan de Aragón se mantuvo en mismo porcentaje de recuperación (8%), a pesar de haber tenido una baja del 1% en 2007.

Cuadro 3. Operación de las plantas de selección del Distrito Federal (2005 - 2007).

Planta	**Actividad**	**Total (Ton/año)**		
		2005	**2006**	**2007**
Bordo Poniente	Ingreso	42095	41783	42570
	Recuperación	2107	2256	2355
	Egreso	39988	39527	40215
	% recuperación	*5*	*5*	*6*
San Juan de Aragón	Ingreso	45462	43357	42398
	Recuperación	3470	3024	3420
	Egreso	41993	40333	38978
	% recuperación	*8*	*7*	*8*
Santa Catarina	Ingreso	39918	40907	40127
	Recuperación	8138	1859	2358
	Egreso	31780	39048	37769
	% recuperación	*20*	*5*	*6*
Subtotal	Ingreso	127,475	126,046	125095
	Recuperación	13714	7138	8133
	Egreso	113761	118908	116962
	% recuperación	*11*	*6*	*7*

Fuente: Inventario de residuos sólidos, 2007.

De acuerda a información proporcionada por la Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal, para el caso de la planta de selección de Santa Catarina el déficit reportado en la tabla anterior correspondiente al periodo de 2005 a 2007 se debe principalmente a datos erróneos, ya que por falta de información se realizaron estimaciones sin precisión durante el año 2005. Sin embargo los datos correctos que se reportan son a partir de 2006.

La figura 6 ilustra el proceso de selección de las plantas de selección del Distrito Federal, desde el ingreso del vehículo de transferencia con los residuos sólidos hasta la disposición final. La figura 7 la distribución de personal y recuperación de materiales en bandas de selección.

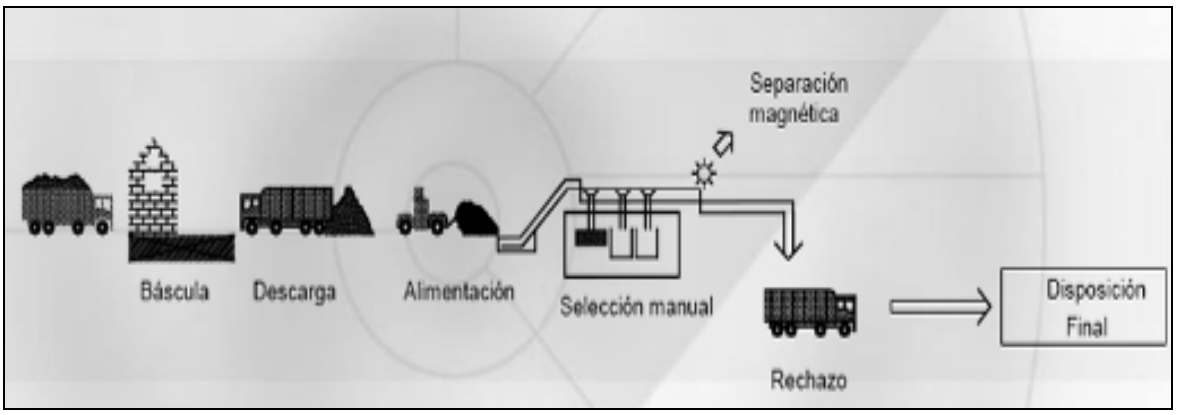


Figura 6. Proceso de selección de residuos sólidos urbanos en instalaciones del Distrito Federal.

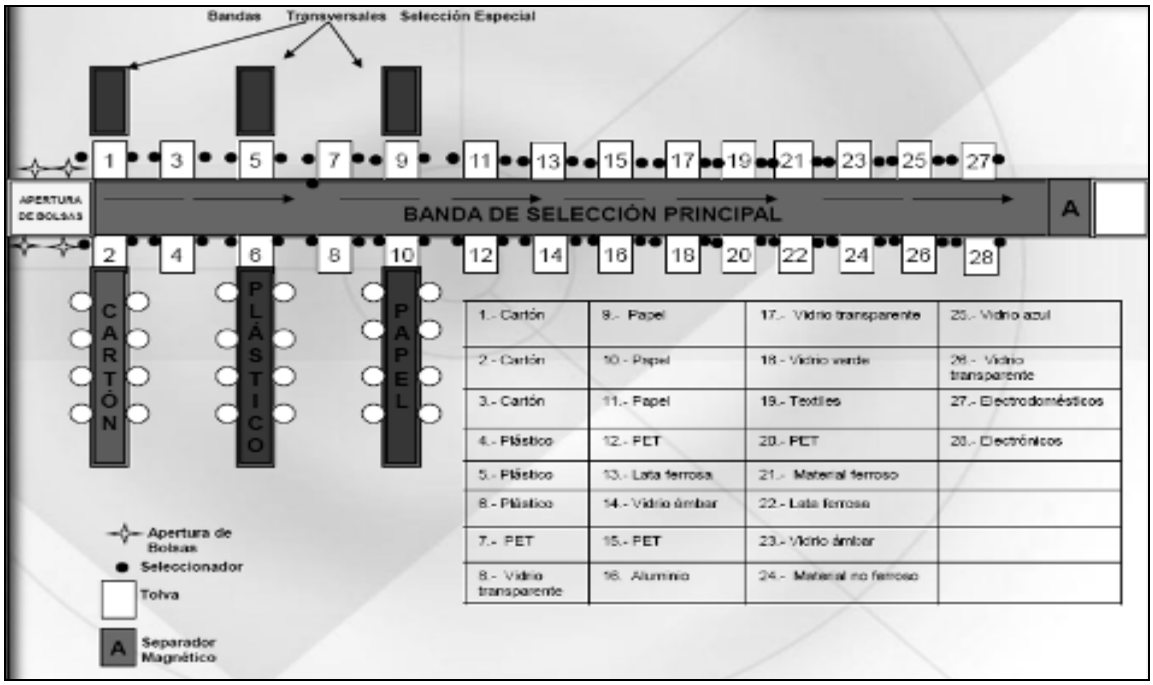
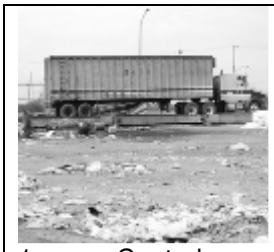


Figura 7. Distribución de personal y recuperación de materiales en bandas de selección.

En la figura 8 se observa el proceso de selección en la planta Bordo Poniente (PSBP). Se sabe que la vida económica de la infraestructura electromecánica de las plantas de selección está a punto de terminarse, sin embargo, hasta la fecha las tres plantas se han mantenido en funcionamiento.


1. Control y pesaje.

2. Descarga de residuos en patio de recepción.

3. Alimentación de los transportadores.

4. Transportador de tablillas alimentando residuos sólidos.

5. Transportadores de selección.

6. Clasificación de subproductos de separación.

7. Control y pesaje subproductos

8. Acondicionamiento y almacenamiento.

9. Clasificación y compactación de PET

10. Clasificación y trituración de PAD.

11. Vidrio blanco separado.

12. Metal ferroso separado.

13. Pacas de papel y cartón.

14. Pacas de PET blanco.

15. Residuos de rechazo.

16. Disposición final relleno en el sanitario Bordo Poniente.

Figura 8. Proceso de recuperación de residuos reciclables en la planta de selección Bordo Poniente (2009).

Planta de selección en Tlaxcala

La planta se encuentra ubicada en el municipio de Panotla, Tlaxcala es operada por Sistemas Ambientales Ecoeficientes, S.A de C.V (SAE), una empresa recicladora de papel y metales en México. Con un personal de 76 trabajadores formalmente contratados y quienes se encargan de la selección manual de los residuos reciclables. Cuenta con un cargador frontal de 5 toneladas con el cual mediante bandas transportan la basura para la posterior separación manual.

Debido a complicaciones en su funcionamiento la planta de separación recupera solo un 3% de residuos reciclables, se realizan pruebas de operación con el fin de corregir el fallo, una vez terminadas las pruebas, se espera que la planta arranque formalmente su operación y se incrementaría el porcentaje de recuperación hasta en un 12% (Coordinación de Ecología del Estado de Tlaxcala).

La cantidad recuperación y el tipo de residuos reciclables se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Recuperación de residuos reciclables en la planta de selección de Panotla, Tlaxcala.

Residuos reciclables	**Cantidad (Ton/mes)**
PET	6.0
Tetra Pack	3.0
Polietileno	3.0
Cartón	5.0
Plástico duro	2.0
Plástico soplado	6.0
Vidrio	6.0
Aluminio	1.0
Cobre	1.0
Bronce	0.5
Antimonio	0.3
Total	33.8

Fuente: Sistemas Ambientales Ecoeficientes (2009)

Es importante resaltar que de acuerdo a las estimaciones realizadas por la Coordinación de Ecología del Estado, en el sitio de disposición final (figura 9.) se está recuperando manualmente un 6% de de los residuos reciclables que llegan a confirmarse, los cuales son transportados posteriormente a centros de acopio (figura 10).

Figura 9. Recuperación informal de materiales en el relleno sanitario del municipio de Panotla, Tlaxcala.

Figura 10. Centro de acopio informal “La Estrella”, Tlaxcala.

Planta de selección en Querétaro

Un municipio de Querétaro cuenta con una planta de separación semiautomatizada ubica en las instalaciones del relleno sanitario en el municipio de Mompaní, en la capital del estado, en donde a partir del 20 de marzo de 2006 se lleva a cabo la clasificación de los residuos (figura 11).

Figura 11. Planta de selección en el municipio de Mompaní, Querétaro.

Para el manejo de esta planta se estableció un convenio con la empresa concesionaria Proactiva Medio Ambiente, MMA, S.A de C.V., para la entrega por parte de la administración municipal, de 50 toneladas diarias de residuos potencialmente reciclables en una primera etapa con posibilidad de ampliar a 100 toneladas.

En el cuadro 5, se registran los datos de ingresos al Municipio por la comercialización de los materiales reciclables y el ahorro estimado en la disposición de residuos en el relleno sanitario (Secretaria de Servicios Públicos Municipales - Dirección de Alumbrado Público, 2009).

Cuadro 5. Ingresos al Municipio por la comercialización de subproductos y ahorro estimado en la disposición final.

Año	Periodo	Cantidad (Ton)	Ingreso por venta ($)	Ahorro en la disposición final ($)
2006	Sep. – Dic.	273	103,369.30	35,394.23
2007	Ene. – Dic.	979	486,391.53	129,743.80
2008	Ene. – Dic.	1106	704,582.07	150,652.09
2009	Ene. – Feb.	217	106,541.45	32,450.78
Total		2574	1,400,884.35	348,240.91

Fuente: Secretaria de Servicios Públicos Municipales-Dirección de Alumbrado Público, municipio de Querétaro, 2009.

Hasta febrero de 2009 se habían aprovechado del orden de 4,195 Ton para el reciclado de vidrio, cartón y papel, plásticos, cartón laminado, aluminio, lo que permite dar cumplimiento a la legislación ambiental al limitar la disposición de los residuos en el relleno sanitario, para aquellos que económicamente y tecnológicamente no son factibles de ser tratados.

La separación y clasificación de los materiales han representado ingresos al Municipio de $1,400,844.35 por la comercialización de subproductos y un ahorro estimado de $348,240.00 en la disposición final en el relleno sanitario. Desde el punto de vista ambiental ha contribuido a la protección del medio ambiente con un ahorro energético equivalente a 8.1 millones de Kwatt/hora o el ahorro de 62 mil metros cúbicos de agua.

En el cuadro 6 se registra la cantidad de materiales recuperados en la planta de separación del relleno sanitario del municipio de Mompaní, en el periodo de octubre de 2006 a junio de 2008.

Los logros alcanzados en la recuperación de materiales reciclables se atribuyen en parte a los resultados obtenidos en los programas de separación. De tal manera que a través de dicho programa se ha recolectado un total de 22,137 ton de materiales potencialmente reciclables de los cuales 2591.62 ton tienen un valor agregado lo que representa en promedio un 11.71% de aprovechamiento.

Cuadro 6. Materiales valorables en la planta de separación del municipio de Mompaní, Querétaro.

Categoría	Periodo					
	1 oct. 2006 a 31 dic. de 2006		1 ene. 2007 a 31 dic. de 2007		1 ene. 2008 a 30 de jun. de 2008	
	Cantidad (Ton)	Porcentaje (%)	Cantidad (Ton)	Porcentaje (%)	Cantidad (Ton)	Porcentaje (%)
Cartón y papel	123.14	50.09	526.67	51.68	283.91	54.08
Plástico	51.02	20.75	199.83	19.61	102.92	19.61
Cartón laminado	12.28	5.00	54.68	5.37	22.63	4.31
Metales	10.29	4.19	56.40	5.53	30.60	5.83
Vidrio	49.10	19.97	181.55	17.81	84.90	16.17
Total	245.83	100.00	1,019.13	100.00	524.96	100.00

Fuente: Secretaria de Servicios Públicos Municipales-Dirección de Alumbrado Público, 2008.

Planta de de selección en el estado de Nuevo León.

La planta de selección de residuos sólidos de Salinas Victoria (fig. 12) fue inaugurada el 13 de marzo del 2000. Tiene instaladas 4 bandas en las cuales se lleva a cabo la selección manual de la basura que ingresa a dicha planta. Los residuos que se seleccionan en la planta son residuos sólidos urbanos, de los cuales se recupera aluminio, vidrio, cartón, papel, plásticos, laminados compuestos, y acero.

Figura 12. Planta de selección de Salinas Victoria, Nuevo León.

Fuente: SIMEPRODE

Figura 13. Clasificación de residuos en la planta del municipio de Salinas Victoria, Nuevo León. Fuente: SIMEPRODE, Gobierno del Estado.

Figura 14. Planta de selección de Salinas Victoria, Nuevo León. Fuente: SIMEPRODE, Gobierno del Estado.

4.1.1.1.3 Perspectivas a futuro de la selección y reciclaje en México

Actualmente empresas nacionales e internacionales ofrecen sistemas de selección y procesamiento de residuos urbanos, sin embargo, debido a los costos de adquisición de las tecnologías y la operación de las plantas, algunas entidades han optado por dar prioridad a programas de segregación y disminución de la generación de basura. Se busca también aprovechar al máximo la recuperación de materiales reciclables y disminuir los volúmenes de disposición final, dada la falta de presupuesto en la mayoría de los estados de la república.

Los nuevos rellenos sanitarios que actualmente se están construyendo y en otros que se encuentran en proyecto, se está instalando o se está contemplando la instalación de plantas de separación de residuos sólidos, con el fin de ampliar la vida útil de los sitios de confinamiento, así como promover la generación de empleo formal y minimizar la práctica de la pepena en los sitios de disposición final. En las nuevas disposiciones legales, la disposición final está limitada a aquellos residuos cuya valorización o tratamiento no sea económicamente viable, tecnológicamente factible y ambientalmente adecuada (Artículo 2. Capítulo VIII. LGPGIR).

No obstante las nuevas tecnologías de que se disponen en el mercado nacional, para la separación de residuos urbanos, los costos y los bajos rendimientos, suelen ser las principales limitantes para su implementación en la mayoría de los casos que se tienen conocimiento. Como se mencionó anteriormente la segregación de residuos en la fuente de generación, puede contribuir a la solución de esta problemática.

Un ejemplo de planta de selección en la cual se están recuperando los residuos reciclables con buenos resultados, es la planta del municipio de Mompaní, en el estado de Querétaro.

En el caso del estado de Aguascalientes, la perspectiva sobre las plantas de selección es que éstas no son lo suficientemente eficientes en comparación con costo que tienen como tecnología. Por lo que la Secretaria de Servicios Públicos y Ecología cuenta con un programa de segregación de residuos sólidos urbanos, con el cual se busca concientizar a la comunidad de esta entidad sobre la importancia de reintegrar al ciclo de vida útil los residuos que generan.

De esta manera cuentan con 13 centros de acopio en la ciudad ubicados en los centros comerciales para promover la separación y el reciclaje de residuos urbanos: Soriana, Mercado Soriana, Plaza San Marcos, Santa Anita, Villa Asunción, El Dorado, Comercial Mexicana, Casa Blanca, Casa Ley, Canteras de San Javier, Parque Hidalgo, Delegación Morelos y Col. Primo Verdad (Figura 15). En todos ellos se invita a la comunidad de lunes a viernes de 8:00 a 16:00 hrs. y sábados de 10:00 a 16:00 hrs., a llevar sus residuos plásticos, metal, papel y cartón, vidrio sin quebrar, Tetra Pack, pilas eléctricas, residuos electrónicos, entre otros.

Figura 15. Centro de acopio de la Dirección de Ecología y Salud ubicado en la tienda comercial Soriana (Aguascalientes, 2009).

De los recursos obtenidos a partir del acopio de material reciclable, se logró sacar adelante un programa conocido como “Acción Amiga”. Este programa opera en las colonias marginadas de la periferia de la ciudad y consiste en el intercambio de subproductos reciclables por alimentos de la canasta básica, con lo que se logra la participación de este sector de la población y se modifican los hábitos en la disposición de los residuos.

Actualmente la ciudad de Aguascalientes está llevando a cabo un programa para el “Reciclaje de Cartón Laminado” donde participan las empresas Tetra Pack, Gilsa-Leche San Marcos y la Fábrica de papel San José. De esta manera por la entrega de 10 envases de Tetra Pack se da a cambio un cuadernillo para colorear y con 15 envases, un cuaderno, ambos de papel reciclado tal como se observa en la figura 17.

Figura 16. Residuos reciclables en centros de acopio de la Dirección de Ecología y Salud (Municipio de Aguascalientes, 2009)

Figura 17. Productos del reciclado de cartón laminado. (Municipio de Aguascalientes, 2009)

4.1.1.2 Composteo de residuos sólidos urbanos

De acuerdo a la ley general de residuos sólidos del Distrito Federal queda definido como *composteo* el proceso de descomposición aerobia de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos específicos y por consiguiente *composta* al producto resultante del mismo.

En México el 53% de los RSU son de tipo orgánico, en tanto que el 28% son potencialmente reciclables como el papel y cartón (14%) y textiles (1%). El 19% son residuos de madera, cuero, hule, trapo y fibras diversas (fuente), materiales parcialmente reciclables aunque con mayor grado de dificultad (SEDESOL, 2004).

En este método los compuestos orgánicos son metabolizados y transformados por microorganismos bajo condiciones controladas de temperatura, oxígeno y humedad. Como resultado se obtiene materia orgánica estabilizada que puede ser reutilizada como mejorador de suelos y reincorporarse a la naturaleza.

Las primeras plantas de composta a partir de residuos sólidos urbanos datan de los años 1925 a 1930 en la India y Holanda. Los países que más usan esta tecnología actualmente son España, Francia y Suecia.

En México se han instalado aproximadamente 10 plantas industriales de composteo pero no han sido proyectos exitosos debido a problemas de mercado de la composta y a la falta de estudios técnicos orientados a determinar su viabilidad en la región de interés (SEDESOL, 2001).

4.1.1.2.1 Entidades federativas que practican el composteo

No obstante el poco éxito que se comenta en diferentes documentos y estudios acerca de este método de tratamiento, en varias entidades federativas reportan que cuentan con programas y sistemas de composteo. En el cuadro 7, se enlistan algunas plantas de compostaje y sitios donde se realizan prácticas de composteo en las diferentes entidades federativas de la república.

Cuadro 7. Plantas de composta y sitios con prácticas de composteo en entidades federativas de México.

Entidad federativa	Plantas de composta y sitios con prácticas de composteo	Situación actual	Total Activas
Aguascalientes	Aguascalientes	Activa	1
Colima	Comala “Eco Parque Nogueras”	Activa	1
Distrito Federal	Bordo Poniente	Activa	12
	Delegación Álvaro Obregón	Activa	
	Delegación Miguel Hidalgo	Activa	
	Delegación Milpa Alta (5 plantas)	Activa	
	Delegación Xochimilco	Activa	
	Centro de Educación Ambiental Ecoguardas	Activa	
	Centro de Educación Ambiental de Xochimilco	Activa	
	Unidad Habitacional Independencia en Magdalena Contreras	Activa	
	San Juan de Aragón	Cerrada	
	UAM Iztapalapa	Activa	
	Ciudad Universitaria UNAM	Activa	
	IPN	Activa	
	ITESM	Activa	
Guerrero	Acapulco	Nunca operó	0
Jalisco	Tonalá	Cerrada	3
	Zapopan	Cerrada	
	Centro Universitario de Ciencias Biológicas-CUCEI-Universidad de Guadalajara	Activa	
	Municipio de Tala / Ingenio Azucarero	Activa	
	Municipio de Tequila	Activa	
Estado de México	Cuautitlán Izcalli	Activa	20
	Centro de Educ. Ambiental Yauclika	Activa	
	Cuautitlán	Activa	
	Atizapán de Zaragoza	Activa	
	Capulhuac	Activa	
	Texcalyacac	Activa	
	San Lorenzo Huehuetitlan Tianguistenco	Activa	
	Xalatlaco	Activa	
	Amecameca	Activa	

	Nezahualcóyotl	Activa	
	Nicolás Romero	Activada	
	Tlalmanalco	Cerrada	
	Tultepec	Cerrada	
	Hueypoxtla	Activa	
	Tepetlixpa	Activa	
	Tultitlán	Activa	
	Cocotitlán	Activa	
	Apaxco	Cerrada	
	Huixquilucan	Activa	
	Universidad Tecnológica Fidel Velázquez	Activa	
	Universidad Autónoma Chapingo	Activa	
	Toluca	Activa	
Michoacán	Morelia	Cerrada	0
Morelos	Setzer	Activa	5
	TepozEco	Cerrada	
	Jiutepec	Activa	
	Tehuixtla	Cerrada	
	TIPMOR	Activa	
	Cuernavaca	Activa	
	Rancho Los Molinos	Activa	
Nuevo León	Monterrey	Cerrada	0
Oaxaca	Oaxaca	Cerrada	0
Quintana Roo	Cooperativa Orgánica del Centro Ecológico Akumal.	Activa	3
	Xcaret	Activa	
	Cancún – FONATUR	Activa	
Querétaro	Mompaní	Activa	1
Tabasco	Villahermosa	Nunca operó	0
Tlaxcala	Panotla	Activa	1
Veracruz	Programa integral Teocelo	Activa	3
	Jalapa	Activa	
	Ingenio Azucarero Motzorongo / Córdova	Activa	
Yucatán	Mérida	Activa	1
Total	---	---	**51**

Fuente: * Información proporcionada por responsables del manejo de RSU en estados de la República de México (Revisar el Directorio de Contactos anexo en el presente documento).
* Manual de Compostaje Municipal – INE – GTZ.
* UNAM – Dirección General de Obras y Conservación.

4.1.1.2.2 Plantas de composta en el Distrito Federal

La planta de composta de Bordo Poniente (figura 18) inicio actividades en 1998. Actualmente es la más grande de México, cuenta con una superficie de 12000 m^2 y se encuentra ubicada a un costado del relleno sanitario Bordo Poniente en la Autopista Peñón Texcoco Km 2.5. Zona Federal de Texcoco. Está administrada por la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal.

Figura 18. Planta de composta Bordo Poniente (DGSU, 2009)

Los residuos que se usan para la producción de composta provienen de algunas Delegaciones como Tláhuac, Azcapotzalco y Miguel Hidalgo, que tienen buenos programas de separación, también provienen de residuos alimenticios de la central de abasto y de la poda de áreas verdes de las delegaciones. La poda se tritura a través de una astilladora mecánica antes de ser integrada a las pilas, mientras los residuos de alimentos se incorporan directamente al área de compostaje. En la figura 19 se ilustra los componentes del proceso de composteo.

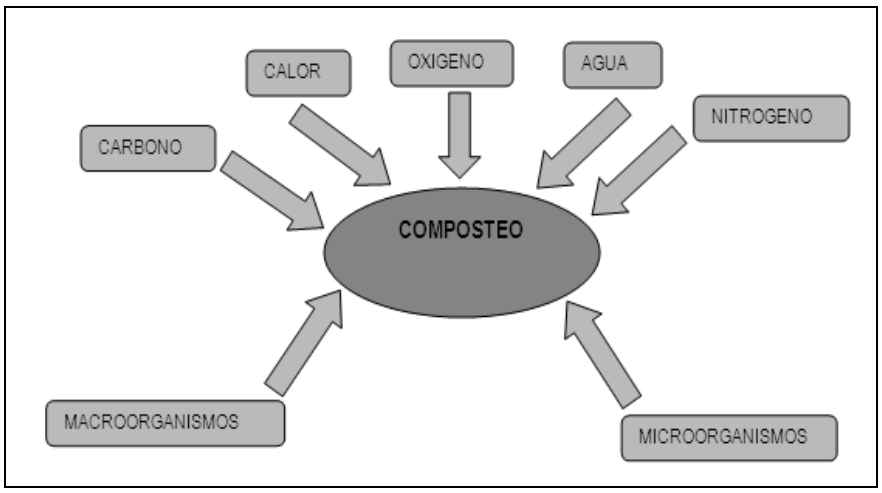


Figura 19. Componentes del proceso de composteo aerobio (DGSU, 2009).

La materia orgánica se coloca en 8 pilas de capas intercaladas con material de poda, residuos domésticos y lodos. Se airean, mensual o quincenalmente, mediante la ayuda de una volteadora. Se dispone de una pipa para regar las pilas y con ello proporcionar la humedad adecuada. La separación de bolsas de plástico y el cribado de material se realiza al final del proceso de compostaje.

La composta resultante es almacenada en el área de entrega y se criba cuando se entrega en costales o se usa en bruto para la regeneración de las pilas en área de composteo. En la Figura 20 se muestran la etapas del el proceso de composteo.

Actualmente la planta Bordo Poniente recibe 120 Ton/día de biomasa, de las cuales se producen 30 Ton/día de composta, ya que esta procesa el 25% de la biomasa que recibe por día (de acuerdo a información proporcionada por la Dirección General de Servicios Urbanos del D.F.), la falta de maquinaria causa retrasos en la producción, con el apoyo de maquinaria adicional la producción podría aumentar, a pesar de ello esta planta se considera como un caso de éxito en México. Existe un proyecto para aumentar la capacidad y el tamaño de la planta el cual está siendo valorado por las autoridades correspondientes del D.F.

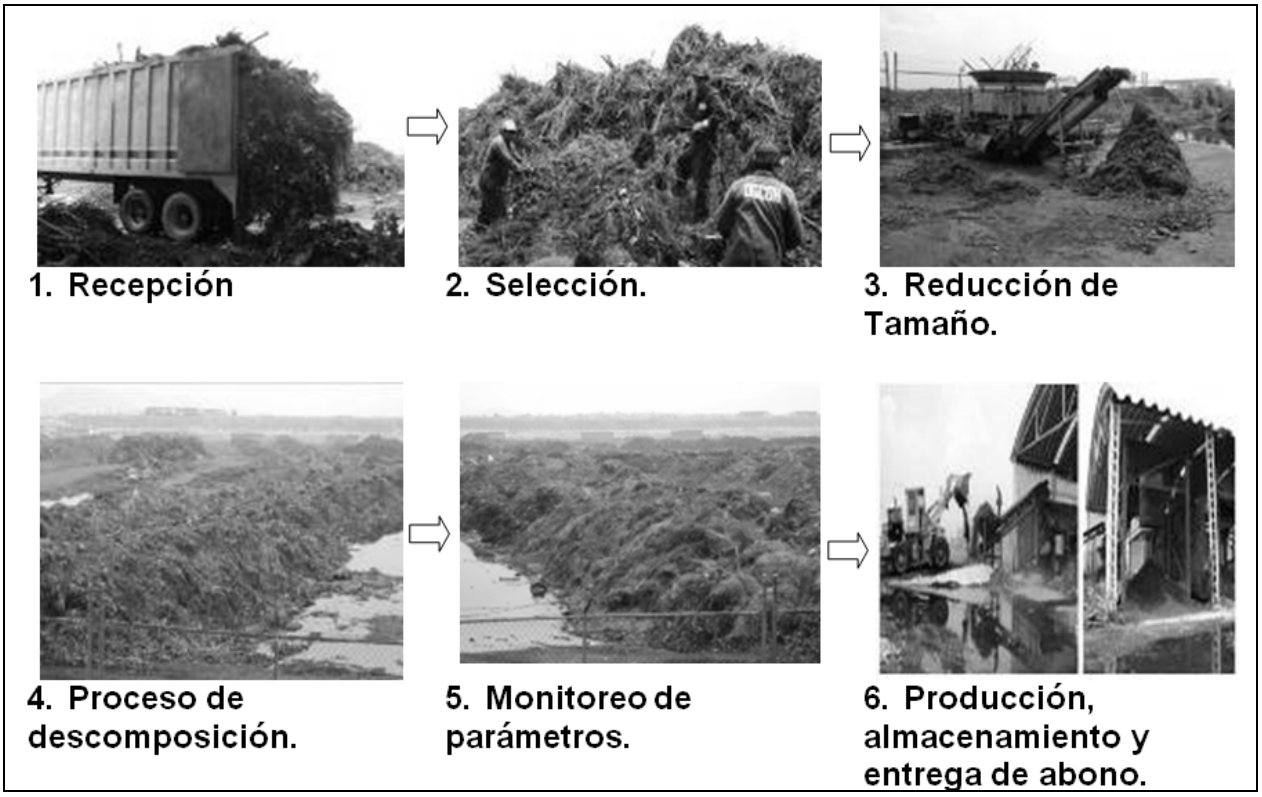


Figura 20. Etapas del proceso de composteo de residuos orgánicos en la planta Bordo Poniente (DGSU, 2009).

4.1.1.2.3 Perspectivas a futuro del compostaje en México

Aunque el composteo no se considera una tecnología que recupere económicamente la inversión que se realiza para la producción de composta, es notable que este proceso se está llevando a cabo en varias partes del país. Por un lado se busca recuperar y reintegrar los residuos orgánicos en suelos que se están deteriorando por la continua extracción que se hace para distintos fines; además de proteger el medio ambiente evitando la llegada de lixiviados a los cuerpos de agua, y todo tipo de contaminación causada por la inadecuada disposición final de los residuos orgánicos que se generan.

Algunas plantas fueron cerradas, entre ellas se encuentra la planta de composta de la delegación Miguel Hidalgo, posteriormente se reactivo demostrando interés en no permitir que desaparezca la producción de composta, a pesar de que algunos estados se enfocan en el confinamiento de los residuos orgánicos para el aprovechamiento del biogás y la generación de energía eléctrica.

4.1.1.3 Incineración y tecnologías de tratamiento térmico relacionadas

La incineración es una tecnología ampliamente utilizada en países desarrollados de Europa (Alemania, Inglaterra, Francia, España, etc.), Estados Unidos, Canadá y Japón, siendo este último de los que mayor número de plantas tiene en operación. El procesamiento térmico de los residuos sólidos urbanos se define como la conversión de los residuos sólidos en productos gaseosos, líquidos y sólidos fácilmente manejables para su disposición final, con la simultánea o subsiguiente emisión de energía en forma de calor (Tchobanoglous et al., 1994). No obstante, la generación de ciertos subproductos gaseosos al no manejarse adecuadamente, pueden causar la contaminación del ambiente, una de las principales causas de resistencia social que enfrente esta tecnología para su aplicación en el país y en otras partes del mundo, además de los costos del proceso.

Los sistemas en de procesamiento térmico puedes clasificarse con base a sus requisitos de oxígeno, en *incineración (combustión)*, *gasificación* y *pirólisis*. La incineración es el procesamiento térmico de los residuos mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno; lo productos finales incluyen gases calientes de combustión, nitrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua (gas de chimenea), y rechazos no combustibles (ceniza). Se puede recuperar energía mediante el intercambio del calor procedente de los gases calientes de combustión (Tchobanoglous et al., 1994).

La *gasificación* es el proceso de combustión parcial en donde un combustible se quema al propósito con una cantidad de aire menor al estequiométrico. Energéticamente es una técnica eficaz para reducir el volumen de los residuos sólidos con la recuperación de energía. La combustión parcial de material carbonoso da como resultado un combustible rico en gases con alto contenido de monóxido de carbono, hidrógeno y algunos hidrocarburos saturados, entre ellos el metano. El gas combustible puede quemarse en un motor de combustión interna, turbina de gas o caldera con cantidades adicionales de oxígeno (Tchobanoglous et al., 1994).

Por su parte, la *pirólisis* es el procesamiento térmico en ausencia de oxígeno. En ocasiones procesos de gasificación son llamados pirólisis. Ambos sistemas se utilizan para convertir los residuos sólidos en combustibles gaseosos, líquidos y sólidos. La diferencia principal consiste en que los sistemas de pirólisis utilizan una fuente de combustión externa para llevar a cabo las reacciones endotérmicas de pirólisis en un ambiente libre de oxígeno, mientras que la gasificación se realiza sin el aporte externo y usa aire u oxígeno para la combustión parcial de los residuos. Tres son las fracciones que se obtienen como subproductos de la pirólisis: una corriente de gaseosa (H_2, CH_4, CO, diversos gases), una fracción líquida (alquitrán o aceite conteniendo ácido acético acetona, metanol e hidrocarburos oxigenados complejos, y coque inferior, que consiste de carbono y materia inerte presente en los residuos (Tchobanoglous et al., 1994).

A nivel nacional no se tienen registros de plantas de incineración, gasificación, pirólisis o de plasma, de residuos sólidos urbanos que se encuentre en operación. Se

tiene reportes que existió el interés por instalar un incinerador móvil de gran capacidad en la frontera con los Estados Unidos, para el que se invirtieron entre 10 y 12 millones de dólares, sin embargo nunca se obtuvo el permiso para su funcionamiento y se detuvo el proyecto de construcción (SEDESOL, 2001).

4.1.1.3.1 Planta incineradora de residuos sólidos urbanos San Juan de Aragón, Distrito Federal.

Otro caso es la planta incineradora de la Ciudad de México la cual se instaló en el año de 1990 y que sólo se ha utilizado con fines experimentales (Figura 21). Se encuentra ubicada en el noroeste del predio que ocupa el complejo San Juan de Aragón, específicamente en la intersección que forman las avenidas 608 y 412 en la colonia de dicho nombre, delegación Gustavo A. Madero (figura 22)

Es conveniente indicar que el diseño y tecnología utilizada en la construcción de esta planta data de los años sesenta. Se actualizó con la instalación de un precipitador electrostático para el control de las partículas sólidas pero carece de equipos para el control de gases ácidos así como de dioxinas y furanos.

Figura 21. Planta incineradora de residuos sólidos de San Juan de Aragón, D.F. (DGSU)

Figura 22. Vista aérea de la ubicación de la planta incineradora de residuos sólidos de San Juan de Aragón, D.F. (DGSU)

La compañía que vendió la tecnología el equipo hace tiempo que salió del mercado. El proceso de incineración que se lleva a cabo en esta planta consiste en la incineración en masa de los residuos sólidos ("*mass burning*"), es decir, los residuos son quemados tal y como son recibidos en la planta. No obstante, deben poseer las características fisicoquímicas necesarias que requiere el proceso y diseño de la planta para su adecuada combustión, como son: poder calorífico inferior de 1,500 kcal/kg (auto-combustibles), un contenido de humedad menor de 50% y una parte combustible mayor a 25%.

Hasta donde se tienen información los incineradores nunca funcionaron y sólo se realizaron pruebas pre operativas. En tal virtud, no se solicitó la licencia de funcionamiento. Las pruebas pre operativas demostraron la inconveniencia de que funcionaran los incineradores, tanto por razones ambientales como por la oposición de la población avecindada en la zona.

Cuadro 8. Características de la planta incineradora de residuos sólidos urbanos San Juan de Aragón.

Ubicación	Av. 608 esquina con Av. 412, Colonia San Juan de Aragón.
Diseñador	Ofen Bau und Feuerungstechnik A.G. (OFAG).
Origen	Suiza.
Superficie	6,360 m^2
Capacidad de incineración	100 ton/día (50ton/día por línea).
Líneas de incineración	2
Líneas de operación	1
Tipo de proceso	Incineración en masa (mass burning)
Temperatura de operación	800-900 ºC
Tipo de residuos a incinerar	Sólidos municipales
Combustible auxiliar	Gas L.P.
Efluentes del proceso	Aguas residuales (apagado de cenizas). Escorias y cenizas. Cenizas y volátiles. Gases de combustión.
Puesta en marcha	Febrero 1990
Termino de pruebas pre operativas	Octubre 1990
Características de los residuos a incinerar	Parte combustible : >25% Humedad: <50% Cenizas: 10-35% Carbón fijo: <10% PCI: 1200 kcal/Kg

Fuente: DGSU (Dirección General de Servicios Urbanos).

4.1.1.3.2 Planta experimental de gasificación de residuos sólidos urbanos en Salinas Victoria, Nuevo León.

Otras tecnologías de tratamiento térmico que actualmente existen en el mercado Mexicano son la gasificación, la pirólisis y el plasma. Se han hecho estudios en entidades como Michoacán y Zacatecas para su implementación sin embargo hasta la fecha solo han quedado a nivel de proyecto.

El único ejemplo de que se tiene conocimiento es la planta experimental de gasificación de basura en Salinas Victoria, Nuevo León, ubicada en el Campo Experimental para Gasificación de Basura por medio del Arco de Plasma (Figura 23).

Figura 23. Campo experimental para gasificación en Salinas Victoria, Nuevo León.
Fuente: Caballero y Rivas, 2006.

La empresa TSS Internacional, S.A de C:V con la colaboración de algunos socios, ha desarrollado un proceso de gasificación asistida por arco de plasma, que presenta ventajas sobre otras opciones, en cuanto a los requerimientos de espacios reducidos para el manejo de la basura y la transformación total de contaminantes hasta su nivel elemental. Adicionalmente, el proceso genera gases combustibles y de alto poder calorífico para la generación de energía eléctrica, que asegura la auto-sustentabilidad del proceso (Caballero y Rivas, 2006).

La gasificación se define como la transformación térmica de residuos en una atmósfera reductora con la correspondiente producción de gases combustibles, lo cual se logran a altas temperaturas (5000 a 15000 °C) mediante el uso de arco de plasma.

Experimentalmente, se trabaja en proyectos para determinar la reducción de volumen y peso de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, procesándolos en una planta piloto basada en el proceso de pirólisis asistida con arco de plasma (Figura 24). Además de caracterizar la conversión de residuos municipales en combustibles gaseosos y probar la generación de energía eléctrica con diferentes combinaciones de materiales de desecho. Con esto se pretende una reducción del 90% del volumen de basura previamente clasificada

Figura 24. Planta piloto de gasificación de arco de plasma en Salinas Victoria, Nuevo León. Fuente: Caballero y Rivas, 2006.

En esta planta piloto el material a gasificar se deposita por la parte superior del reactor. Dentro de los materiales que se están tratando se incluye los desechos sólidos urbanos, comerciales y madera, sólidos industriales, líquidos orgánicos y llantas de hule. Las antorchas de plasma están estratégicamente ubicadas en interior del reactor, la alta temperatura y la ausencia de oxígeno, provoca que los compuestos orgánicos se transformen en productos gaseosos tales como CO, H_2 y N, Cl y S, cuando estos llegan al fondo del reactor.

Como parte de las pruebas experimentales se evalúa además de la gasificación de diferentes materiales, la reducción de volumen y peso de desechos sólidos, control de gases y valor calórico, emisiones de gases a la atmósfera, calibración del proceso y registro de datos.

Los resultados que se han obtenido durante las pruebas de calibración evidencian la reducción de un 90% el peso y volumen de residuos sólidos urbanos (basura casera, carbón y madera) como se muestra en la Figura 25.

Figura 25. Residuo del proceso de gasificación en la planta piloto de Salinas Victoria, Nuevo León.
Fuente: Caballero y Rivas, 2006.

Otro de los objetivos que se tienen en esta planta experimental, es caracterizar la conversión de los residuos municipales en combustibles gaseosos y probar la generación de energía eléctrica con diferentes combinaciones de materiales de desecho.

El gobierno del Estado tiene amplias expectativas a los resultados del proyecto, con el cual se espera con este resolver los problemas que aquejan a los municipios de esta entidad, con respecto al manejo de los desechos sólidos y su impacto ecológico. Por su parte, la iniciativa privada está al pendiente de los resultados, debido al alto costo de los energéticos y la disposición de sus desechos.

4.1.1.3.3 Aplicación y perspectivas a futuro en México

El tratamiento de residuos sólidos a través de la incineración es una tecnología que ofrece bondades en cuanto a que los productos que este proceso genere, pueden servir como combustibles sin embargo, es importante señalar que no existe el presupuesto necesario para llevar a cabo este proceso ofreciendo la seguridad necesaria en cuanto a la emisión de productos tóxicos como lo son las dioxinas y los furanos.

Como se comentó anteriormente, en el año de 1990 se comenzó el proyecto de una planta incineradora en el Distrito Federal la cual contaba con una tecnología poco actual (perteneciente a los años 60s), el proceso por el cual se incineraban los residuos es el llamado: *mass burning*, consiste en no separar los residuos e incinerarlos tal como llegan a la planta, este método no fue el más adecuado, pues la planta no contaba con las instalaciones necesarias para captar productos tóxicos de aquí que solo se realizaron pruebas pre operativas y por consiguiente no se solicitó licencia para su funcionamiento.

Actualmente México, un país en vías de desarrollo, busca nuevas tecnologías para tratar sus residuos especialmente por el proceso de incineración técnica necesaria para reducir en gran volumen los residuos urbanos generados, para ello se necesita de inversión en este sector para poder contar con tecnología que ofrezca las características necesarias que aseguren la salud de las comunidades que rodean la planta y por su puesto la calidad del ambiente, de tal manera que se pueda extender por lo menos a los estados con mayor producción de residuos.

Cabe señalar que en México existe la tecnología para el tratamiento térmico de residuos sólidos, sin embargo, sólo se está aplicando para tratar residuos peligrosos de tipo industrial y biológico infecciosos.

A partir de la publicación de la Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-1995, se desarrollo la infraestructura para el tratamiento de este tipo de residuos, con la condición de que dicha norma establece que los residuos denominados patológicos sean incinerados, sin embargo, muchas plantas han sido clausuradas por no cumplir con los parámetros establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.

Actualmente en México existen 21 plantas para incineración de residuos biológico-infecciosos y 13 plantas para incineración de residuos peligrosos industriales, con normatividad en regla distribuidas en 15 estados del país, siendo en el estado de Puebla en donde se concentra el mayor número de plantas incineradoras, tal como se muestra en el cuadro 9. En el cuadro 10 por otra parte se enlistas aquellas empresas que prestan los servicios de incineración de residuos biológico-infecciosos.

Cuadro 9. Plantas de incineración para residuos biológico-infecciosos y peligrosos industriales.

Estado	Plantas incineradoras para residuos	
	Biológico infecciosos	Peligrosos industriales
Aguascalientes	1	---
Baja california	1	1
Campeche	1	---
Coahuila	1	1
Colima	---	1
Distrito Federal	2	---
Guanajuato	2	---
Jalisco	3	1
México	1	2
Nuevo León	1	1
Puebla	5	1
Quintana Roo	---	1
Tabasco	1	---
Tamaulipas	1	1
Veracruz	1	3
Total	**21**	**13**

Fuente: SEMARNAT 2009

Cuadro 10. Empresas prestadoras de servicio para incineración de residuos biológico-infecciosos.

Empresa	Municipio	Estado	Tipo de residuo	Capacidad
Tecnología especializada en Reciclaje, S.A de C.V.	Tepeji del Rio de Ocampo	Hidalgo	Residuos peligrosos industriales (incluye biológico infecciosos)	35 ton
Ciba-Geigy Mexicana S.A de C.V.	Chapala	Jalisco	Residuos provenientes de empresas así como empresas farmacéuticas	173 ton
Waste Services S.A de C.V	Tenango del Valle	Estado de México	Residuos peligrosos industriales (incluye biológico infecciosos)	9 ton
Soluciones ecológicas integrales S.A de C.V.	Tlalnepantla	Estado de México	Incineración de residuos peligrosos (incluye biológico infecciosos)	13 ton

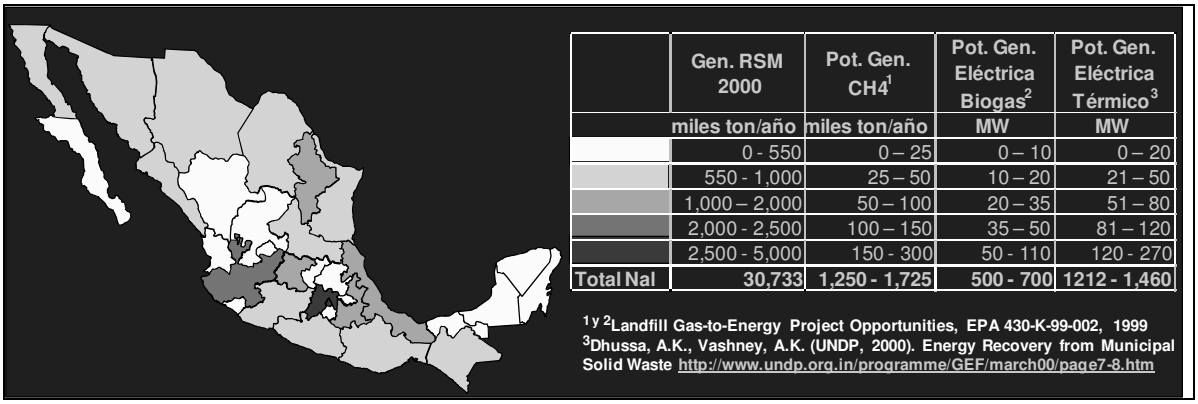
Fuente: SEMARNAT 2009

Dados los problemas que se tienen hoy en día en el Distrito Federal, en relación al agotamiento de la vida útil del Relleno Sanitario Bordo Poniente, en donde se disponen diariamente miles de toneladas de basura que se generan en la ciudad así como la carencia de áreas adecuadas para el emplazamiento de nuevos rellenos sanitarios, las tecnologías de tratamiento térmico empiezan a posesionarse como la posible solución.

En la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) y la correspondiente Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, dichas tecnologías están ya consideras como tales.

Expertos en el tema de los residuos sólidos urbanos como la Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos y Peligrosos (AMCRESPAC A.C), proponen la transformación y el aprovechamiento de residuos sólidos por medio de incineración y gasificación, como una medida al problema que se tiene en la zona metropolitana de la ciudad de México. Plantea el uso de dichas tecnologías como una oportunidad para revertir el problema en un beneficio social.

La Secretaria de Energía, estima que existe un potencial energético favorable que puede ser obtenido de los residuos sólidos urbanos en México, tal como se muestra en el mapa1.



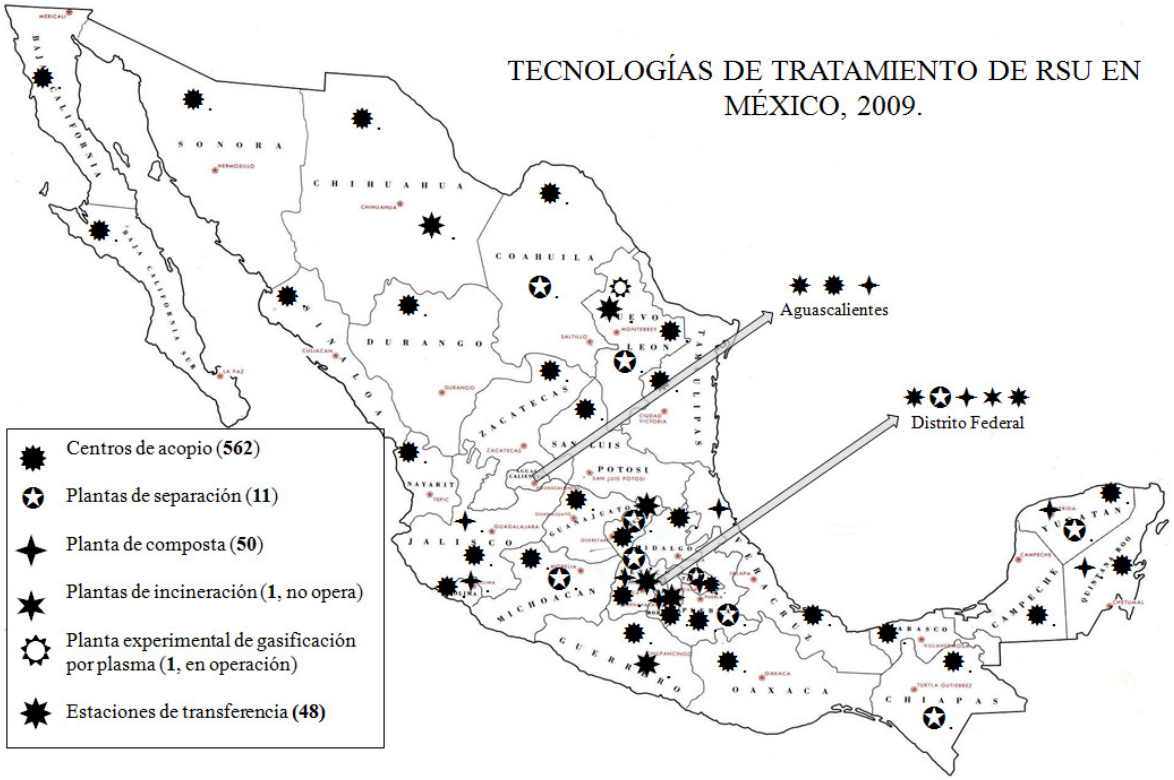
	Gen. RSM 2000	Pot. Gen. CH_4[1]	Pot. Gen. Eléctrica Biogas[2]	Pot. Gen. Eléctrica Térmico[3]
	miles ton/año	miles ton/año	MW	MW
	0 - 550	0 – 25	0 – 10	0 – 20
	550 - 1,000	25 – 50	10 – 20	21 – 50
	1,000 – 2,000	50 – 100	20 – 35	51 – 80
	2,000 - 2,500	100 – 150	35 – 50	81 – 120
	2,500 - 5,000	150 - 300	50 - 110	120 - 270
Total Nal	30,733	1,250 - 1,725	500 - 700	1212 - 1,460

[1] y [2]Landfill Gas-to-Energy Project Opportunities, EPA 430-K-99-002, 1999
[3]Dhussa, A.K., Vashney, A.K. (UNDP, 2000). Energy Recovery from Municipal Solid Waste http://www.undp.org.in/programme/GEF/march00/page7-8.htm

Mapa 1. Potencial energético de residuos sólidos urbanos en México. (SENER, 2003).

4.1.1.4 Resumen de la situación actual de las tecnologías de tratamiento en México

Como se muestra en el mapa 2, en las entidades federativas que se encuentran en el centro del país, se está aplicando el mayor número de las tecnologías para el manejo y tratamiento de residuos urbanos, destacando el Distrito Federal en donde se tienen instaladas y operando cuatro de las cinco principales tecnologías que actualmente se aplican en México.



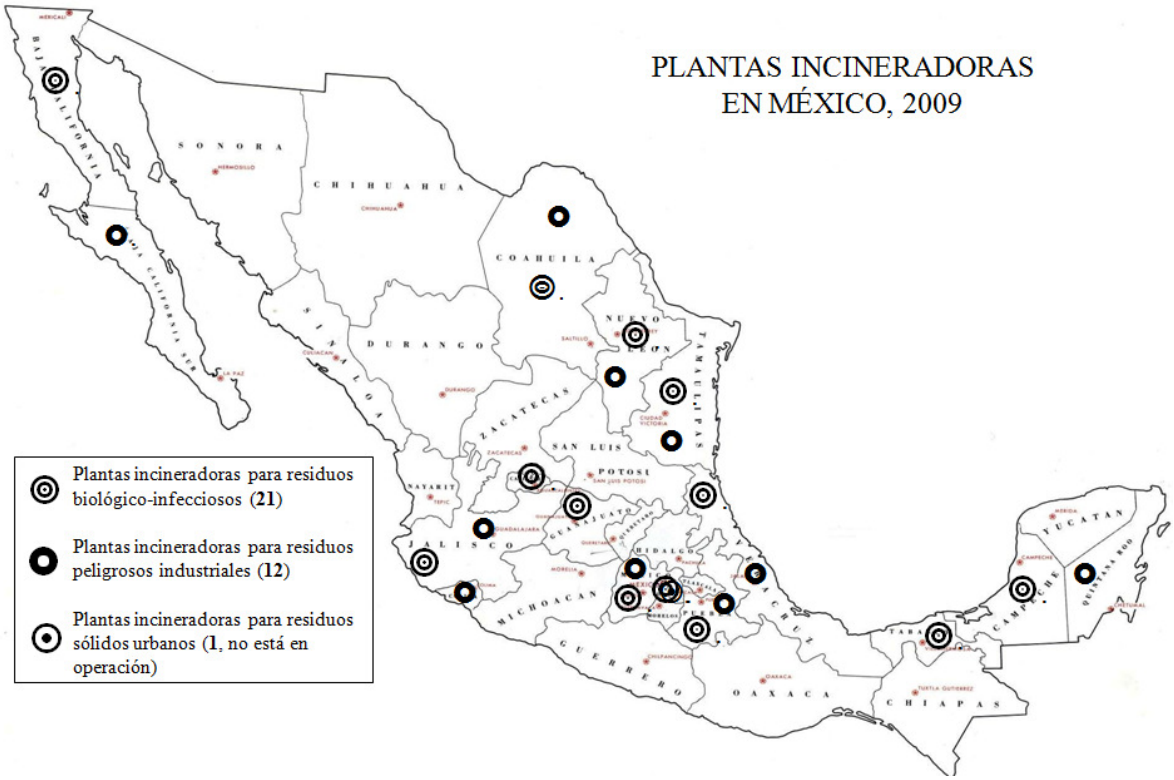
Mapa 2. Situación actual de la distribución de las tecnologías de tratamiento en México.

En orden de importancia por su aplicación destacan las siguientes tecnologías: plantas de composta, plantas de selección, estaciones de transferencia y finalmente la planta experimental de gasificación. Es importante resaltar que cada una de las entidades cuenta con al menos un centro de acopio de residuos para fines de reciclaje.

Las estaciones de transferencia y las plantas de selección mecánica-manual son en la actualidad las tecnologías de mayor aceptación a nivel nacional.

En cuanto a las tecnologías de vanguardia, como el tratamiento térmico en sus distinta modalidades (incineración, gasificación, pirólisis o plasma etc.), si bien existen empresas en el mercado mexicano que las promueven, actualmente sólo existe y a escala experimental, una planta de gasificación de Salinas Victoria, Nuevo León, en donde se experimenta el tratamiento residuos sólidos urbanos.

No obstante, cabe mencionar que existe un gran número de plantas incineradoras distribuidas a lo largo de la república Mexicana en donde se tratan residuos peligrosos industriales y residuos biológico-infecciosos (mapa 3).



Mapa 3. Ubicación de las plantas incineradoras en México.

4.1.2 Disposición final de los residuos sólidos urbanos en México

El "*relleno sanitario"* sigue siendo la opción técnica y económicamente más viable para la disposición final de residuos sólidos urbanos en el país. Es una tecnología que consiste en el depósito de los residuos sólidos municipales, en el menor espacio práctico posible, utilizando maquinaria pesada para la distribución, esparcimiento y compactación de los residuos, y para su cobertura se utiliza tierra al final del día. Es una infraestructura que debe contar con instalaciones básicas para la correcta operación y para el control de impactantes ambientales tales como el biogás, lixiviados, partículas, entre otros (Sánchez, 2006).

4.1.2.1 Rellenos sanitarios

La NOM-083-SEMARNAT-2003 los define como una obra de infraestructura que aplica métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, con el fin de controlar a través de la compactación e infraestructuras adicionales, los impactos ambientales. Esta norma, establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Es importante diferenciar los *"rellenos sanitarios"* de los "*sitios controlados*" de disposición final que sólo cumplen parcialmente con las especificaciones de norma, en lo que a obras de infraestructura y operación se refiere. Algunas de las especificaciones más relevantes que caracterizan a un relleno sanitario son:

La selección del sitio. No se deben ubicar los sitios dentro de áreas naturales protegidas, a excepción de los sitios que estén contemplados en el plan de manejo de éstas. No debe ubicarse en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, arqueológicas; ni sobre cavernas, fracturas o fallas geológicas. La distancia de ubicación del sitio de disposición final, con respecto a cuerpos de agua superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m como mínimo.

La impermeabilización de las celdas. Una restricción importante ya que garantiza la protección del agua subterránea. El valor mínimo del coeficiente de conductividad hidráulica es de $1x10^{-7}$ cm/s, que equivale a que el agua se tarde en atravesar la barrera impermeable 31.7 años; se puede lograr de forma natural o artificial.

La cobertura diaria de los residuos. Consiste de sello por encima de los residuos el cual debe de aplicarse diario para disminuir la creación de vectores (moscas, ratas, etc.) además de disminuir la infiltración de agua fluvial.

El control de agua pluvial y lixiviado. Con el desarrollo de obras se evita el ingreso de agua pluvial al relleno sanitario y la salida de agua contaminada fuera de este. En ocasiones se incluye una planta de tratamiento de lixiviados. Debe construirse un sistema que garantice la captación de extracción de lixiviado generado en el sitio. El lixiviado se debe recircular en las celdas de residuos confinados en función a los requerimientos de humedad para la descomposición de los residuos, o bien ser tratado, o una combinación de ambas.

El control de biogás. Una vez que la edad de los residuos propicien la generación de biogás y de no disponerse de sistemas para su aprovechamiento conveniente, se procederá a su quema ya sea a través de pozos individuales o mediante el establecimiento de una red con quemadores centrales. El control se lleva a cabo a través de obras que permiten el flujo de biogás de forma controlada; si no existe aprovechamiento de este se tiene que realizar la conversión a bióxido de carbono cuyo efecto invernadero es menor que el metano.

La barrera de amortiguamiento. Es una distancia mínima de 10 m a la redonda del límite del predio de los rellenos, donde se debe dejar un espacio libre de residuos y acondicionado con diferentes obras que permitan limitar los impactos: esto es, que los contaminantes se queden dentro del relleno.

Por otra parte, existen diferentes variables de rellenos sanitarios dependiendo del tratamiento previo que se le dé a los residuos sólidos que se van a confinar (Figura 26).

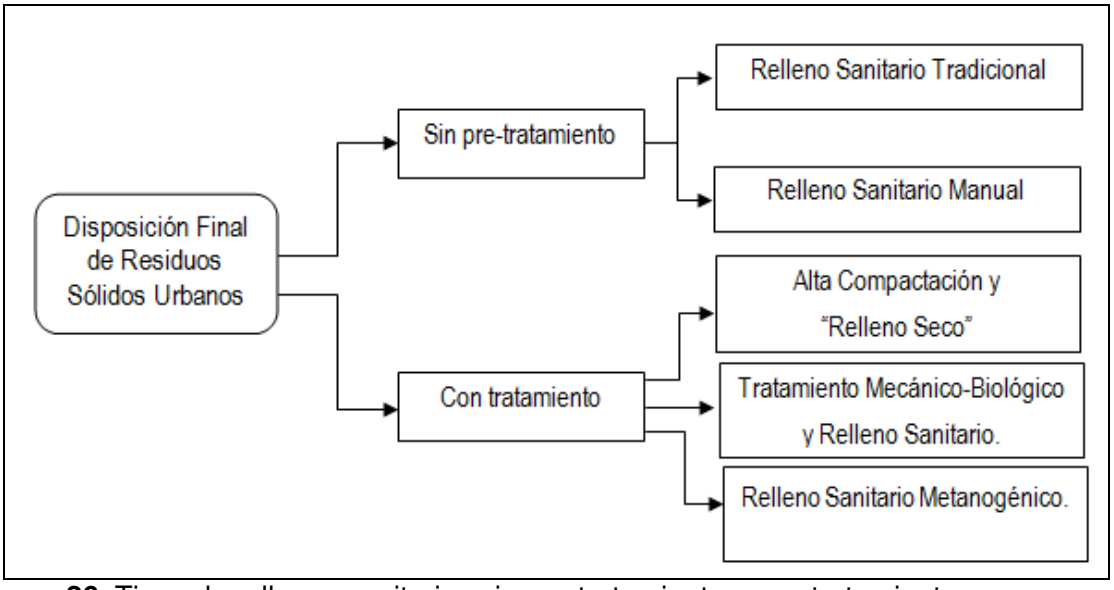


Figura 26. Tipos de rellenos sanitarios sin pre-tratamiento y con tratamiento.

Fuente: Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de México, 2009.

Los rellenos sanitarios sin pre-tratamiento de residuos pueden ser de dos tipos, el "relleno convencional" y el "relleno manual". Los rellenos sanitarios, con pre-tratamiento de los residuos, dependiendo del tipo de pre-tratamiento, pueden ser de tres tipos: *relleno sanitario seco*, *el mecánico biológico y relleno metanogénico o bio-relleno metanogénico*. Algunos aspectos que caracterizan a cada uno de los tipos de rellenos mencionados se describen a continuación.

a) Relleno sanitario convencional. Tienen estructuras que protegen el agua subterránea y superficial, el suelo, el aire y las actividades humanas cercanas, como lo especifica la NOM-083-SEMARNAT-2003.

b) Relleno sanitario manual. Es la obra más pequeña (<10 ton/día) para la disposición de residuos sólidos urbanos a la que hace referencia la NOM-083-SEMARNAT-2003 y rige bajo el mismo principio de un relleno tradicional, sólo que al ingresar una menor cantidad de residuos, los requerimientos de obra son menores. Este tipo de infraestructura ha sido probada en México para poblaciones pequeñas, aunque puede aplicarse en poblaciones con 15,000 habitantes.

c) Relleno de alta compactación o seco. En este caso los residuos son sometidos a un pre-tratamiento de alta compactación, para reducir el volumen y el contenido de agua de los residuos, lo cual se logra mediante prensas hidráulicas.

d) Relleno sanitario mecánico biológico. En este tipo de rellenos el pre-tratamiento consiste de dos etapas, la mecánica y la biológica. La primera se lleva a cabo en un tambor móvil o fijo para homogenizar los residuos como una etapa preparativa. Posteriormente, con los residuos homogenizados, se conforman pilas en donde se realiza la digestión aerobia de la materia orgánica, la cual puede durar hasta por periodos de nueve meses (Sánchez, 2006). Bajo este proceso de tratamiento se minimizan o eliminan la producción y liberación de subproductos o impactantes al ambiente.

e) Bio-rellenos metanogénicos. Consiste en fomentar la producción de biogás en las celdas con ayuda de la recirculación de un lixiviado procesado rico en microorganismos y complementos. Los costos asociados a las instalaciones adicionales son comparables con la alta compactación *y* el tratamiento mecánico biológico.

4.1.2.2 Entidades federativas que cuentan con rellenos sanitarios

La disposición final de los residuos sólidos municipales coincide en la existencia de rellenos sanitarios, que en la mayoría de los casos no cumplen con la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003. De esta misma manera se encuentra muy marcada la existencia de sitios controlados y tiraderos a cielo abierto en gran parte de

los estados del país. En el cuadro 11 se presenta un listado del número de rellenos sanitarios existentes por entidad federativa.

Cuadro 11. Rellenos sanitarios por entidad federativa hasta 2009.

Entidad Federativa	Número
Aguascalientes ⊙	1
Baja California ♦	3
Baja California Sur ♦	1
Campeche ♦	3
Coahuila ⊙	14
Colima ♦	2
Chiapas ♦	3
Chihuahua ⊙ ♦	33
Distrito federal ⊙	1
Durango ⊙	1
Guanajuato ⊙	12
Guerrero ♦	4
Hidalgo ⊙	4
Jalisco ⊙	40
México ⊙	10
Michoacán ♦	6
Morelos ⊙	1
Nayarit ⊙	3
Nuevo león ⊙	15
Oaxaca⊙	5
Puebla ⊙	21
Querétaro ⊙	5
Quintana Roo ♦	3
San Luis Potosí ♦	3
Sinaloa ♦	3
Sonora ⊙	11
Tabasco ♦	1
Tamaulipas ♦	6
Tlaxcala ⊙	4
Veracruz ♦	5
Yucatán ⊙	36
Zacatecas ♦	2
Total	**262**

Fuentes:

⊙ Información oficial suministrada por responsables de RSU en las diferentes entidades federativas. (Anexo-Directorio de Responsables de RSU en Estados de México).

♦ Estadísticas SEMARNAT, 2008.

De acuerdo a datos proporcionados por las dependencias encargadas del manejo integral de los residuos sólidos urbanos en algunos estados, los costos asociados a la disposición final en algunos rellenos sanitarios son como se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12. Costos de disposición final en rellenos sanitarios.

Entidad	Costo /Ton (M/N)
Aguascalientes	$230.00
Coahuila	$167.60
Distrito Federal	$ 60.00
Jalisco (Los Laureles)	$230.00
Jalisco (Relleno Sanitario Hasar's)	$260.00
Jalisco (Relleno Sanitario de Gen)	$220.00
Jalisco (Relleno sanitario de Zapotlanejo)	$145.00
Estado de México	$79.45
Tlaxcala	$12.98
Yucatán	$180.00

Fuente: Información oficial suministrada por responsables de RSU en las diferentes entidades federativas (Anexo-Directorio de Responsables de RSU en Estados de México).

4.1.2.3 Tecnologías del relleno sanitario en México

4.1.2.3.1 Rellenos sanitarios convencionales

En México existen un gran número de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, pero la gran mayoría no cumple con las especificaciones ambientales de norma NOM-083-SEMARNAT-2003. No obstante, la tendencia en todas las entidades de la república, es a realizar actividades encaminadas a mejorar las condiciones de sus sitios de disposición final para cumplir con la norma. De acuerdo a lo señalado por la SEMARNAT los mejores sitios de disposición final en el año 2009 son los que enlistan en el cuadro 13.

En la figura 27 y 28 se muestran imágenes de los rellenos sanitarios tradicionales de los municipios de Querétaro y Nuevo Laredo respectivamente.

Cuadro 13. Listado de los mejores rellenos sanitarios en México

Ubicación		**Operado por**
Salinas Victoria	Nuevo León	SIMEPRODE
Mérida	Yucatán	SETASA
San Nicolás de Arriba	Aguascalientes	Ayuntamiento
Naucalpan	Estado de México	PROACTIVA
Reynosa	Tamaulipas	PASA
Nuevo Laredo	Tamaulipas	SETASA
Tlalnepantla	Estado de México	PROACTIVA
Querétaro	Querétaro	PROACTIVA
Hermosillo	Sonora	TECMED
Torreón	Coahuila	PASA
Zapopan (Hasars)	Jalisco	HASARS
León	Guanajuato	PASA

Fuente: SEMARNAT – Julio de 2009.

Distribución y compactación de residuos

Laguna de evaporación de lixiviados

Impermeabilización de celdas con geomembrana.

Material para la captación de lixiviados: geotextil y tubos de PAD.

Figura 27. Relleno sanitario del municipio de Mompaní, Querétaro.

Celda de confinamiento

Caminos del relleno

Sistema de extracción de lixiviados.

Pozo de extracción de lixiviados.

Figura 28. Relleno sanitario del municipio de Nuevo Laredo, Tamaulipas.

4.1.2.3.2 Rellenos sanitarios intermunicipales

Actualmente en México se está manejando un concepto conocido como rellenos sanitarios intermunicipales o regionales. Este tipo de rellenos se crea a partir de la asociación de varios municipios que no tienen la capacidad de tener un sitio de disposición adecuado, y se realiza con la finalidad de reunir los recursos necesarios para construir un relleno sanitario que cumpla con las especificaciones de la norma NOM-083-SEMARNAT-2003.

Este sistema se está implementando en varios estados del país destacando el estado de Puebla con un total de 15 rellenos intermunicipales (cuadro 14). Se tiene información no confirmada de otras entidades federativas como Chihuahua, Guerrero, Hidalgo, Oaxaca, Tlaxcala y Zacatecas, entre otras, que también cuentan o están implementando rellenos intermunicipales.

Cuadro 14. Ubicación de algunos rellenos sanitarios intermunicipales y municipios a los que prestan servicio.

Entidad federativa	No. de sitios	Relleno sanitario intermunicipal	Municipios a los que presta servicio
Aguascalientes	1	San Nicolás	Aguascalientes, Asientos Calvillo, Cosio, El Llano, Jesús María, Pabellón de Arteaga, Rincón de romos, Sanfrancisco de romos, San José de García y Tepezalá.
Jalisco	3	Picachos Laureles Hasar's	Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto, Juanacatlán, Tlajomulco e Ixtlahuacan de los Membrillos.
Michoacán	3	Pátzcuaro-Zirahuén	Acuitzio del Canje, Erongarícuaro, Huiramba, Lagunillas, Pátzcuaro, Tzintzuntzan, Quiroga y Salvador Escalante
Puebla	15	Izúcar de Matamoros *	Atzala, Sn. Martín Totoltepec, Tilapa, Tepeojuma, Tlapanala, Xochiltepec, Epatlan.
Zacatecas	1	Zacatecas-Guadalupe	Guadalupe, Morelos, Vetagrande y Zacatecas.

* SMRN del estado de Puebla, Manejo Integral de residuos sólidos urbanos en el estado de puebla 2005-2011.

Figura 29. Relleno sanitario intermunicipal "San Nicolás" en el estado de Aguascalientes.

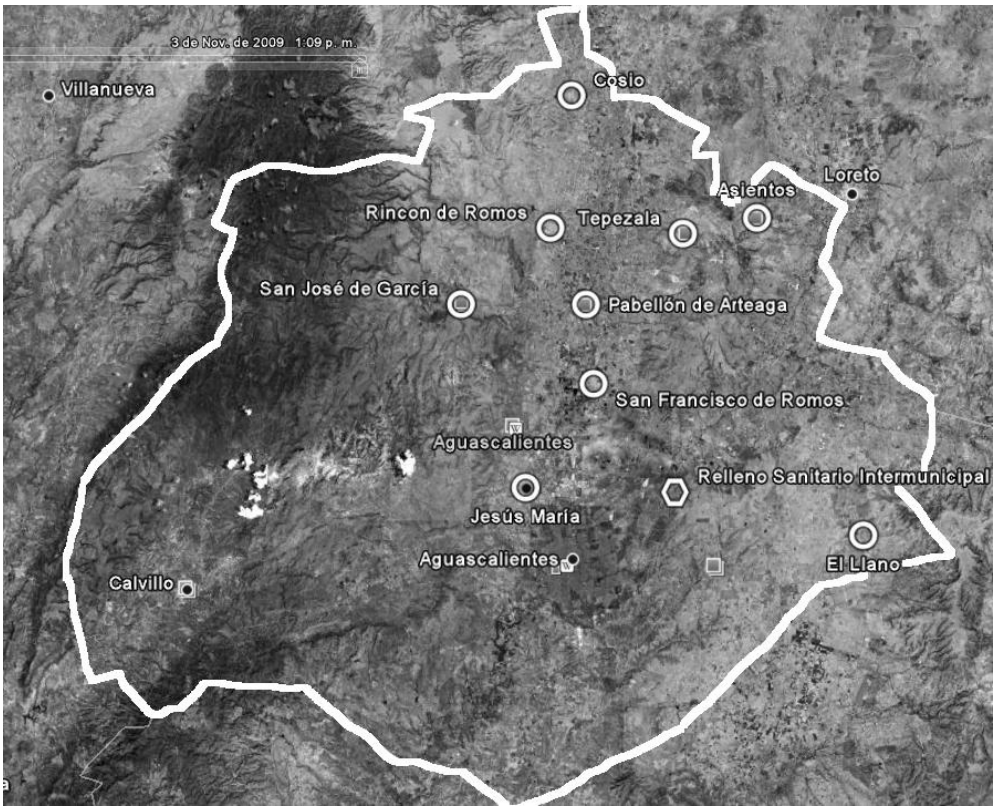


Figura 30. Ubicación del relleno sanitario intermunicipal “San Nicolás” y municipios a los que da servicio en el estado de Aguascalientes.

Fuente: Google Earth, <03/11/09 13:40>

4.1.2.3.3 Rellenos sanitarios secos

Esta tecnología incluye la instalación de una planta para la separación semi-mecanizada de subproductos reciclables. Los residuos sólidos no reciclables son sometidos a un proceso de alta compactación, formando pacas que son embaladas con material plástico y transportadas al sitio de disposición final, donde son colocadas en pilas sobre el terreno, para después cubrirlas con tierra del sitio. Las ventajas que atribuyen a esta tecnología es que los residuos compactados se pueden transportar a grandes distancias y se disminuye la formación de lixiviado, biogás y el desprendimiento de olores, los cuales se generan en los rellenos convencionales, además de incrementarse la vida útil del sitio de disposición. No obstante presentan la desventaja de prolongar el tiempo de descomposición de material orgánico sin la posibilidad de aprovechamiento del biogás, y con el inconveniente de que el monitoreo del sitio puede extenderse hasta por más de 20 años.

En México el relleno sanitario seco es una de las tecnologías de más reciente adquisición. Los rellenos sanitarios de Metepec y Ecatepec, en el estado de México, iniciaron su operación bajo dicho principio, sin embargo, presentaron problemas con el equipo de alta compactación por lo que continuaron operando como relleno convencional. El más reciente caso es en el municipio de Panotla, en el estado de Tlaxcala operado por la empresa Sistemas Ambientales Ecoeficientes, S.A de C.V (SAE) quienes reportan que el confinamiento a su cargo empezó a operar con esta tecnología a partir del 2008, con aproximadamente 98 Ton/día (Figura 31).

Figura 31. Celda de confinamiento de relleno seco en el municipio de Panotla, Tlaxcala.

4.1.2.3.4 Rellenos sanitarios mecánico-biológicos

Con el tratamiento mecánico-biológico se busca alcanzar un alto grado de estabilización de los residuos en una etapa previa, para minimizar el impacto ambiental que estos ocasionan durante la disposición final. Es frecuente que se utilicen indistintamente los conceptos de compostaje y tratamiento mecánico-biológico, pues en los dos casos se aplican técnicas parecidas. No obstante, existen diferencias en el objetivo que persigue cada método de tratamiento y el tipo de material que se procesa. En el compostaje el objetivo principal es la obtención un producto comercializable y de alta calidad, a partir de residuos orgánicos recolectados separadamente, lo cual influye y define la calidad de la composta. Con el tratamiento mecánico-biológico, se busca minimizar el impacto ambiental de la disposición final mediante la estabilización previa del residuo y el material a tratar son residuos sólidos urbanos mezclados.

En la figura 32 muestra la descripción general que se reporta de las diferentes etapas que conforman el tratamiento mecánico-biológico. En la etapa mecánica se

separan primero los materiales no deseados (ejemplo, piezas metálicas grandes) y materiales reciclables. Los desechos restantes se preparan para el tratamiento biológico posterior, éstos se trituran, mezclan y se les proporciona cierta humedad si es necesario. Durante la etapa biológica los residuos son estabilizados mediante procesos de degradación aerobia y anaerobia bajo condicione controladas.

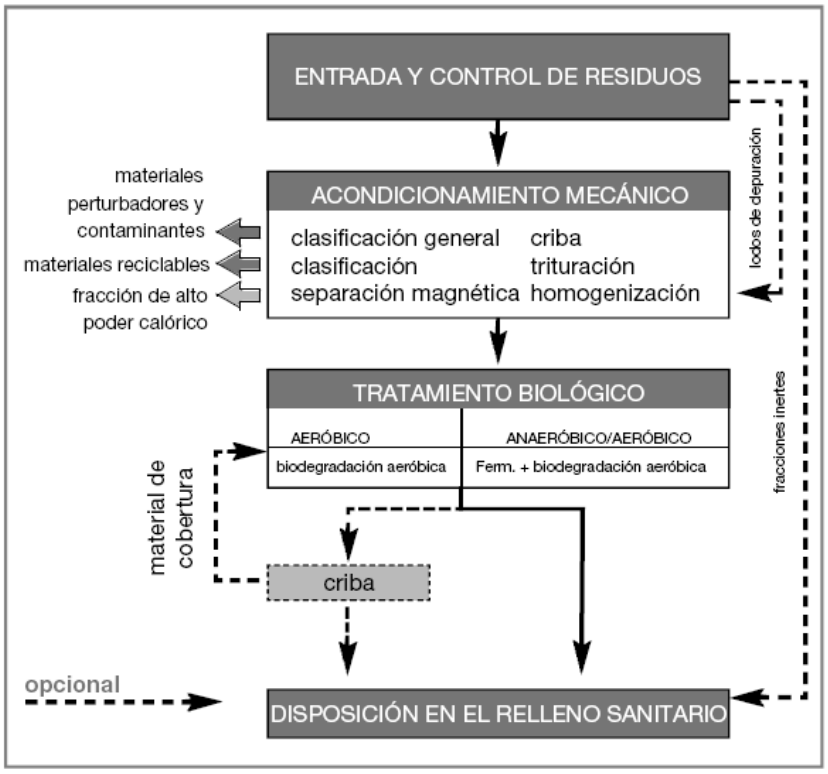


Figura 32. Etapas de un tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos. Fuente: GTZ, 2003.

Con el tratamiento mecánico-biológico el volumen de los residuos sólidos se puede reducir notablemente, mediante la biodegradación controlada del material orgánico, así como también las emisiones de gas y líquidos que emanarían posteriormente del material confinado en el relleno sanitario.

En la figura 33 se describe en forma esquemática el proceso de degradación aerobia de los residuos sólidos con sistemas de aireación pasiva.

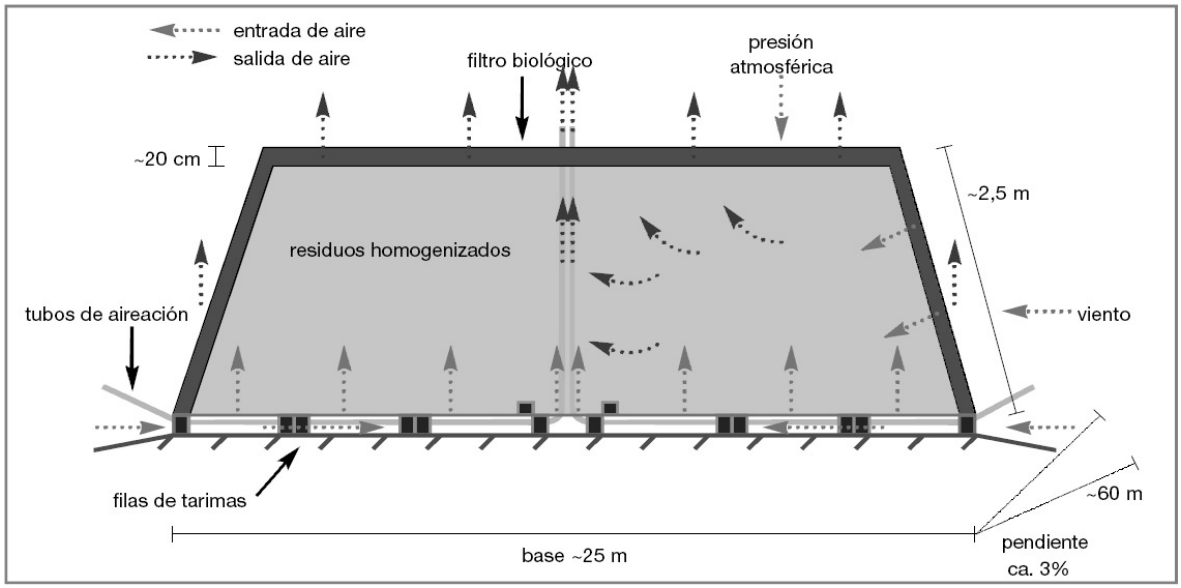


Figura 33. Degradación aerobia de residuos sólidos con aireación pasiva. Fuente: GTZ, 2003.

Durante 2002 en el municipio de Atlacomulco Estado de México, se puso en marcha un proyecto piloto para la implementación de una planta a escala industrial para el manejo de residuos sólidos urbanos, el cual estuvo a cargo de la empresa alemana FABER-AMBRA. El proyecto consideraba el reciclaje, la producción de composta y la disposición final con tratamiento de residuos mediante la tecnología del relleno sanitario mecánico-biológico con una capacidad instalada de 16000 ton/día, de acuerdo a información proporcionada por dicha empresa (figura 34).

Durante un año la empresa alemana operó este sitio, sin embargo, las nuevas autoridades municipales no le dieron la importancia necesaria al proyecto y no se renovó la concesión, de tal forma que la operación del relleno sanitario quedó a cargo del municipio a partir del segundo año de operación. Actualmente se desconoce la situación del relleno sanitario debido a que no se pudo contactar a los encargados de éste sitio.

Figura 34. Montaje de las pilas para el tratamiento biológico en Atlacomulco, Estado de México.
Fuente: GTZ, 2003.

4.1.2.3.5 Rellenos sanitarios con aprovechamiento de biogás y producción de energía eléctrica

El estado de Nuevo León cuenta con el relleno sanitario del Municipio de Salinas Victoria y el único sitio de disposición final en donde se está aprovechando el biogás para generar energía eléctrica. En Diciembre del 2003 inició la operación comercial de Bioenergía de Nuevo León S.A. de C.V. (BENLESA), en una sociedad mixta constituida por el Sistema Integral Para el Manejo Ecológico y Procesamiento de Desechos (SIMEPRODE) y Bioeléctrica de Monterrey S.A. de C.V. (BEMSA) empresa subsidiaria de grupo GENTOR. En la figura 35 se ilustra la Central de Biogás de SIMEPRODESO.

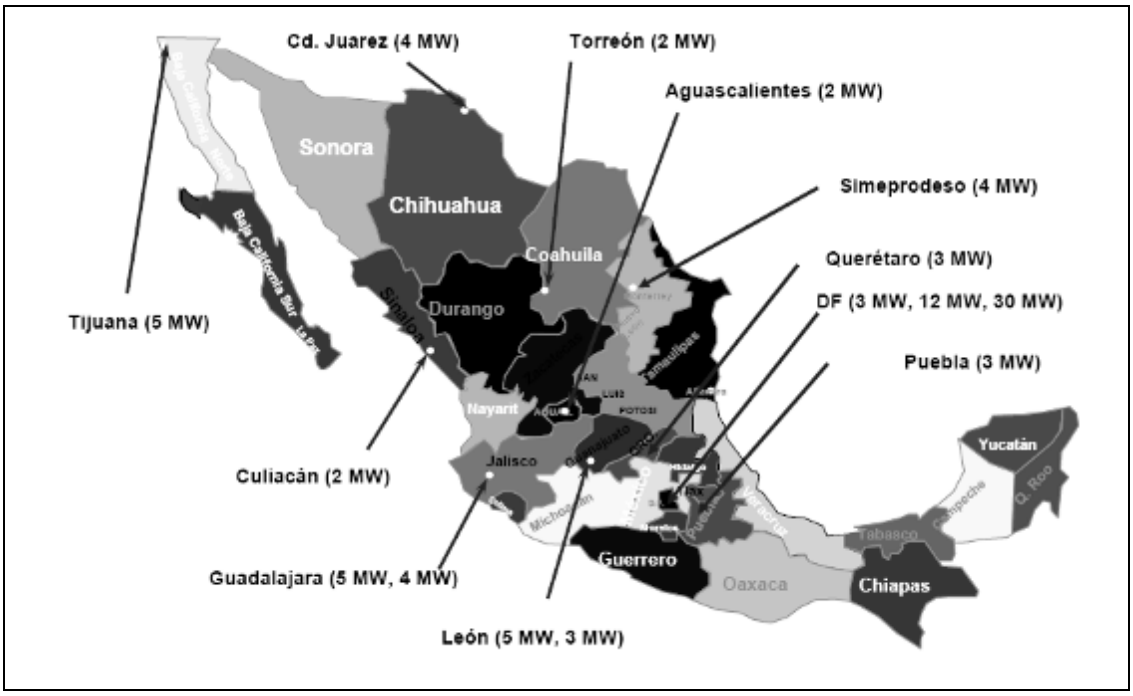
Figura 35. Central de Biogás SIMEPRODESO, Salinas Victoria, Nuevo León. Fuente: Sistemas de Energía internacional S.A. de C.V. (SEISA), 2005.

La primera y segunda fase, Monterrey I y II cuenta con una capacidad de generación de 12.72 MWh y se ha evitado la emisión de 61,851 toneladas de gas metano, equivalente a 1, 299,497 toneladas métricas de bióxido de carbono al generar 309,566 MWh de electricidad.

Esta instalación tecnológica tiene las siguientes características:

- *Capacidad Instalada:* 12.72 MWh
- *Tecnología:* 12 moto generadores GE-Jenbacher JS-320.
- *Combustible:* Biogás de Relleno Sanitario (Metano-CO2)
- *Número de Pozos:* 465
- *Volumen de Extracción de Biogás:* 7,800 m^3/hr.
- *Área de Extracción:* 100 hectáreas.
- *Volumen de Residuos Sólidos del proyecto:* 15 millones de toneladas.

A partir de estudios realizados a nivel república se han identificado otras entidades federativas con potencial para realizar proyectos de biogás, tal como se muestra en el mapa 4 (SEISA, 2005).



Mapa 4. Entidades federativas con potencial para realizar proyectos de aprovechamiento de biogás y producción de energía eléctrica.

Fuente: Sistemas de Energía internacional S.A. de C.V. (SEISA), 2005.

4.1.2.4 Perspectivas a futuro del relleno sanitario en México

Aguascalientes. El relleno sanitario de San Nicolás, tiene en marcha un proyecto para la generación de energía a través del aprovechamiento del biogás producido, se estima que la producción inicial será de 2 a 3 MW y se espera incrementar la capacidad de generación energética. Se pretende impulsar programas de segregación a través de centros de acopio para promover la participación de la población y darle un valor agregado a los residuos generados.

Durango. Existen planes de construcción de nueve rellenos sanitarios convencionales (uno tipo "A" y ocho tipo "C") durante este año y siete rellenos (uno tipo "A", dos tipo "B" y cuatro tipo "C") el próximo año, de los rellenos en construcción durante este año, uno de ellos (Gómez Palacio) está por iniciar operaciones bajo la concesión de la empresa PROTERRA.

Guerrero. El gobierno está proponiendo la construcción de rellenos sanitarios como Costa Grande, Zona Norte, Costa Chica y Tierra Caliente, a través de la Asociación de Municipios. Durante el 2009, se tiene contemplado iniciar con la

construcción de un relleno sanitario intermunicipal de la Costa Grande, con centros de transferencia en Tecpan y San Jerónimo.

Jalisco. En dos rellenos se está trabajando en el aprovechamiento de biogás, a través de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), ambos operados por la empresa particular denominada Hasar's, S.A. de C.V. A partir del 20 agosto del presente año inicia la construcción y operación del relleno sanitario Metropolitano Poniente Picachos.

Morelos. En el estado de Morelos en abril de 2009 fue aprobada la puesta en operación del bio-relleno metanogénico para el municipio de Temixco el cual será ubicado en el poblado de Tetlama.

Nayarit. Se tienen en construcción 4 rellenos sanitarios en los municipios de: Tepic - Jalisco, Santiago Ixcuintla – Ruiz, Acaponeta – Tecuala y Bahía de Banderas.

Yucatán. En la ciudad de Mérida ya se cuenta con un quemador de biogás, y está en proceso de certificación para el aprovechamiento de los bonos de carbono.

En los estados de la república se está optando por la asociación intermunicipal para crear un relleno sanitario que pueda cumplir con la norma y les permita tener una disposición final de sus residuos adecuada, y por otra parte existe la tendencia de aprovechamiento del biogás para la generación de energía eléctrica.

4.1.2.5 Resumen de la situación actual de la disposición final de RSU en México.

La mayor parte las entidades federativas utilizan el “relleno tradicional” para la disposición final de residuos (mapa 5). Una parte importante de los sitios de confinamiento cumplen con la NOM-083-SEMARNAT-2003 o bien se encuentran en proceso de cumplirla. En el estado de Morelos, en abril del presente año fue aprobada la operación de un relleno metanogénico y en el estado de México, estuvo en fase de prueba, la operación de un relleno mecánico-biológico a cargo de la empresa Alemana FABER-AMBRA. En el municipio de Panotla, Tlaxcala se encuentra operando el único relleno sanitario seco, el cual es operado por la empresa Sistemas Ambientales Ecoeficientes, S.A de C.V (SAE). Actualmente en el relleno sanitario de Salinas Victoria se está produciendo energía eléctrica a partir de biogás, y existe el interés de otras cuatro entidades más por el aprovechamiento de biogás.

Mapa 5. Ubicación de sitios de disposición final en México.

4.2 Revisión bibliográfica sobre las tecnologías en otros países analizando las condiciones de los residuos que han ingresado a dichas tecnologías para el manejo, tratamiento y disposición final de RSU.

En este capítulo se analizó la información de los 5 continentes poblados, los cuales se distribuyen políticamente en 198 países. El continente con mayor número de países es África con 54, seguido de Europa con 49, Asia con 43, América con 36 y Oceanía con 16. De todos estos países en el presente capitulo solo se analizan los que tienen reportes en cuanto al manejo, tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos o Municipales.

1. *Situación actual en el Continente Americano.*

a) Manejo

i) América del norte

En Canadá en general la reducción, generación, recuperación, transportación y disposición constituyen los cinco segmentos que integran el manejo de los residuos sólidos municipales (Asase, 2009).

Los objetivos de un manejo adecuado de Residuos Sólidos Municipales ha sido la protección de salud y al ambiente, conservando los recursos y la reducción de residuos tanto como sea posible (Asase, 2009).

La ciudad de Londres exhibe un buen sistema de manejo de residuos, porque adopta una estrategia de mejoramiento continuo para la administración ó manejo de desechos, determinando resultados a corto y largo plazo, así como un monitoreo del progreso y encontrando maneras de mejorarlo y haciendo a un lado los pasos innecesarios para el sistema (Steblin y Stanford 2008).

Sin embargo, este país esta enfocado al tratamiento de residuos por medio de la incineración (Knox, 2005). Solo el 40 % llega a los Rellenos Sanitarios (Asase, 2009).

En el caso de Estados Unidos, el manejo de desechos sólidos se basa en la ley de Disposición de Desechos Sólidos (SWDA, Solid Waste Disposal Act, 1969) reformada la frase: Residuos Sólidos Municipales, se utilizan en referencia a los desperdicios, a la basura generada en las entidades residenciales y no residenciales distinguiendo estos de los desechos líquidos o semilíquidos de lodos de aguas residuales y similares (Knox, 2005).

Parte de la basura es recobrada a través del reciclado y la composta; y otra parte convertida en energía en forma de electricidad o vapor mediante la incineración. Se

reporta que de 340 de 2975 rellenos sanitarios en Estados Unidos recolectan biogás (OECD, 2008).

Desde 1980, los vertederos en EU han ido disminuyendo. La tendencia va, hacia tener menos vertederos pero más grandes, con más capacidad de disposición.

En México según la ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal publicada en el 2003 dice que el manejo, es el conjunto de acciones que involucran la identificación, caracterización, clasificación, etiquetado, marcado, envasado, empacado, selección, acopio, almacenamiento, trasporte, transferencia, tratamiento y, en su caso, disposición final de los residuos sólidos.

De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (2003), en el artículo XVII, dice que el Manejo Integral incluye 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.

ii) América Latina y el Caribe (ALC).

Los países de América Latina y el Caribe (ALC) incluyendo a México, se encuentran en diversas etapas de desarrollo del sector de residuos sólidos y su respectiva institucionalidad.

En varios países de América Latina y el Caribe (ALC), la participación de las pequeñas empresas y microempresas privadas en la recolección y transporte de residuos sólidos ha ido cada vez en aumento, principalmente porque significan una alternativa más económica para los municipios y/o empresas municipales de aseo. Las ventajas de estas empresas radican en el uso intensivo de la mano de obra, la utilización de tecnologías de muy bajo costo que emplean tracción animal, humana o mecánica (triciclos) y la promoción de mayor participación comunitaria para facilitar la operación de recolección y separación de materiales en la fuente de generación. Se ha generado una importante competencia por calidad y precio de servicio.

El desarrollo tecnológico e investigación en relación con los residuos sólidos es reducido en la mayoría de los países de ALC. La contribución de institutos y Universidades en el área de investigación y desarrollo tecnológico para el área de residuos es escasa (Penido, 2006).

b) Tratamiento.

i) Reciclaje.

En todos los países del ALC los municipios que están implementando sistemas de recogida selectiva formales como papel, cartón, aluminio, vidrio, etc. enfrentan dificultades, debido a que antes de que el camión pase a recoger los desechos reciclables, los segregadores callejeros ya lo hicieron.

Además en los casos en que se institucionaliza el sistema de reciclaje con participación de organizaciones de segregadores, otros, independientes, compiten en la vía pública con el sistema formal. Este fenómeno está en marcha en casi todas las ciudades medianas y grandes de América Latina y la perspectiva es que adquiera cada vez mayores proporciones.

En los países en desarrollo, personas emprendedoras y compañías del sector privado han practicado el reciclaje en pequeña escala por siglos, para muchos ha sido un medio de vida; para los empresarios, una forma de reducir los costos (Penido, 2006).

Los Recolectores Independientes (RI). Ellos recorren en bicicleta las calles de las ciudades, separando los materiales reciclables de los residuos (papel y cartón, vidrio, plásticos, lata). Luego venden este material a las empresas de reciclaje. Los residuos, que son llevados al reciclaje por los RI, no llegan a los rellenos sanitarios. Por ende, se disminuye el impacto ambiental y el riesgo de contaminación de los suelos, del agua y del aire. Es decir, se reduce el impacto toxicológico en el medio ambiente y la salud humana.

En la provincia de Alberta, Edmonton Canadá, se encuentra un centro de residuos (Waste Managemente Centre), en donde se procesan los residuos domiciliarios y los lodos generados en el tratamiento de aguas negras. En este centro, existe un área para recuperar los materiales que se pueden reciclar (papel, latas), donde los clasifican y forman pacas para facilitar su venta. Tienen un área de 45,000 ft2, donde procesan hasta 30,000 toneladas anuales de residuos electrónicos (Leonard, 2008).

En el cuadro 15 se resume todo lo que se reporta referente al manejo, tratamiento y disposición de residuos sólidos urbanos en el Continente Americano.

Cuadro 15. Manejo de residuos sólidos en el Continente Americano.

PAÍS	MANEJO	TRATAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Canadá	Almacenamiento Barrido Recolección Trasporte Estación de transferencia	Compostaje Incineración Reciclaje	RSC	Barlishen, 1996 Knox, 2005 OECD, 2008
Estados Unidos	Almacenamiento Barrido Recolección Trasporte Estación de transferencia	Compostaje Incineración Reciclaje	RS	Sbarato,1998 Knox,2005 Chowdhury,2009 Rand, 2000 OECD, 2008
México	Almacenamiento Barrido Recolección Trasporte Estación de transferencia	Reciclaje Compostaje Vermi-compostaje Digestión anaerobia	RS TCA RSC	Sbarato, 1998 IBAM., 2006 OECD, 2008
Antigua y Barbuda	Recolección	Reciclaje	NR	Sbarato, 1998
Argentina	Almacenamiento Recolección Barrido Estación de transferencia	Compostaje Incineración Reciclaje	RS	Sbarato, 1998
Bahamas	Barrido mecánico Barrido manual Recolección	Reciclaje Incineración	RS	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/bahamas/index.html, 2009
Barbados	Barrido mecánico Barrido manual Recolección	Reciclaje Incineración	RS RSC TCA	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/barbados/index.html, 2009.
Belice	Barrido Recolección Estación de Transferencia	Reciclaje, Incineración	RS TCA	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/belice/index.html,2009
Bolivia	Recolección Barrido Estación de Transferencia	Compostaje Incineración	RS	Sbarato, 1998 IBAM, 2006
Brasil	Barrido Recolección Estación de Transferencia	Compostaje Incineración Reciclaje Mecánico-	RSC TCA RSE	Sbarato , 1 998 Hüttner, 2003 http://habitat.aq.upm.es/bpal/onu00/bp575

		biológico		.html 2009
Chile	Barrido Recolección Estación de transferencia Buenas practicas Separación de origen	Compostaje Incineración	RSC TCA V	Sbarato ., 1998 Concha., 2003 http://www.giresol.org/index.php?option=com_content&task=view&id=808&Itemid=116 ,2009
Colombia	Estación de transferencia	Compostaje Incineración Reciclaje	RS TCA	Sbarato , 1998 http://www.giresol.org/index.php?option=com_content&task=view&id=905&Itemid=116 , 2009
Costa Rica	Barrido Recolección Estación de transferencia	Compostaje, Incineración	RS	Sbarato , 1998 http://www.giresol.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1095&Itemid=116, 2009
Cuba	Recolección	Compostaje Vermi-compostaje	R SC	Sbarato 1998 Körner, 2008
Dominica	Recolección	NR	NR	Sbarato , 1998
Ecuador	Recolección	Compostaje, Incineración	RS PT	Sbarato , 1998 IBAM, 2006
Granada	Recolección	Reciclaje	V PT	Sbarato , 1998
Guyana	Recolección	Incineración Reciclaje	RS TCA	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/guyana/index.html 2009
Haití	Recolección	NR	RSC	Sbarato , 1998
Guyana	Recolección	Incineración Reciclaje	RS TCA	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/guyana/index.html 2009
Jamaica	Recolección	Incineración Pirolisis Reciclaje	RSC	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/jamaica/index.html, 2009
Nicaragua	Barrido manual Barredora mecánica Recolección	Incineración	V	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/nicaragua/index.html 2009
Paraguay	Recolección	NR	RSC	Sbarato, 1998
Perú	Recolección	Compostaje Incineración	NR	Sbarato, 1998 IBAM, 2006

San Cristóbal y Nieves	Barrido Recolección Transferencia	No se emplea tratamiento	NR	www.cepis.ops-oms.org, 2009
Salvador	Barrido mecánico Barrido manual	Reciclaje de residuos orgánicos e inorgánicos Incineración		http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/elsalvador/index.html, 2009
Santa Lucia	Barrido manual Recolección	Reciclaje sólo se realiza en el sector informal	NR	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/index.html#Scene_1, 2009
Surinam	Barrido manual Recolección		V	http://www.cepis.ops-oms.org/residuossolidos/evaluacion/e/paises/surinam/index.html, 2009
Trinidad y Tobago	Recolección	Compostaje Incineración	RS	Sbarato, 1998
Uruguay	Recolección Transferencia Disposición final	Digestión anaerobia	RS	Sbarato, 1998 Verificación personal, 2007.
Venezuela	Recolección	Compostaje Incineración	RS	Sbarato , 1998

RS= Relleno Sanitario V=Vertedero TCA= Tiradero a Cielo Abierto I= Incineración PT= Planta de Tratamiento, RSC= Relleno Sanitario Controlado NR= No Reportado
Fuente: Elaboración propia.

ii) Compostaje.

El compostaje es un procedimiento aplicado en los países desarrollados, en función de la prohibición de vaciar materia orgánica en los rellenos sanitarios. Este sistema puede ser artesanal, en ciudades pequeñas, o mecanizado, cuando se deberá procesar grandes cantidades de residuos, ofrece una gran ventaja de reducir la generación de lixiviados a cambio de producir biogás en los rellenos sanitarios, además de prolongar la vida útil de estos.

Como ventaja complementaria, un sistema de compostaje puede generar ingresos a través de la venta de certificados de reducción de emisiones, puesto que hay una metodología probada por el grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio Climático –IPCC-, que considera que el compostaje, más que reducir, evita la emisión de gases que provocan el efecto invernadero, puesto que la materia orgánica en descomposición aeróbica desprende solo gas carbónico y agua, y no metano, que es el gas nocivo que sería generado en el relleno, si la materia orgánica se depositase allí (Penido, 2006).

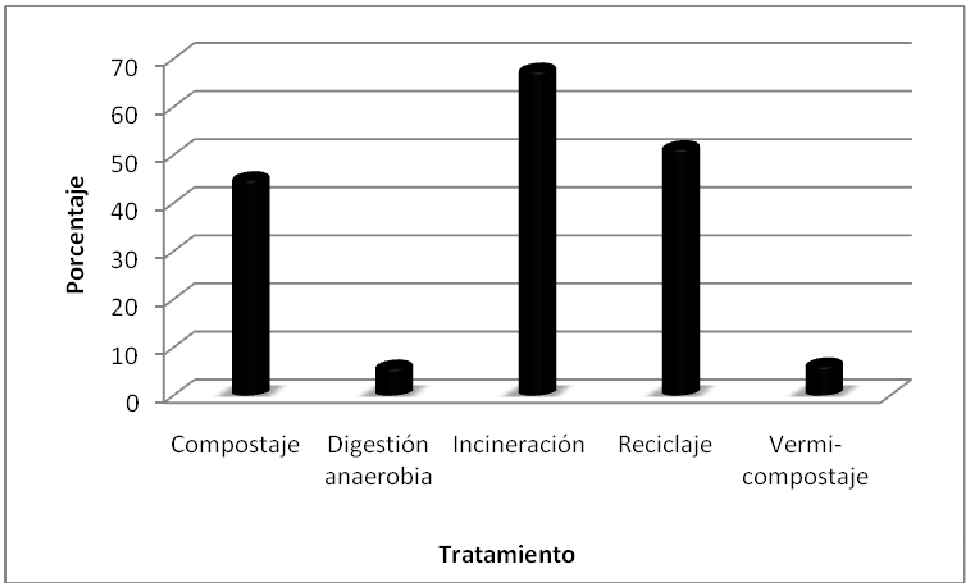
En Edmonton Canadá, en el centro de residuos (Waste Managemente Centre), se produce composta de los residuos de jardinería. Tienen la planta de composta mas grande (en su tipo) en Norte América, donde procesan 200,000 toneladas de residuos orgánicos y 22,500 toneladas de lodos secos, lo que lleva a procesar 80,000 toneladas anuales de composta (Leonard, 2008).

iii) Incineración

La legislación de Canadá levanta multas si hay emisiones que contaminen el medio ambiente y regulan o controlan las emisiones. (CCME) The Canadian Council of Ministers of the Environment. 250,000 toneladas de residuos sólidos son incinerados por año (Knox, 2005).

La EPA (Environmental Proctection Agency) de Estados Unidos, regula las emisiones de los incineradores. En 1989 los incineradores operaban las 24 horas por día, seis días a la semana con la capacidad 2,505 toneladas de residuos sólidos por día. En 1990 Lorton y Virginia trataban en los incineradores 3,000 toneladas de residuos sólidos por día. El total de incineradores en el 2005, era de 437 (Knox, 2005).

En la gráfica 2 Se puede observar que de 31 países investigados del Continente Americano que han reportado el manejo de RSU, el 45 % del total analizado han practicado técnicas de compostaje (en algunos caso no han tenido éxito, como es el caso de plantas de composta mexicanas) y solo el 6.4 % el vermicompostaje, mientras que el 64% la incineración, 61.2 % el reciclaje y 3% la digestión anaerobia.



Gráfica 2. Tratamiento de RSU en el continente Americano.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 15

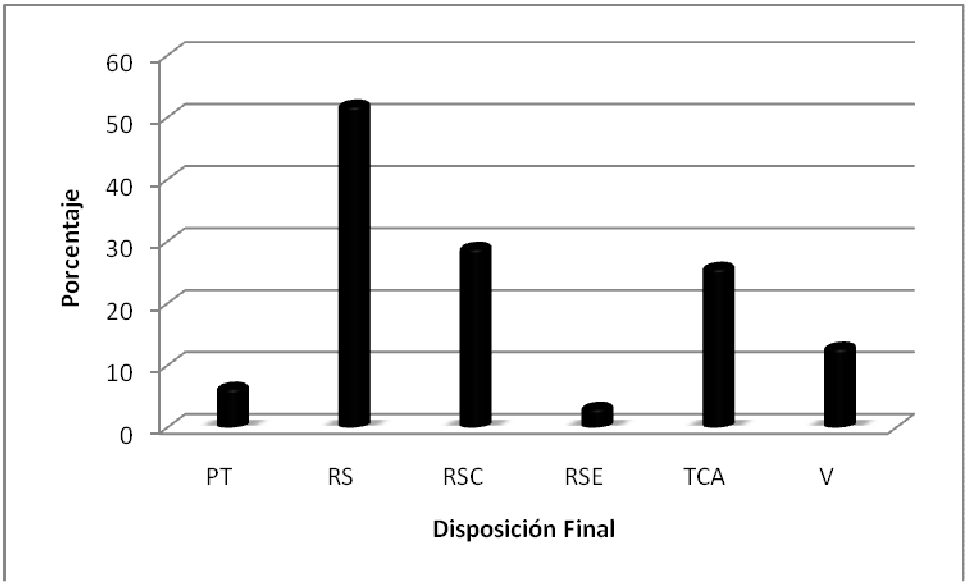
c)
d) Disposición final

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, disposición final es la acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos y el sitios de disposición final es el lugar donde se depositan los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en forma definitiva.

Uno de los puntos más débiles de los sistemas de manejo de residuos sólidos de las ciudades latinoamericanas es la disposición final de los residuos, tal como lo comprueba el diagnóstico de la OPS.

En Edmonton Canadá, tiene dos rellenos sanitarios; uno, para los residuos que no se puedan procesar y el otro es un relleno seco destinado para recibir residuos de la construcción y demolición. El primer relleno tiene sistema de captación y tratamiento de lixiviados y biogás (Leonard, 2008).

En la gráfica 3 se puede observar que de 31 países 39% utiliza Rellenos Sanitarios (RS), 3% Rellenos Sanitarios Especiales –RSE- (metanogénico, seco etc.), 26% Rellenos Sanitarios Controlados (RSC), 26% Tiradero a cielo Abierto (TCA) y 13% Vertederos (V). Hay algunos países que no reportan su sistema de disposición final.



Gráfica 3. Disposición final de los RSU en el continente Americano.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.1

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, define al Relleno Sanitario como una obra de infraestructura que involucra métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructuras adicionales, los impactos ambientales.

Un sitio controlado, es un sitio inadecuado de disposición final que cumple con las especificaciones de un relleno sanitario en lo que se refiere a obras de infraestructura y operación, pero no cumple con las especificaciones de impermeabilización.

Un sitio no controlado, es un sitio inadecuado de disposición final que no cumple Con los requisitos establecidos en la norma ya mencionada.

Los vertederos son lugares donde se arrojan los residuos a cielo abierto en forma indiscriminada sin recibir ningún tratamiento sanitario. http://www.paho.org/Spanish/DD/PED/residuos-end.pdf, 2009.

Los vertederos o basureros (también conocidos en algunos países hispanohablantes como tiraderos o basurales), son aquellos lugares donde se deposita finalmente la basura. Éstos pueden ser oficiales o clandestinos. http://www.ub.edu/cres/verted.htm.

Vertedero oficial, municipal o urbano: Es un vertedero que bajo ciertas consideraciones o estudios de tipo económico, social y ambiental, es destinado por los gobiernos municipales o citadinos. También son conocidos como "vertederos controlados" o "rellenos sanitarios".

Un vertedero clandestino: Es un lugar que, sin consideraciones medioambientales, es elegido por algún grupo humano para depositar sus desechos sólidos. Son grave fuente de contaminación, enfermedades y otros problemas.

2) Continente Europeo

a) Manejo

Para Farrel (2009) del Reino Unido, los residuos sólidos municipales son los generados en casa, comercios, establecimientos, industrias e instituciones y no incluye residuos, médicos, comerciales e industriales peligrosos, ni radiactivos ya que todos estos se deben de tratar separadamente, considera que los rellenos sanitarios representan el mejor canal para el manejo de residuos industriales. El reciclaje y la composta son opciones atractivas para el tratamiento de RSM ya que no provocan daños al ambiente.

i) Pasos necesarios para lograr un manejo eficiente de residuos sólidos

En Alemania en una primera etapa, los esfuerzos apuntan a mejorar la seguridad de los rellenos sanitarios y a perfeccionar las plantas de incineración de residuos sólidos, para que éstas últimas trabajen en forma más limpia. Se exigió la implementación del principio de sustentabilidad en la gestión de residuos sólidos, es decir, la incorporación de la gestión de residuos en las formas sustentables de producción y consumo (crear la responsabilidad del producto en la industria y el comercio, y desarrollar una conducta de consumo orientada a la salud y el medio ambiente), así como el desarrollo de un paradigma orientado al flujo de materiales en el marco de la economía de residuos sólidos.

En ese mismo país, el fabricante sigue siendo responsable incluso después de la venta del producto, se basa en el principio "quien contamina paga"; esta responsabilidad es regulada además en el marco del derecho de responsabilidad ambiental. Al mismo tiempo, se tiene en cuenta que el fabricante conoce mejor los posibles riesgos que implica su producción y sus productos, y que él mismo puede apreciar mejor las posibilidades de reciclaje.

En una segunda etapa se identificaron y formularon las responsabilidades de las empresas. El objetivo es devolver los materiales auxiliares de producción al ciclo dentro de la misma empresa o a través de la cooperación entre diferentes empresas (producción limpia), y diseñar los productos de tal forma, que no impliquen un peligro toxicológico en relación al medio ambiente, ni en relación a la salud humana.

Respecto a los productos envasados, fomento de las ventas a granel (existe ya amplia experiencia en varios países europeos) y normalización de envases penalizando los de escasa capacidad. Por último establecer una serie de penalizaciones (e incluso prohibiciones) para productos desechables (un sólo uso) y materiales de difícil o nulo aprovechamiento posterior. Respecto a los productos y materiales peligrosos, evitarlos tanto durante la fabricación, como durante la distribución y el consumo, difundiendo y favoreciendo el uso y consumo de otros equivalentes y carentes de peligro, circunstancia que ya es posible en la mayoría de los casos.

La responsabilidad del producto significa que, antes de iniciar la producción y en el marco de su diseño, se deben determinar el tratamiento y la eliminación de los residuos, el sistema de ciclo, el desmontaje y la conservación del valor de los materiales.

Se trata de evitar la generación de residuos, sólo cuando ello no es posible, se debe tratar de reciclar y, si el reciclaje tampoco es posible, se pueden depositar los residuos tras un tratamiento adecuado.

Es recomendable que se reúnan los diferentes actores, se conozcan entre ellos y formulen objetivos comunes y de carácter obligatorio, de este modo, los actores pueden conocer todos los problemas y las diferentes facetas de la problemática de los residuos sólidos. Para lograrlo es necesario que los diferentes actores se encuentren en la misma situación de partida, es decir, que dispongan de los mismos conocimientos.

Por lo tanto, es importante realizar programas de capacitación y rondas de información para los diferentes actores, incluyendo, el aparato administrativo, los municipios, la industria.

Para que todo funcione bien se requiere, que los partidarios de una nueva gestión de residuos estén representados en el Parlamento, el Gobierno, en la Industria, la Ciencia y en las Organizaciones de consumidores. Los partidarios deben estar representados, y tener cargos de toma de decisión y deben ser aceptados (Val, 2009).

Asimismo, en Alemania se realiza un profundo intercambio entre científicos y actores de la gestión de residuos sólidos, lo que se refleja en las diferentes conferencias internacionales realizadas en este tema durante los últimos dos años.

Los efectos del surgimiento de la gestión de residuos sólidos en Alemania y su posterior conversión en una economía de ciclo integral son los siguientes (Val, 2009):

- Una red de leyes y reglamentos
- Una red de organismos de control y autorización
- Compromisos voluntarios de la industria (responsabilidad del producto)
- Una conducta responsable frente al medio ambiente por parte de la ciudadanía (separación de residuos y minimización)
- Economización de la eliminación de los residuos
- Notable ahorro de recursos naturales primarios
- Una disminución radical de los peligros para el medio ambiente y la salud
- Generación de empleos calificados
- Surgimiento de nuevos rubros en el marco de la gestión de residuos sólidos (tecnología de plantas, monitoreo, logística, etc.).

Muchos países han tomado como ejemplo el "modelo europeo" el cual se basa en una alternativa consolidada en normativas estatales o comunitarias que contienen objetivos de prevención, reutilización y prohibiciones de ciertos materiales y tipos de envases -normativas, también existentes en países como Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Holanda y Suecia dentro de la Unión Europea, y Suiza-. Después de realizar diez experiencias piloto de recogida selectiva en Europa -todas ellas en países carentes de normativas restrictivas como Portugal, España, Grecia, Italia, Irlanda, Reino Unido, Francia, el "modelo europeo" ya se materializó.

b) Tratamiento

i) Reciclaje

En el año 1986 en Alemania, entró en vigencia la Ley sobre Evitar y Eliminar Residuos Sólidos, que exige minimizar la producción de residuos y reciclarlos. Se trata de una autorización legislativa, según la cual el gobierno tiene el derecho de promulgar instrucciones/reglamentos concretos. En este marco, se promulgaron posteriormente el

reglamento de embalajes/envases, el reglamento de aceites usados, de solventes, de vehículos fuera de uso, etc.

Se recomienda impulsar la creación de un mercado para los productos reciclados, es decir, se debe incrementar la demanda de estos productos, lo que se puede lograr a través de dos medidas importantes. Por un lado, sensibilizar a la población en relación a la problemática medioambiental, y por el otro, el legislador debe procurar que haya una adecuada definición legal y una clara distribución de competencias administrativas. El ejemplo de Alemania ha demostrado, que la gestión participativa de residuos sólidos es un modelo exitoso.

Debe de contar con una infraestructura apropiada para recogidas selectivas de materiales -vidrio, papel, cartón, envases- que, garantizan su comercialización por la industria recicladora correspondiente.

En Copenague, Dinamarca, de las 264,000 toneladas de residuos que se generaron en el 2006; el 17.5% se reciclan o reciben tratamientos (Björn, 2009).

Según Ducom (2009), En la mayoría de países de Europa los residuos sólidos municipales son dispuestos en rellenos sanitarios o en incineración, en Francia 38 % se va a los rellenos y 43 % a incineración, 13 % a reciclaje y 6 % a compostaje, actualmente aprovechan el biogás mediante un proceso de digestión anaerobia**.**

La utilización de RSU para obtener energía puede realizarse por dos vías: mediante procesos microbiológicos como la fermentación anaerobia o biogasificación y mediante procesos térmicos, como la pirólisis, gasificación y combustión. La combustión del biogás se genera en los vertederos controlados por la fermentación anaerobia que en ellos tiene lugar.

En el cuadro 2.2 Se muestran los resultados de 25 países analizados del Continente Europeo que reportan a la fecha el manejo de los residuos sólidos urbanos.

Cuadro 16. Manejo de residuos sólidos del Continente Europeo.

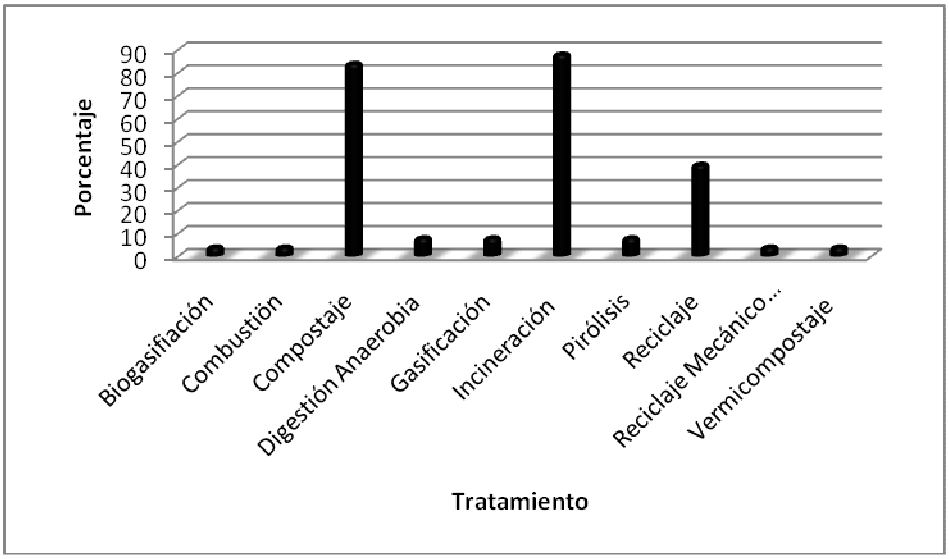
PAIS	MANEJO	TRATAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Alemania	Almacenamiento Recolección Transporte Centros de acopio Estaciones de transferencia	Incineración Compostaje Reciclaje Mecánico-biológico Digestión anaerobia Pirólisis Gasificación	RS	Knox,2005 OECD, 2008
Austria	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje Reciclaje	RS	OECD, 2008
Bélgica	Almacenamiento Recolección	Incineración Compostaje	RS	OECD, 2008

	Transporte			
Dinamarca	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje	RS	OECD, 2008
Eslovaquia	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje	RS	OECD, 2008
España	Almacenamiento Separación Recolección Transporte	Incineración Compostaje Vermicompostaje Reciclaje Digestión anaerobia Biogasificación Pirólisis Gasificación Combustión	RS V	OECD, 2008 Val, 2008
Finlandia	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje	RS	OECD, 2008
Francia	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje Reciclaje	RS	Knox,2005 Ducom, 2009 OECD, 2008
Grecia	Almacenamiento Recolección Transporte	Reciclaje	RS	OECD, 2008
Holanda	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración	RS	Knox,2005
Hungría	Recolección	Incineración Compostaje Reciclaje	RS	OECD, 2008
Irlanda	Recolección	Compostaje Reciclaje	RS	OECD, 2008
Islandia	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje Reciclaje	RS	OECD, 2008
Italia	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje Reciclaje	RS	Morselli, 1992, OECD, 2008
Luxemburgo	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje	RS	OECD, 2008
Noruega	Recolección	Incineración, Compostaje	RS	OECD, 2008
Países Bajos	Recolección	Incineración Compostaje	RS	OECD, 2008

Polonia	Recolección	Incineración	RS	Bujak, 2009
Portugal	Recolección	Incineración Compostaje	RS	Magrinho, 2006 Papageorgiou, 2009
Reino Unido	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje	RS (90%)	Papageorgiou, 2009 Farrell, 2009, OECD, 2008 Li,2006
Rusia	Recolección	Incineración Compostaje	RS	Hunsicker, 1996
Suecia	Recolección	Incineración	RS	Sundberg, 1994
Suiza	Recolección	Incineración Compostaje Reciclaje	RS	OECD, 2008
Turquía	Recolección	Compostaje Reciclaje	RS	OECD, 2008
Ucrania	Recolección	Incineración Compostaje	RS	Hunsicker, 1996

RS= Relleno Sanitario V=Vertedero TCA= Tiradero a Cielo Abierto I= Incineración PT= Planta de Tratamiento RSC= Relleno Sanitario Controlado NR= No Reportado
Fuente: Elaboración propia.

En gráfica 4 se puede observar que de 25 países investigados que reportan el tratamiento de residuos sólidos del Continente Europeo, 84 % de ellos incluyen en sus sistemas de tratamiento el compostaje, 88% la incineración, 44% el reciclaje, 8% la digestión anaerobia, 8% pirólisis y 8% gasificación. El resto de los tratamientos andan en un 4 %.



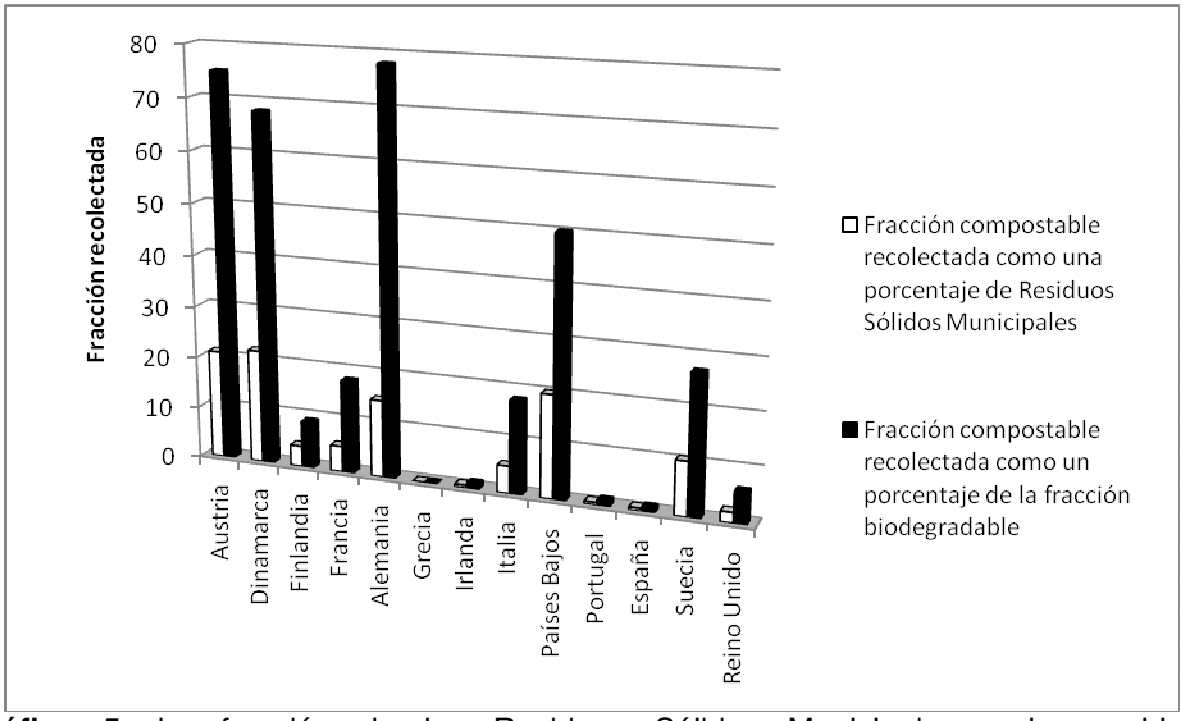
Gráfica 4. Tratamiento de RSU en el continente Europeo.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.2.

ii) Compostaje

Una gran parte de los desechos sólidos municipales en Europa es caracterizada como biodegradable, siendo que representa del 66 al 90%, dependiendo del país (Agencia Europea del Ambiente 2002). La fracción biodegradable de los desechos sólidos municipales incluye comida y desperdicios de jardín, papel y cartón, madera y algunos textiles por lo que tiene el potencial de ser tratada por compostaje.

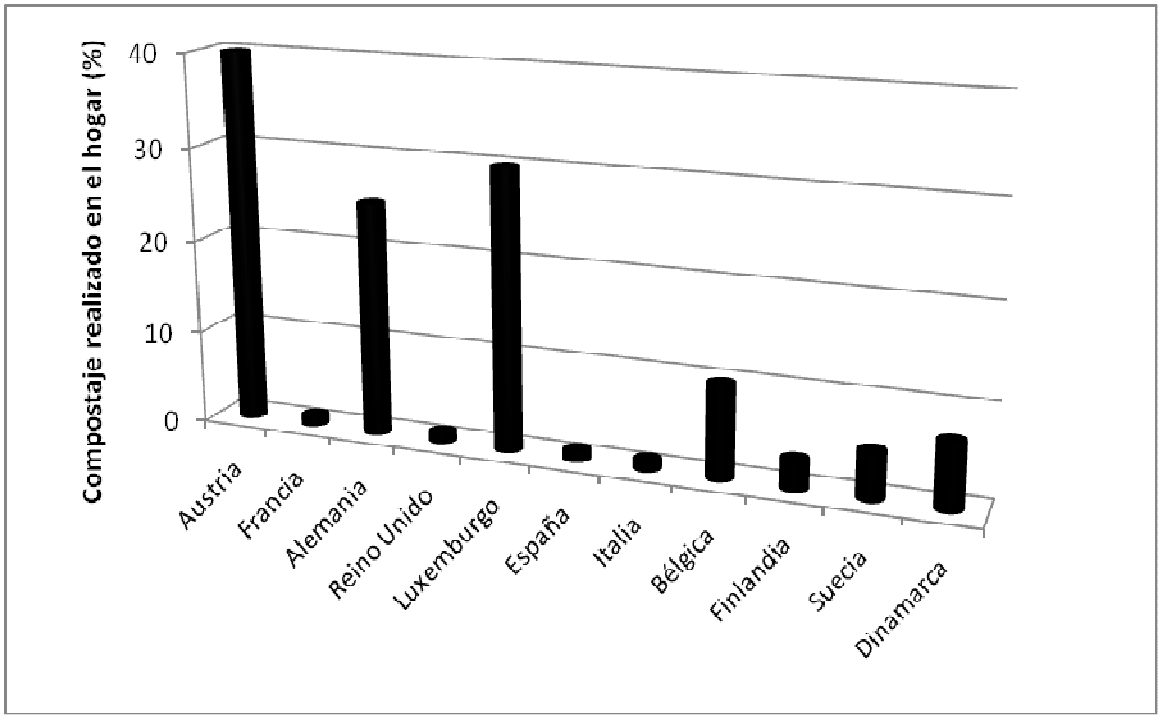
En la gráfica 5 se muestra la fracción de desperdicios sólidos municipales que es recolectada por separado como una fracción compostable, y también la fracción de desechos biodegradables que es recolectada como una fracción separada en varios países europeos. Mientras el porcentaje de residuos sólidos municipales que es recolectado para compostaje es relativamente bajo para varios países, por ejemplo, 5.3% para Italia, y 2% para el Reino Unido, la fracción de los desperdicios biodegradables que se recolecta es mucho más alta.

En Austria, 75% de los residuos compostables presentes en los residuos sólidos municipales se recolecta como una fracción separada; para Alemania, es el 78%; Suecia, el 27% y para el Reino Unido el 6%. Debe de ser considerado que, mientras el compostaje en los hogares es una actividad común en muchos países europeos, es muy variable (Williams, 2005).



Gráfica 5. La fracción de los Residuos Sólidos Municipales y los residuos biodegradables recolectados como una fracción compostable separada. Adaptada de: Williams, 2005.

La gráfica 6 muestra los porcentajes de los hogares que llevan a cabo compostaje en países Europeos (Williams, 2005).



Gráfica 6. Compostaje realizado en el hogar en países europeos seleccionados. Fuente: Williams, 2005.

Esquema de Compostaje en Gironde, Francia

El esquema de compostaje en Gironde, en Francia involucra 20 000 hogares, en donde los desperdicios biodegradables de cocina y jardín son recolectados por separado y tratados por compostaje. Los habitantes también pueden llevar desperdicios de jardín a los centros de recolección de residuos. La instalación de compostaje tiene una capacidad de 40 000 toneladas por año y produce entre 24 000 y 36 000 toneladas de composta al año (Williams, 2005).

Esquema de Compostaje de Barcelona, España

El esquema de compostaje de Barcelona en España involucra aproximadamente a 137 000 habitantes en 55 000 hogares de las cuatro municipalidades que cubren la parte sur de Barcelona. El esquema consiste en una recolección de residuos del hogar separada de desechos domésticos biodegradables utilizando contenedores de diez litros, que son depositados en contenedores más grandes y posteriormente recolectados por la municipalidad local. Adicionalmente la recolección separada de los desperdicios biodegradables de los productores a gran escala, como supermercados, es llevada a cabo utilizando camiones compactadores (Williams, 2005).

El índice de recuperación de los desperdicios orgánicos mediante compostaje en Europa se encuentra entre el 30% y el 45 % del tonelaje de desperdicios habitacionales (incluyendo papel /carbón). Los objetivos de reducir los rellenos sanitarios de desechos orgánicos establecidos por una directiva europea promueven la estabilización de materia orgánica y el desarrollo del reciclaje para fines de agricultura. Alemania, Austria, los Países Bajos, Dinamarca y Francia ya han alcanzado estos objetivos.

Se estima que aproximadamente 18 millones de toneladas métricas de desperdicios orgánicos (residuos verdes y desperdicios de cocina) se colecten por separado y se conviertan en compostaje en Europa.

iii) Incineración

En la incineración de residuos urbanos es posible acoplar la combustión con la generación de energía, ya existen algunas instalaciones con este sistema. En los países nórdicos, por ejemplo, la incineración de la basura doméstica contribuye en cierto porcentaje al total de la energía necesaria para mantener la calefacción.

Existen más de 600 plantas de incineración en aproximadamente 35 países. Estas plantas tratan cerca de 170 millones de toneladas métricas de desperdicios municipales. Aproximadamente 70% de estos residuos es incinerada en Europa, Japón y los Estados Unidos (OECD, 2008).

A groso modo, se estima que la energía equivalente a estos 170 millones de toneladas métricas de desperdicios incinerados es de 220 millones de barriles de petróleo, por ejemplo 600,000 barriles por día. Un país como los Estados Unidos consume 20 millones de barriles diarios. Se estima que la energía producida por incineración de residuos en 400 plantas de incineración europeas provee a 27 millones de habitantes de electricidad (lo que equivales a la población de Dinamarca, Finlandia y los Países Bajos) o a 13 millones de habitantes con calefacción.

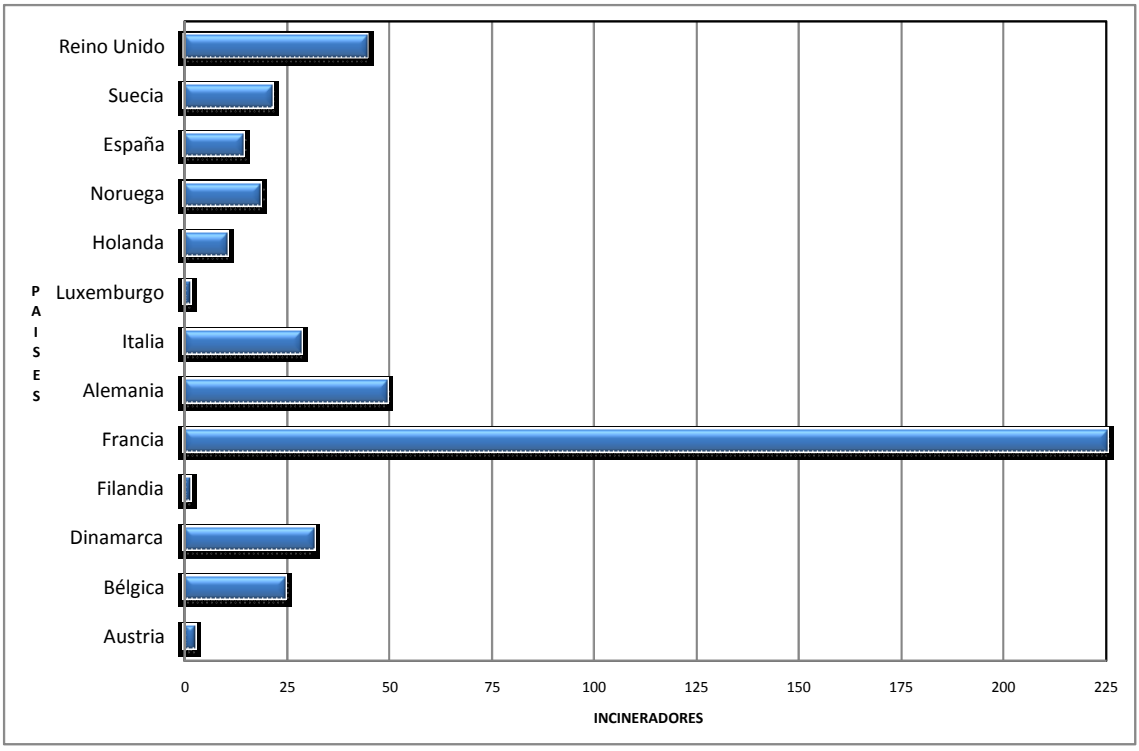
En algunos países europeos (Dinamarca, Suiza, Países Bajos, Noruega, Suecia y Francia) han dado preferencia a este tipo de energía (energía verde).

En Copenague, Dinamarca, de las 264,000 toneladas de residuos que se generaron en el 2006; el 82% de los residuos que se generan, se incineran en las 3 plantas de incineración que existen, localizadas en: Amargerfor Braending, Vestforbraending y Rensningsanlaeg Linetten (Björn, 2009).

Comparado al índice de la incineración de los E.E.U.U. Solamente del 12%, los porcentajes de la combustión son relativamente más altos en Dinamarca (el 54%), Suecia (el 45%), Luxemburgo (el 42%), Bélgica (el 36%) y Francia (el 34%) (DEFRA, 2006; USEPA, 2007).

Canadá, USA, Francia, Alemania, Holanda y la Unión Europea incluyendo Reino Unido, son los países que están más involucrados en la incineración de residuos sólidos. (Knox, 2005).

En la gráfica 7 se muestra los países de la Unión Europea que tienen incineradores, se puede observar que Francia es el que tiene más incineradores (225) seguido de Alemania y Reino Unido con 49 y 44 respectivamente, mientras que Finlandia y Luxemburgo solo tienen uno. La mayoría de incineradores tiene una capacidad de 50.2 millones de toneladas de residuos sólidos por año.



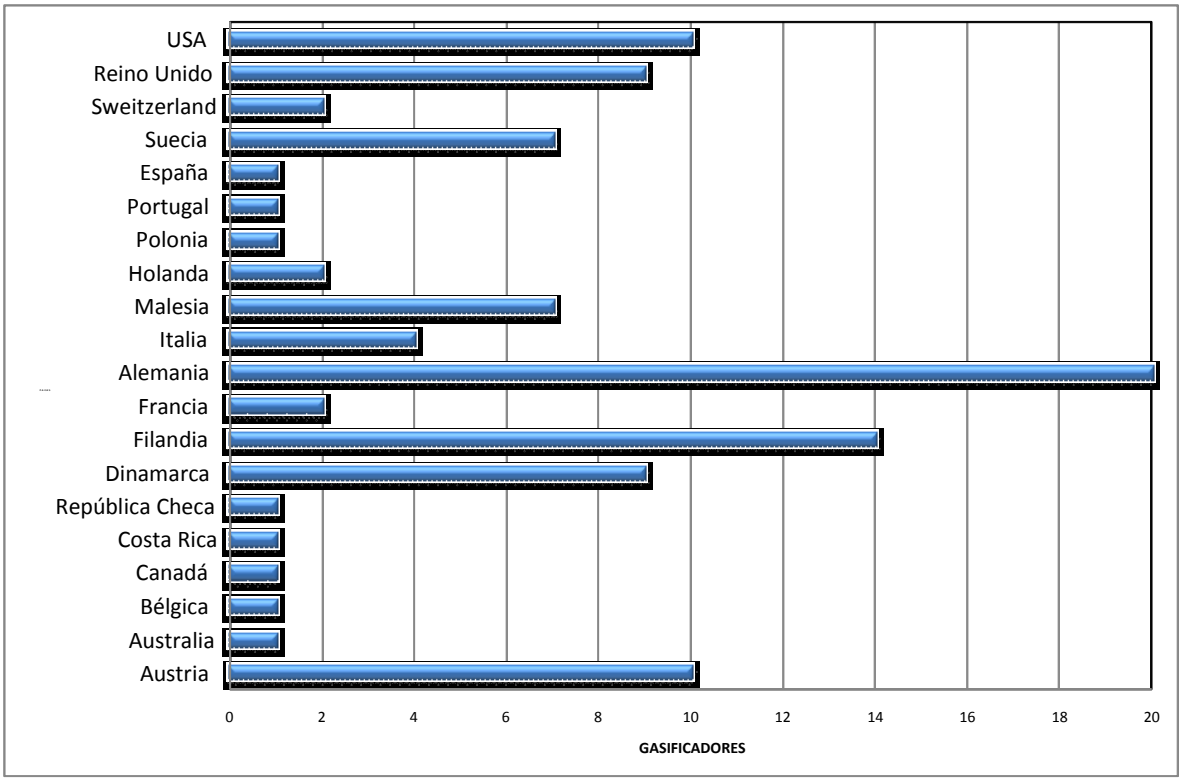
Gráfica 7. Países de la Unión Europea que tienen incineradores.
Fuente: Elaboración propia, datos tomados de Knox, 2005.

Otros países que tienen incineradores son: China (Wu, 2009) y Korea, en plata piloto (Kwak, 2006).

En Reino Unido, los incineradores tienen la capacidad de 2.8 millones de toneladas de residuos sólidos por año, *en Alemania,* todos los incineradores de Alemania están equipados con un sistema de computadora que automáticamente registra los niveles de emisiones. El sistema de Alemania es un de los mejores en su tecnología reportado en este documento y *en Holanda,* Utilizan los incineradores para disminuir o eliminar los rellenos sanitarios y obtener energía (Knox, 2005).

iv) Gasificación

La gasificación es un tratamiento térmico a altas temperaturas en el cual se inyecta oxígeno para producir residuos mineralizados y gas de síntesis. La literatura (OECD, 2008), reporta que la Gasificación produce menos contaminación que la incineración, en la gráfica 8 se muestran los países que tienen gasificadores, incluyendo a algunos países de América, Europa y otros Continentes. Se puede apreciar que el país que más tiene es Alemania con 20, le sigue Filandia con 14 y 8 países solo tienen uno (entre ellos: Australia, Bélgica, Canadá, Costa Rica, República Checa, Polonia y Portugal).



Gráfica 8. Países que tienen gasificadores en el ámbito mundial.
Fuente: Elaboración propia, datos tomados de Knox, 2005

c) Disposición final

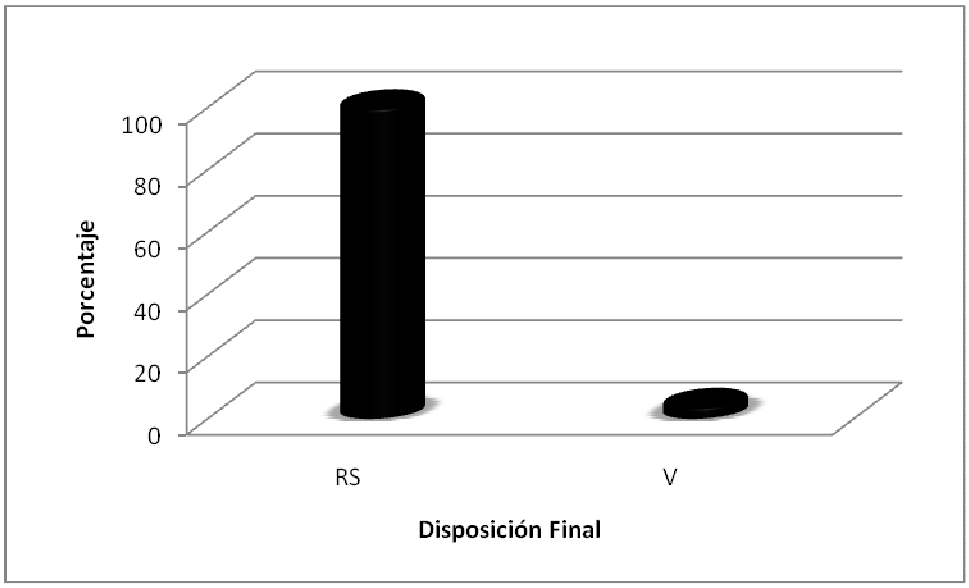
Con respecto a la disposición final, integrando los datos recopilados del cuadro 2 en la gráfica 9 se puede observar que en Europa normalmente se usan los rellenos sanitarios y poco los vertederos.

A pesar de que las normas europeas apuntan a su drástica reducción, los vertederos recogen la mitad de los residuos urbanos, en algunos casos de forma irregular y con problemas de saturación. La eliminación controlada de residuos en vertedero es un procedimiento de gestión que cuenta con la suficiente normativa.

Una vez que ya se tiene previsto el cierre de un vertedero, se regulan diversas actuaciones para evitar su impacto ambiental. En este caso, se suelen llevar a cabo planes de vigilancia post-sellado y clausura, medidas de revegetación y de recuperación para su uso agrícola e incluso lúdico (conversión en parques o instalaciones deportivas).

Por otra parte la recolección de biogás en Europa es obligatoria y los rellenos sanitarios más antiguos deberán de ser remodelados para asegurar esta recolección. En el futuro, el desarrollo de estos rellenos sanitarios en bioreactores deberá de mejorar

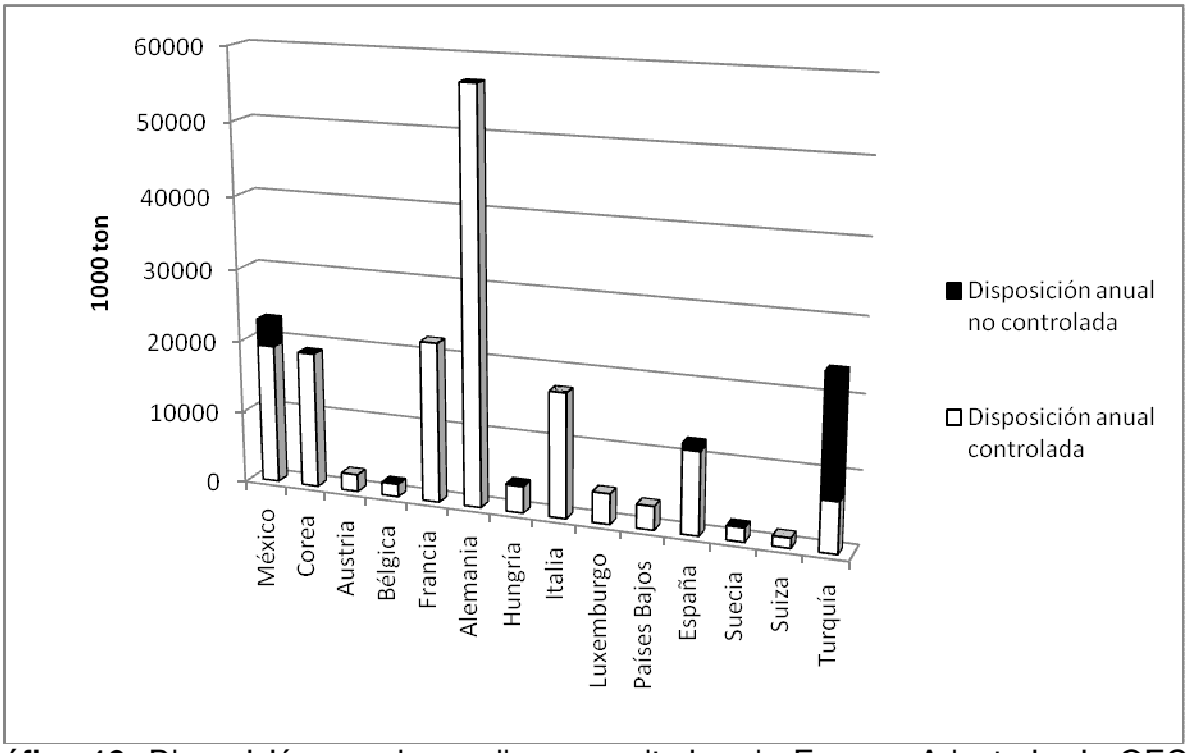
técnica, ambiental y económicamente los rendimientos relacionados con la producción de biogás a partir de estos residuos.



Gráfica 9. Porcentaje de países de la Unión Europea que tiene rellenos sanitarios y vertedero. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la gráfica 9, se muestran casos específicos de la disposición anual en rellenos sanitarios (1000 ton), comparado con México.

Reino Unido dispone 91, 796 millones de toneladas anuales, seguido de Alemania con 56,675 millones, México y Francia con aproximadamente 22, 896 y 22,071 millones y los que menos disponen son Suecia y Suiza 1,940 y 1371 millones respectivamente, en todos los caso en menor o mayor medida se utilizan los rellenos sanitarios, con respecto a la disposición no controlada, se observa que Turquía ocupa el primer lugar, luego sigue México y muy poco en España, según lo reportado por OECD, 2008.



Gráfica 10. Disposición anual en rellenos sanitarios de Europa. Adaptado de OECD, 2008. Fuente: Elaboración propia.

3) Continente Asiático

a) Manejo.

El continente de Asia referente al manejo de desechos sólidos ha incorporado, las llamadas 3R (Reduce, Reusa y Recicla). Los países que cuentan con la capacidad económica para incorporar las llamadas, 3R son Japón, y Corea del Sur. Estas están enfocadas a las tecnologías llamadas Cero residuos, y /ó Cero Relleno sanitario las cuales son caras para las economías similares como las de la India ó Indonesia.

Las técnicas en el mantenimiento de los desechos sólidos apuntan a eliminar simplemente el desecho sólido desde los alrededores de las áreas habitadas como una forma de mantener la salud pública.

Asia es una región heterogénea que cuenta con países con estructuras económicas desarrolladas como Japón y Corea del Sur. Así como economías en desarrollo como la India, China e Indonesia. En estos países los desechos se producen en las grandes ciudades provenientes de las zonas urbanas donde la población es alta.

Nguyen (2009), Menciona que en el suroeste de Asia se han tenido problemas alarmantes en torno al manejo de residuos, uno de los problemas más visibles es la degradación del medio ambiente. Se promueve la prevención, el reciclaje y cero residuos, hay una discusión sobre el tema sustentable de residuos sólidos.

En Japón, Hong Kong, Singapur, Taiwán y Corea del Sur, normalmente los desechos son recogidos por medio de levantamientos los cuales solo se desarrollan por un corto tiempo y tal vez son limitados a ciertas ciudades. La composición está influenciada por el estatus económico. La Porción de reciclables (papel, plásticos, etc.) es alta en economías desarrolladas mientras que la materia orgánica degradable en aquellos países que tiene bajos recursos económicos. La baja proporción de reciclables en economías de desarrollo puede ser atribuida al valor del mercado de reciclables.

Los desechos sólidos generados en las aéreas urbanas se recolectan en estaciones con parada fija y los residentes por sistema de recolección casa por casa. Alternativamente en el caso de la recolección casa por casa los vehículos visitan las casas particulares de uno a dos días a la semana, para recolectar los desechos.

En países desarrollados los contenedores se instalan o son designados a estaciones fijas y los residentes de las áreas locales depositan sus desechos cuando es necesario (UNEP 2002). En otras áreas el uso de un carrito de mano es un tipo de improvisación en el sistema de recolección casa por casa. Y una vez lleno el carrito de basura, el operador deposita el contenido en un camión diseñado para la transportación de desechos sólidos a un depósito.

Los vehículos de transportación pueden ser catalogados como vehículos de recolección y vehículos de arrastre. Los primeros recolectan los desechos en el área donde fueros generados, mientras que los de arrastre son designados cuando las distancias son más grandes y tienen que ser transportados a los depósitos.

Cuadro 17. Manejo de residuos sólidos en el Continente Asiático.

PAIS	MANEJO	TRATAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Afganistán	Almacenamiento Recolección	Incineración	TCA	Oeltzchner,2007
Arabia Saudita	Almacenamiento Recolección	Reciclaje	RS	Riyadh,2009
Bahréin	Recolección	Reciclaje	RS	Ahmed,2006
Brunei	Almacenamiento Recolección Transporte	Compostaje Incineración Digestión Anaerobia	R S TCA	Nguyen, 2009
Camboya	Almacenamiento Recolección Transporte	Compostaje, Incineración Digestión Anaerobia	R S TCA	Nguyen, 2009
China	Recolección Estación de transferencia Transporte	Compostaje Incineración Reciclaje	V	Hunsicker, 1996
Corea	Almacenamiento	Incineración	RS	Hunsicker, 1996,

	Recolección Transporte	Gasificación Reciclaje		OECD, 2008
Filipinas	Almacenamiento Recolección Transporte	Compostaje Incineración Digestión Anaerobia	RS TCA	Nguyen, 2009
India	Almacenamiento Recolección Transporte	Compostaje Reciclaje Incineración	RS TCA	Narayana, 2009
Indonesia	Recolección	Compostaje Incineración Digestión Anaerobia	RS TCA	Nguyen, 2009
Japón	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Reciclaje	RS	Sakai, 1997, OECD, 2008 Sakai, 2000
Laos	Recolección	Compostaje Incineración Digestión Anaerobia	R S TCA	Nguyen, 2009
Libano	Recolección	Compostaje Incineración Reciclaje	R S	Nuwayhid, 1996
Malasia	Recolección	Compostaje Incineración Digestión Anaerobia	RS TCA	Nguyen, 2009
Myanmar	Recolección	Incineración Compostaje Digestión Anaerobia	R S TCA	Nguyen, 2009
Nepal	Recolección	Compostaje	RS	Pokhrel, 2005
Singapur	Recolección	Incineración Compostaje Digestión Anaerobia	R S TCA	Nguyen, 2009 OECD, 2008
Taiwán	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración	RS	Hunsicker, 1996 Chung, 2008
Tailandia	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje Digestión Anaerobia	R S TCA	Nguyen, 2009
Vietnam	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración Compostaje Digestión Anaerobia	R S TCA	Nguyen, 2009

RS= Relleno Sanitario V=Vertedero TCA= Tiradero a Cielo Abierto I= Incineración PT= Planta de Tratamiento RSC= Relleno Sanitario Controlado NR= No Reportado
Fuente: Elaboración propia.

b) Tratamiento

i) Reciclaje

Los desechos sólidos llevan un proceso de reciclaje para reducir sus volúmenes y su potencial de contaminación en rellenos sanitarios. La sustentabilidad del sector de reciclaje depende de su costo-efectividad. Y esto es muy determinante para el estatus económico de una sociedad. En economías desarrolladas existe un método organizado para la recolección y procesamiento de algunos reciclables como el papel, vidrio, y metal. A través de una participación pública y privada en el caso de las economías desarrollados donde el porcentaje de las fracciones reciclables como el papel, vidrio, y metal. Es menor su recuperación y reciclaje han sido desempeñados muchos por pequeñas industrias y en menor manera organizadas (Shekdar y Tanaka, 2004).

La mayor planta de reciclaje del mundo con capacidad para recuperar 60,000 toneladas de plásticos desechados cada año, se encuentra en Beijing (Dubai, 2000).

La planta, gestionada por la corporación de recuperación de Recursos Incom de Beijing, ha contado con una inversión de 37,5 millones de dólares USA, la capacidad anual de la planta equivale a un tercio del volumen anual de plásticos desechados de la capital china, y producirá 30.000 toneladas de piezas limpias de poliéster y 20.000 toneladas de planchas de poliéster para botellas, lo que equivale a un ahorro anual de 300.000 toneladas de petróleo (Dubai, 2000).

Los países como Japón, Corea del Sur y Singapur., han sido pioneros en sus improvisaciones en sus sistemas de Residuos Sólidos Municipales. Por ejemplo en Japón donde probablemente el sistema sea el mejor, ha sido desarrollado, por medio de desarrollo tecnológico. Colectores municipales de desechos de papel, vidrio, metal, etc, son separados de la fuente para el reciclaje mientras que otros desechos (aparatos eléctricos ó muebles) los cuales contiene plásticos, vidrios, metales son triturados antes de ser reciclado.

La plaza de reciclaje en Japón de Nippon Steel Engineering, tiene cuatro secciones; en la primera se promueve el reuso y reciclaje de todos los residuos sólidos municipales, incombustibles y voluminosos que se generan; en la segunda se tratan los residuos no peligrosos, como el PCB; en la tercera se reciclan las llantas por medio de gasificación y en la cuarta, se reciclan los residuos de excavación, demolición y construcción. Algunos de los equipos que utiliza esta planta son: Separadores magnéticos y de aluminio, compactadores de botellas de PET, máquinas empacadoras y bandas transportadoras (Pokhrel, 2005).

Singapur, tiene un plan nacional de reciclaje de residuos, donde se plantean las situaciones siguientes: El 10%, son residuos reciclables, estos últimos pasan por las etapas de recuperación, clasificación y reciclaje, algunos ejemplos de estos residuos

son: los de la construcción y demolición, botellas de vidrio, latas, papel, botellas de plástico, cajas de cartón y ropa (Corazon, 2009).

En China, el material generado es importado desde diferentes países en gran escala para reuso y reciclaje. Desde 1950 la tecnología del reciclaje ha sido reorganizada como una actividad en curso. En muchos de los países en desarrollo las fracciones de desechos tales como papel, plásticos ó metales, son reciclados como una actividad comercial.

Riyadh Exhibtions Company, 2009. Reporta que en Arabia Saudita se producen 16 millones de toneladas de residuos por año, por lo cual, se promueve el reciclaje, se ve como una oportunidad de negocio. Algunos estudios han mostrado que el 85 % de residuos se recicla en dicho país, reciclan papel, cartón, aluminio, vidrio y papel entre otros residuos que se generan.

ii) Compostaje

Narayana (2009), comenta que, los residuos sólidos de Ciudades Asiáticas se componen a menudo de 70-80% de materia orgánica por lo tanto el compostaje es la mejor opción para su tratamiento además que se evita que llegue a los rellenos sanitarios.
En Nepal, el 70% de los residuos que se generan son orgánicos y utilizan el compostaje como método de degradación de dichos residuos (Pokhrel, 2005).

En India, se dispone el 8.6% de los residuos en rellenos sanitarios, al 89.6% se hace composta, la mayoría mediante sistemas aireados, y para el resto (1.6%) se utilizan diferentes maneras de disposición. En Bombay, India, tienen una planta de composta exitosa con capacidad para procesar 300 ton/dia, esta planta inició sus operaciones en 1992 por medio de una empresa privada. Se puede encontrar otras plantas de composta similares en Banglore, Calcutta, Thane, Chandigarh, Gwalior, Solan and Delhi (Pokhrel, 2005).

iii) Incineración.

En Asia la incineración ha sido establecida como el método de proceso térmico para el combustible de las fracciones de desechos sólidos.

Narayana (2009), considera la incineración como una practica que permite reducir los residuos sólidos municipales, es el segundo método más común para la disposición en países Asiáticos, sin embargo el proceso genera materiales peligrosos como metales pesados, compuestos orgánicos tales como dioxinas y compuestos orgánicos volátiles, en realidad ningún método esta libre de problemas.

Las emisiones que se producen de la incineración pueden producir cáncer, las dioxinas pueden ser transportadas por largas distancias y persisten por décadas en el

medio ambiente, requiere de una gran inversión para su tratamiento, además de un sitio de disposición final adecuado, por lo que en la India no es una práctica común.

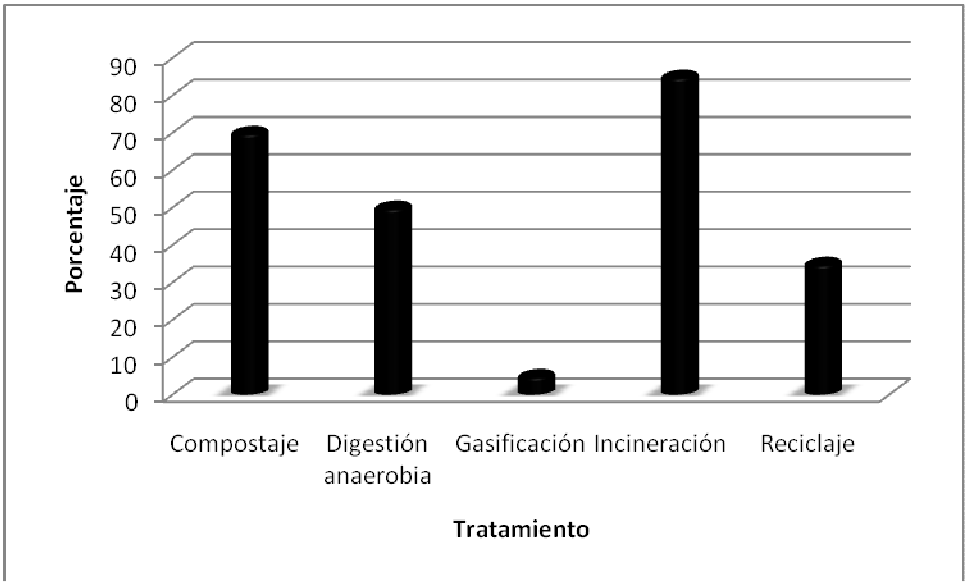
Algunos países tienen índices de incineración de desperdicios municipales por habitante relativamente altos como es el caso de Japón y Singapur.

En Japón la tecnología de incineración ha avanzado y se ha reducido a un 98% de su volumen, en conjunto con el uso de la tecnología de arco de plasma para el proceso de ceniza. Sin embargo aún sigue siendo muy costosa.

En ese mismo país, la empresa Nippon Steel Engineering cuenta con un sistema integral de aprovechamiento de residuos en toda la isla. Por ejemplo, en las ciudades de Akita y Shimada, se tienen hornos de fundición de altas temperaturas y el proceso de gasificación, destinado para tratar residuos sólidos municipales, lodos generados por el tratamiento de aguas residuales y residuos incinerables; Kita-Kyushu, cuenta con una planta generadora de energía, llamada ECO ENERGY Co, la cual, incinera residuos industriales y autos triturados (Pokhrel, 2005).

Singapur, Cuenta con 4 plantas de incineración que tratan el 90% de los residuos y producen 980 millones de kwh por año, lo cual representa el consumo del 2 al 3% del total de energía consumida anualmente. Las cenizas que resultan del proceso de incineración y el resto de los residuos que no se incineran ni se reciclan se depositan en el relleno sanitario de Semakau (Corazon, 2009).

En la gráfica 11 se comparan 20 países analizados al azar del Continente Asiático, de los cuales 70 % utiliza el compostaje, 85% la incineración, 35% el reciclaje y 50% la digestión anaerobia.



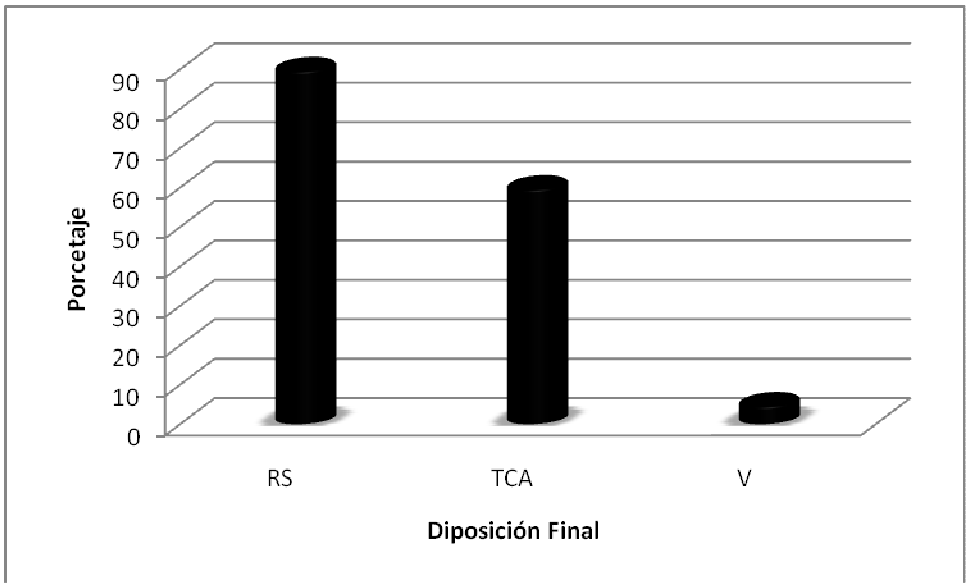
Gráfica 11. Tratamiento de RSU en el continente Asiático.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.3

c) Disposición Final.

Los desechos sólidos que no pueden ser procesados, son por último dispuestos en rellenos sanitarios. En el caso de Corea del sur la generación de desechos domésticos fue drásticamente reducida de 1.3 kg a 1.04 kg/cap./día, así mismo en Taiwán de 1.135 a 0.667 kg/cap./día. Hong Kong genero 6 millones de ton de desechos sólidos de los cuales 43% fue recuperado y el resto fue a rellenos sanitarios. Singapur redujo por 8% de 7000 ton por día en el 2005 (Teo, 2007).

Los rellenos sanitarios provocan daños al ambiente por el mal control de lixiviados y biogás, este último del 0.01 al 0.6 % esta compuesto de compuestos orgánicos volátiles como benceno, tolueno, xileno, ya se han reportado problemas de cáncer en personas que viven cerca de los rellenos sanitarios (Mongtague, 1998).

En la gráfica 12 se muestran los resultados de la evaluación de los mismos 20 países, en donde se puede observar que el 90% utiliza Rellenos sanitarios, 60% Tiradero a cielo Abierto y 5% Vertederos.



Gráfica 12. Disposición final de los RSU en el continente Asiático.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.3

4) Oceanía

a) Manejo

En el cuadro 18 se muestran los resultados de 10 países de Oceanía que reportan el manejo de residuos sólidos.

Cuadro 18. Manejo de residuos sólidos en Oceanía.

PAIS	MANEJO	TRATA-MIENTO	DISPOSICIÓN FINAL	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Australia	Recolección	Reciclaje	RS	Hanandeh, 2009, Davis., 2009 http://soer.justice.tas.gov.au/2003/set/5/issue/72/index.php,2009
Islas Marshall	Recolección	Reciclaje Compostaje	V RS	www.hawaii.edu/hivandaids/Proponsal_for_Improving_Solid_Waste_Reduction_and_Recycling_for_Majuro_Atoll.docwww.unescap.org, 2009
Kiribati	Recolección	Reciclaje	RS	www.forumsec.org.fj/UserFiles/File/Kiribati_Nacional_Development_strategies-2004-2007.pdf 2009
Nueva Zelanda	Recolección	Reciclaje	RS	OECD, 2008 Boyle, 2000, Wakim, 2004 http://www.mfe.govt.nz/publications/ser/ser1997/html/chapter3.5.html 2009
Nauru	Recolección	NR	V	www.saicm.org/documents/meeting/pacific/SPREP%20Hazardous%20Waste%20work.pdf ,2009
Niue	Recolección	NR	V	www.saicm.org/documents/meeting/pacific/SPREP%20Hazardous%20Waste%20work.pdf ,2009
Palau	Almacenamiento	Digestión Semi-aerobio	V	http://www.jica.go.jp/english/operations/social_environmental/pro_asia/pdf/pala02_05.pdf ,2009
Papúa Nueva Guinea	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración	V	http://www.wpro.who.int/NR/rdonlyres/4AEF0136-495B-4800-9F50-B98E9B8189C4/0/PNG_Solid_Waste.pdf ,2009
Samoa	Almacenamiento Recolección, Transporte	Incineración	V	http://www.wpro.who.int/NR/rdonlyres/8DC37D01-1A94-44CF-9B45-AB2D5855DE53/0/SMA_Solid_Waste10.pdf ,2009
Tonga	Almacenamiento Recolección, Transporte	Incineración	TCA	http://www.wpro.who.int/NR/rdonlyres/AB5716A1-8736-42D3-A625-F23E0D326721/0/TON_Solid_Waste.pdf ,2009

RS= Relleno Sanitario V=Vertedero TCA= Tiradero a Cielo Abierto I= Incineración PT= Planta de Tratamiento RSC= Relleno Sanitario Controlado NR= No Reportado

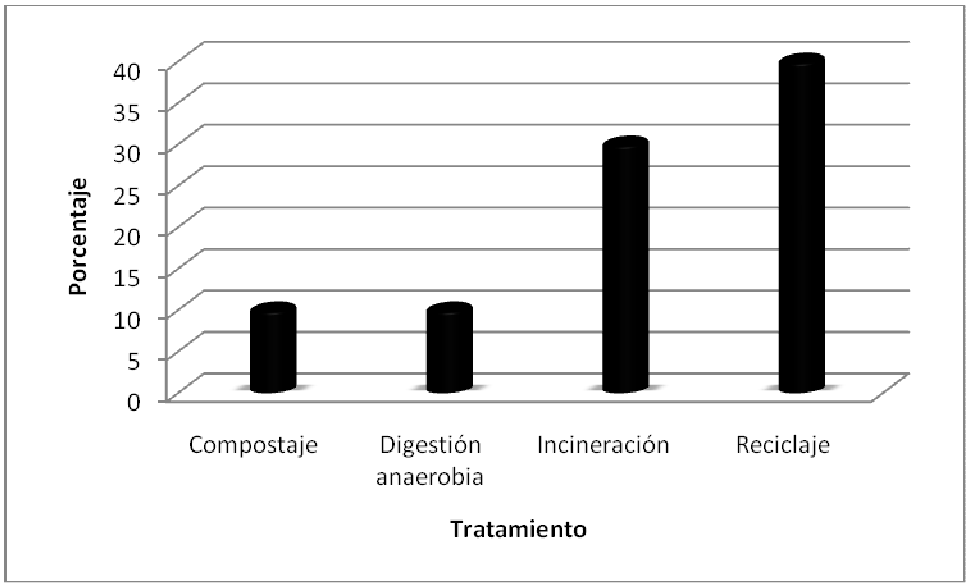
Fuente: Elaboración propia.

b) Tratamiento

i) Compostaje, digestión anaerobia, incineración y reciclaje.

En Oceanía en particular en Australia, lo que más se practica es el reciclaje y se tienden a reducir el empleo de rellenos sanitarios.

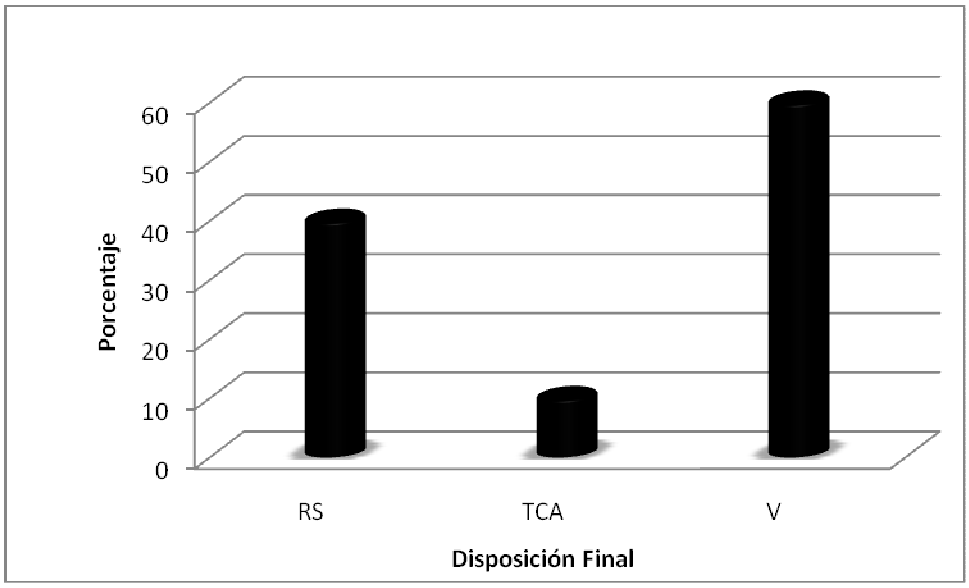
En Oceanía, se puede observar en la gráfica 13, que de 10 países, el 10% utiliza el compostaje, 30% la incineración, 60% el reciclaje, 10% la digestión anaerobia.



Gráfica 13. Tratamiento de RSU en el continente de Oceanía.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.4

c) Disposición final

En la gráfica 14 se puede observar que de 10 países estudiados, el 40% utiliza Rellenos sanitarios, 10% Tiradero a cielo Abierto y 60% Vertederos.



Gráfica 14. Disposición final de los RSU en el continente de Oceanía.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.4

5) Continente Africano

a) Manejo

En Ghana según Fei-Baffoe (2009), la recolección de residuos sólidos en África es irregular y restringida a ciertas comunidades, sin embargo han desarrollado un parque modelo ecológico sustentable para tratar los RSU, se practica la digestión anaerobia con recuperación de energía y hacen composta, y se han hecho estudios de procesos de biometanización. En el cuadro 19 se muestran los resultados del análisis de 39 países que han reportado el manejo de sus residuos sólidos urbanos en los últimos años.

Cuadro 19. Manejo de residuos sólidos en el Continente Africano

PAÍS	MANEJO	TRATAMIENTO	DISPOSICIÓN FINAL	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
Argelia	Recolección	Compostaje, Reciclaje	RS	Guermound, 2009
Botswana	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Burkina Faso	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Burundi	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Camerún	Recolección Estación de	Compostaje y reciclaje	NR	Parrot, 2009

	Transferencia			
Costa de Marfil	Recolección	Compostaje Incineración Digestión Anaerobia	TCA V	http://www.ethicalcorp.com/content.asp?ContentID=4564 2009 Manoni, 2009
Egipto	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Eritrea	Recolección	NR	TCA	The World BanK, 2004
Etiopía	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Gambia	Recolección	Compostaje Incineración	TCA V	http://www.allgambian.net/News Details.aspx?id=146, 2009
Gabón	Recolección	NR	TCA	Achankeng, 2003
Ghana	Recolección	Digestión anaerobia Biometanización	RS	Manoni, 2009 Fei-Baffoe,2009
Guinea Ecuatorial	Recolección	NR	TCA	Sistema de las Naciones Unidas, 2006
Guinea Bissau	Recolección financiada por el Banco Mundial	NR	TCA	The World BanK, 2001
Kenia	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni., 2009
Lesoto	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Liberia	Recolección	NR	V	http://postconflict.unep.ch/publications/Liberia_waste.pdf ,2009
Libia	Recolección	Digestión anaerobia, Compostaje, Incineración	RS TCA	http://www.undp-libya.org/energyenvironment.php , 2009
Malawi	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Mali	Recolección Transporte	NR	V	http://www.athensclarkecounty.com/manager/mali.htm ; http://www.waste.nl/page/812 ,2009
Marruecos	Almacenamiento Transporte Recolección	NR	TCA	http://www.metap-solidwaste.org/fileadmin/documents/country_data/SWM_Morocco_A4.pdf 2009
Mauricio	Almacenamiento Recolección Transporte	Incineración	V	http://www.incinerationmauritius.com/chapter4.html 2009
Mauritania	Almacenamiento Recolección, Transporte	Compostaje Incineración Reciclaje Digestion anaerobia.	RS	Mauritania: New Govt Tackling Waste Managhttp://allafrica.com/copyright.htmlement, 2009

Mozambique	Almacenamiento Recolección, Transporte	Compostaje Incineracion	RS TCA	Environment and infrastructure division www.gtz.de/solid-waste-management, 2009
Morocco	Recolección Separación	Digestión anaerobia	RS TCA V	Manoni, 2009
Mostaganem	Almacenamiento Recolección, Transporte	Compostaje Incineración Reciclaje	RS	Guermound, 2009.
Namibia	Recolección Separación	Compostaje Incineracion Reciclaje	RS TCA V	By David Kashweka, PANA Corresponden, Environment & Development Bulletin, 2009
Niger		Compostaje Incineracion Reciclaje	RS TCA V	Niger moves to turn waste into wealth http://www.tribune.com.ng/17082009/features.html
Nigeria		Compostaje Incineracion Reciclaje	RS TCA V	Niger moves to turn waste into wealth http://www.tribune.com.ng/17082009/features.html
Rwanda	Recolección Separación	Digestión anaerobia	NR	Manoni, 2009
Senegal	Recolección Separación	Digestión anaerobia	NR	Manoni, 2009
Sudan	Recolección Separación	Digestión anaerobia	NR	Manoni, 2009
Sur África	Recolección Separación	Digestión anaerobia	NR	Manoni, 2009
Swaziland	Recolección Separación	Digestión anaerobia	NR	Manoni, 2009
Tanzania	Recolección Separación	Digestión anaerobia	NR	Manoni, 2009

Túnez	Recolección Separación	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Uganda	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni, 2009
Zambia	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni., 2009
Zimbawe	Recolección	Digestión anaerobia	RS	Manoni., 2009

RS= Relleno Sanitario V=Vertedero TCA= Tiradero a Cielo Abierto I= Incineración RSU= Residuos Sólidos Urbanos NR= No Reportado. Fuente: Elaboración propia.

b) Tratamiento

i) Reciclaje

Guermound, 2009, reporta que en la Ciudad de Mostaganem (Algeria Occidental) practican el reciclaje, incineración con recuperación de energía, producen metano equivalente a 1852.4 toneladas de aceite por año y producen composta mediante procesos aeróbicos de fermentación de materia rica en humus y nutrientes.

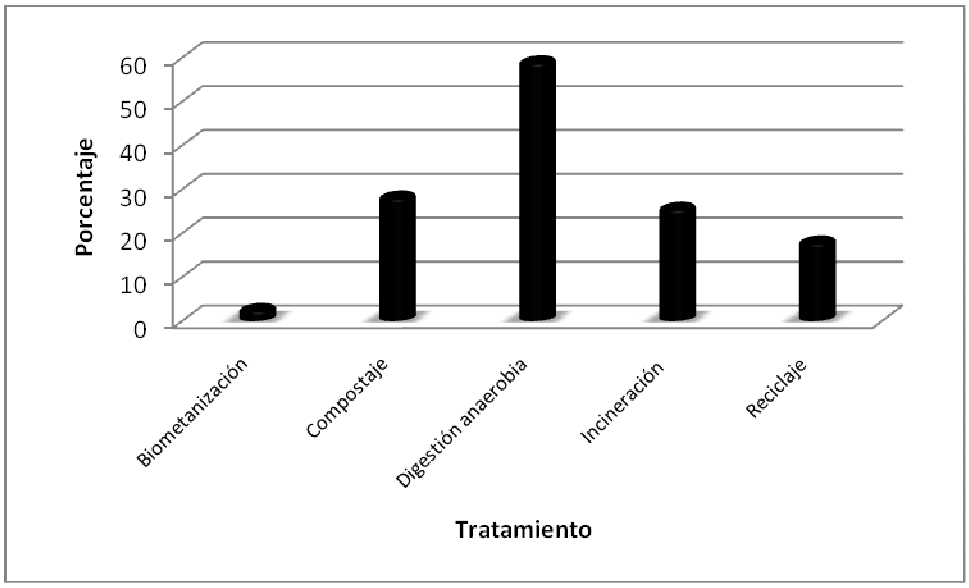
ii) Digestión anaerobia

Por otra parte Manoni (2009), reporta que en 21 países de África (Botswana, Burkina Faso, Burundi, Egipto, Etiopía, Ghana, Kenia, Lesoto, Malawi, Morocco, Nigeria, Rwanda, Senegal, Sudan, Sur África, Swaziland, Tanzania, Túnez, Uganda, Zambia y Zimbawe entre otros)**,** no tiene acceso a la electricidad, el interés por el biogás ha sido estimulado por el esfuerzo de varias organizaciones internacionales y agencias extranjeras junto a publicaciones, encuentros y visitas. A la fecha utilizan una gran variedad de residuos provenientes de rastros, residuos municipales, residuos industriales y de excretas animales y humanas, por ejemplo en Burundi, Ivory Coast y Tanzania, el biogás es producido mediante una digestión anaerobia de excretas humanas y animales usando un digestor domo fijo Chino y un digestor de biogás.

iii) Compostaje, incineración y biometanización..

En Alejandría, Egipto convierte un cuarto de sus desperdicios en 120 000 toneladas métricas en compostaje por año. Este es utilizado posteriormente para la mejora del suelo, en particular en suelos desérticos arenosos.

En la gráfica 15, se puede observa que de 39 países analizados el 28 % practica el compostaje, 21 % la incineración, 18 % el reciclaje y el 56 % la digestión anaerobia y en menos aplicación se encuentra la biometanización.

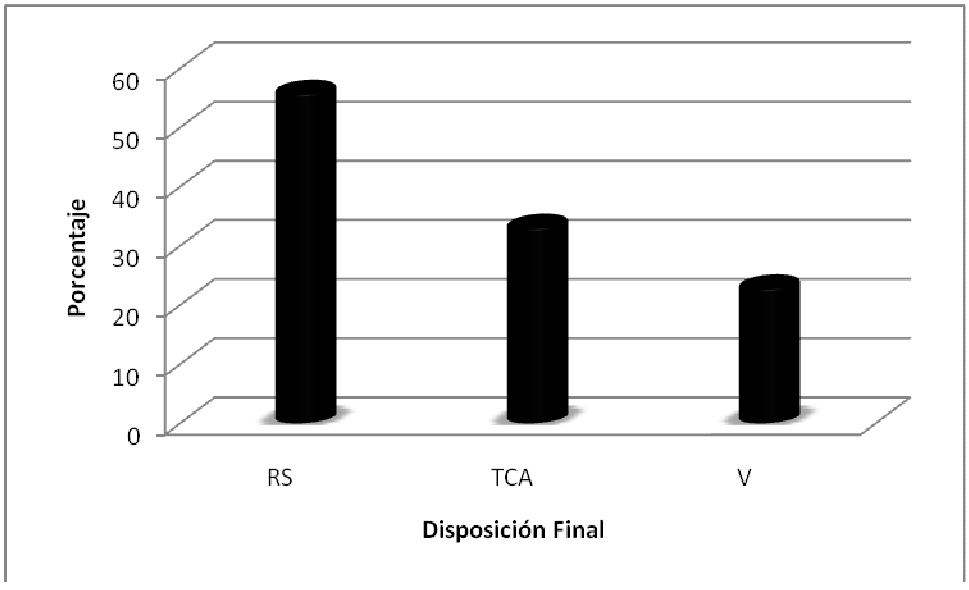


Gráfica 15. Tratamiento de RSU en el continente Africano. Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.5

c) Disposición final.

Según la literatura se menciona que los países en los que los vertederos ilegales exceden el 30% son: Marruecos, México, Turquía y los países africanos.

En la gráfica 16, se muestra que de 39 países de África, el 54% utiliza Rellenos sanitarios, 33% Tiradero a cielo Abierto y 21% Vertederos.



Gráfica 16. Disposición final de los RSU en el continente Africano.
Fuente: Elaboración propia, a partir del CUADRO 2.5

Cabe señalar que fuera de la Latinoamérica muchos países entre ellos los Europeos principalmente, les llaman a los rellenos sanitarios vertederos, siendo que el concepto latino tiene una definición intermedia entre tiradera a cielo abierto y rellenos sanitarios.

6) Análisis de las tecnologías convencionales y en desarrollo y condiciones de los residuos que han ingresado a dichas tecnologías.

A) Manejo

Con respecto al manejo de residuos sólidos a nivel mundial, se identifican la siguiente secuencia: 1) Buenas prácticas (consumo responsable) – 2) Generación- 3) Barrido, 4) Separación en la fuente de origen, reutilización, 5) Almacenamiento, 6) Recolección, 7) Transporte, 8) Estación de transferencia, 9) Centros de acopio, 10) Plantas de selección, 11) Reciclaje, 12) Tratamiento (Biológico, mecánico y térmico) y 13) Disposición final.

En el diagrama 1, se muestra un diagrama general del manejo integral de residuos sólidos en el ámbito internacional. Cabe señalar que el diagrama puede variar de región a región según las necesidades de cada país.

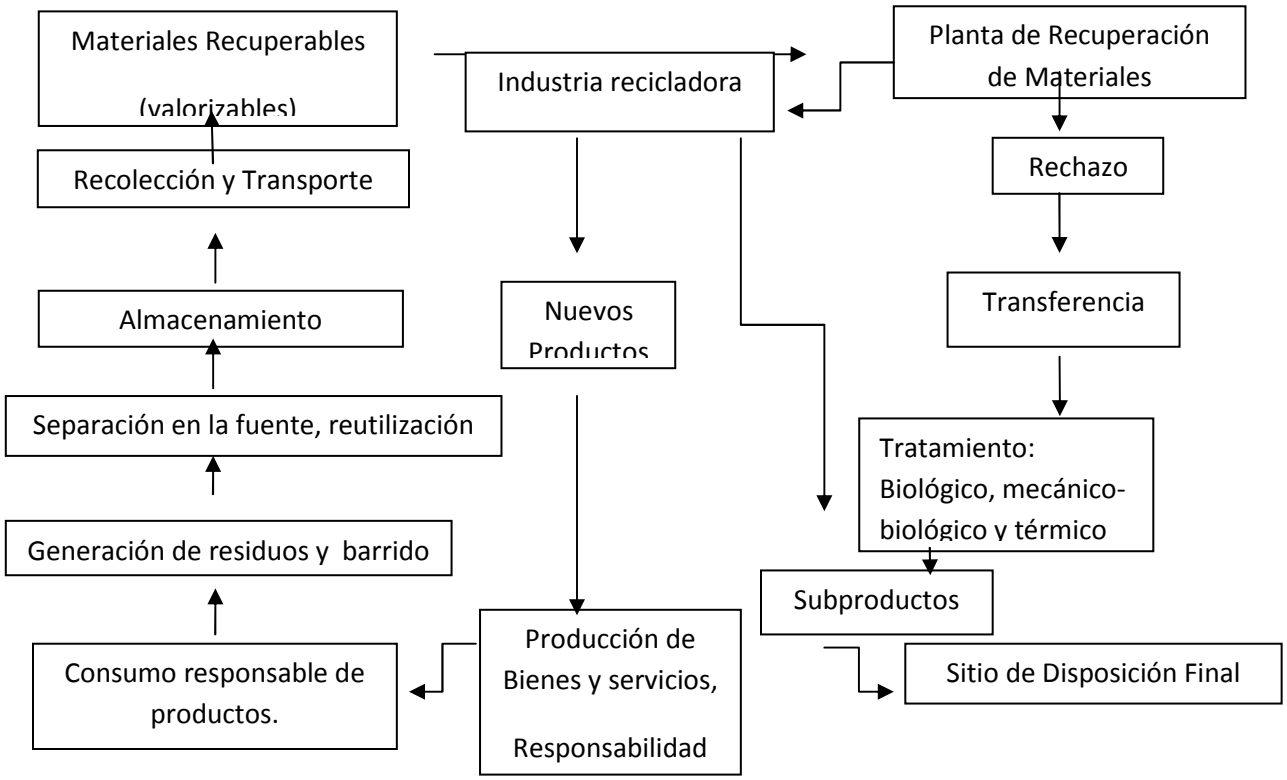


Diagrama 1. Diagrama general del manejo integral de los residuos sólidos en el ámbito internacional. Fuente: Elaboración propia.

Lo más recomendable en el ámbito internacional, en la parte de manejo de residuos sólidos es adoptar estrategias de mejoramiento continuo, determinando resultados a corto y largo plazo, así como un monitoreo del progreso y con la finalidad de encontrar la forma de mejorarlo según lo recomendado por Steblin y Stanford 2008.

Se recomienda en la medida de lo posible, tomar como ejemplo el "modelo europeo" que contienen objetivos de prevención, reutilización y prohibiciones de ciertos tipos de envases, basados en la normatividad.

B) Tratamiento

a) Reciclaje

El buen reciclaje comienza desde la separación en la fuente de origen con el reciclaje de los residuos como (papel y cartón, vidrio, plásticos, lata, etc.). Luego venden este material a las empresas de reciclaje. Los residuos, que son llevados al reciclaje, no llegan a los rellenos sanitarios, se recupera la materia prima y se libera el uso de materia prima virgen.

Tipos de residuos que entran en el reciclaje:

Para el reciclaje los residuos valorizados o con cierto valor comercial, se deben de separar, lavar y compactar de ser necesario. El número de componentes en los residuos depende de grado de pre-separación, que finalmente definirá la tecnología o mano de obra requeridas para el reciclaje de los materiales.

Los residuos valorizados que se reciclan por separado a nivel mundial son:

Papel
Cartón
Tetra Pack y/o Tetra Brik
PET y otros plásticos (ver cuadro 2.6)
Aluminio
Vidrio
Chatarra
Cascajo
Pilas
Celulares
Computadoras
Residuos electrodomésticos
Llantas
Textiles
Otros.

En materia de reciclaje los casos más exitosos como ya se dijo en el análisis de países por continentes se encuentran en Canadá, China y Japón, vale la pena, volver a resaltar dichos casos:

En la provincia de Alberta, Edmonton Canadá, se encuentra un centro de residuos (Waste Managemente Centre), Tienen un área de 45,000 ft2, donde procesan hasta 30000 toneladas anuales de residuos electrónicos. Tienen la planta de composta mas grande (en su tipo) en Norte America, donde procesan 200,000 toneladas de residuos orgánicos y 22,500 toneladas de lodos secos, lo que lleva a procesar 80,000 toneladas anuales de composta. (Leonard, 2008).

En China, el material generado es importado desde diferentes países en gran escala para reuso y reciclaje. Desde 1950 la tecnología del reciclaje ha sido reorganizada como una actividad comercial en curso. En particular en la región de tres Gorges, China, tienen un sistema de separación de residuos sólidos municipales para favorecer el reciclaje, se hacer una separación primaria de residuos reciclables, como papel, plástico y metales se llevan al proceso de reciclaje (Wang, 2009).

La plaza de reciclaje en Japón de Nippon Steel Engineering, tiene cuatro secciones; en la primera se promueve el reuso y reciclaje de todos los residuos sólidos municipales, incombustibles y voluminosos que se generan; en la segunda se tratan los residuos no peligrosos, como el PCB; en la tercera se reciclan las llantas por medio de gasificación y en la cuarta, se reciclan los residuos de excavación, demolición y construcción. Algunos de los equipos que utiliza esta planta son: Separadores magnéticos y de aluminio, compactadores de botellas de PET, máquinas empacadoras y bandas transportadoras.

Cuadro 20. Descripción de diferentes tipos de plásticos.

Número	Siglas	Descripción
	PET (Poli Etilen Tereftalato).	Envases transparentes, delgados, resistentes, de color natural, verde, azul, etc., usados principalmente para envasar refrescos, agua purificada, aceite comestible, alimentos y productos de limpieza.
	PEAD (Poli etileno de alta densidad).	Envases opacos, gruesos, rígidos, de diversos colores, usados para envasar leche, cloro, limpiadores, entre otros productos.
	PVC (Poli cloruro de vinilo).	Envases transparentes con asa, mangueras para jardín, muñecos, tapetes, pisos, entre otros.
	PEBD (Poli etileno de baja densidad).	Bolsas y películas transparentes o pigmentadas, forros de libros y algunos envases.
	PP (Poli propileno).	Envases opacos usados para alimentos en refrigeración, bolsas y películas ligeras que producen ruido al frotarse.
	PS (Poli estireno).	a) Cristal: Envases opacos o transparentes de alimentos, vasos desechables empleados en los aviones. b) Expandido: Unicel o nieve seca para la fabricación de vasos, hieleras, etcétera.

	Otros (plásticos no determinados).	Todos los plásticos conocidos como termoplásticos son reciclables, entre ellos también se incluye el PET y el PEAD, los cuales son, además, los más recuperados en México y el mundo.

En el Cuadro 21 se puede observar algunos de los datos de reciclaje reportados para diferentes países.

Cuadro 21. Porcentaje de reciclaje en algunos países.

PAÍS	RECICLAJE %
E.U.A.	35
CANADÁ	40
JAPÓN	46
ALEMANIA	33
CHINA	50
DINAMARCA	18
FRANCIA	13
SINGAPUR	10
SUECIA	4
INDIA	1.6

Adaptado de varias fuentes: Pokhrel, (2005), Chowdhury (2009), Ducom (2009), Corazon, (2009) y (Björn, 2009).

En el diagrama 2, se observa la metodología básica para el reciclaje que predomina en el ámbito internacional.

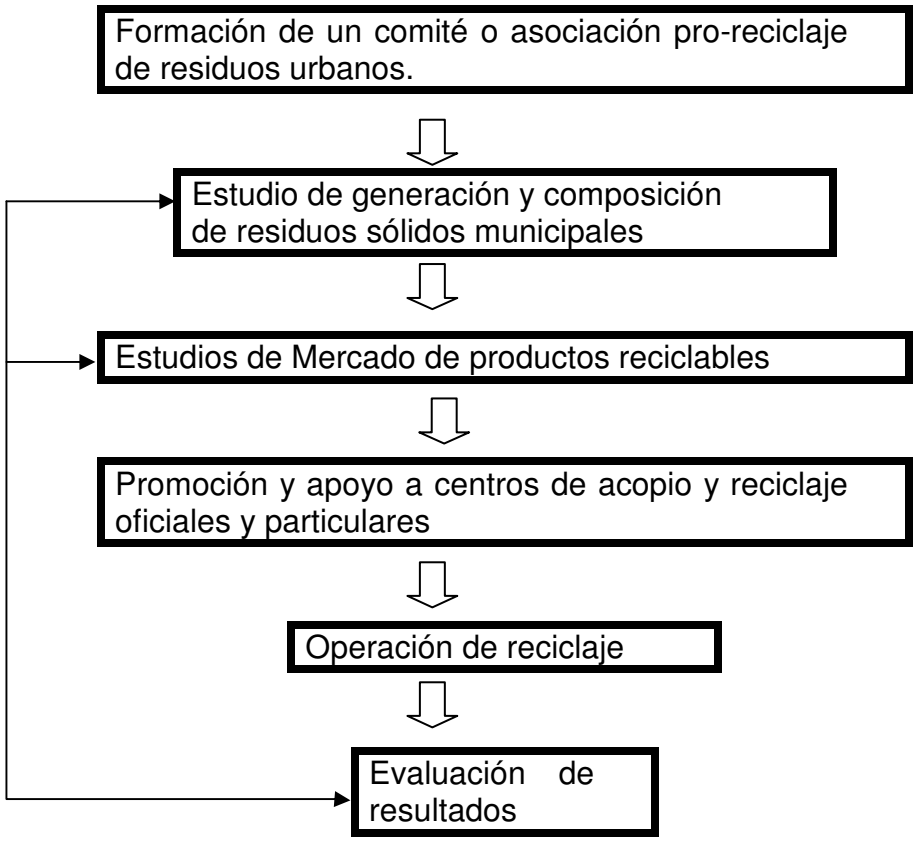


Diagrama 2. Metodología básica para el reciclaje. Fuente: Elaboración propia.

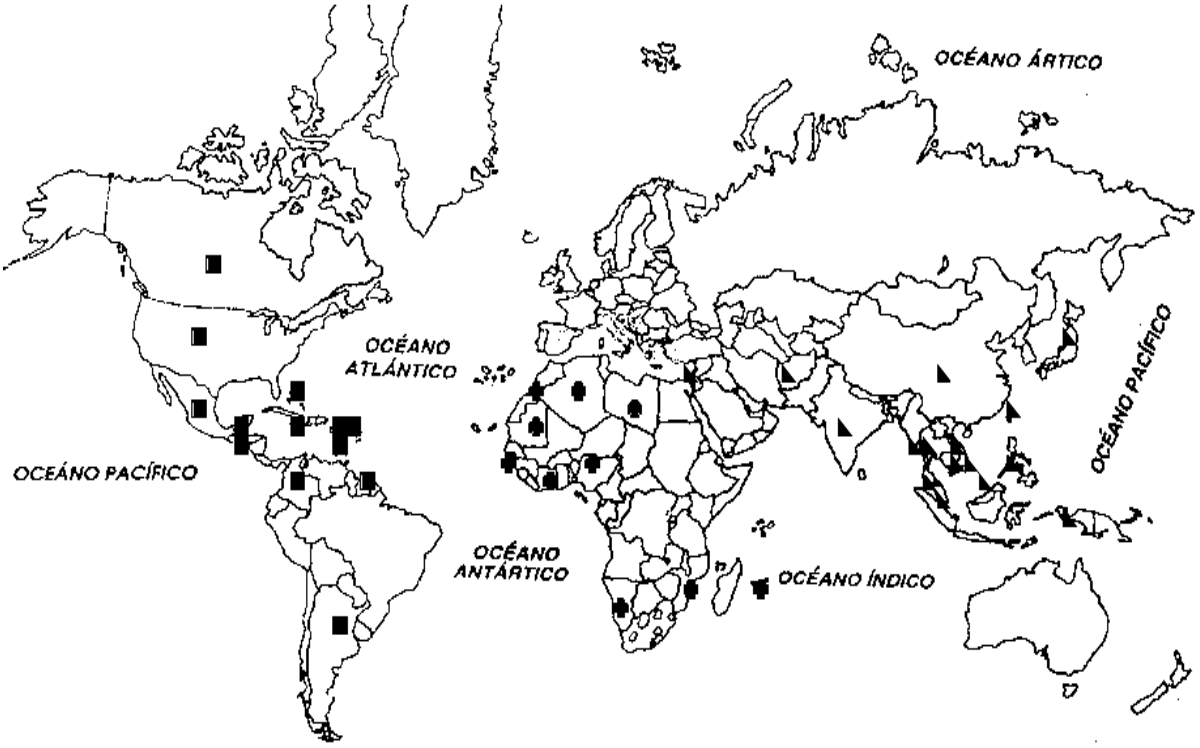
El reciclaje es aceptado a nivel mundial, en la Mapa 6, se señalan los países que han reportado dicha práctica por continentes se hace la siguiente relación.

América: Antigua Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Canadá, Colombia, Estados Unidos, Guyana, Jamaica, México, Salvador, Santa Lucía.

Europa: Austria, España, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Suiza, Turquía.

Asia: Afganistán, Brunei, Camboya, China, Filipinas, India, Indonesia, Japón, Laos, Líbano, Malasia, Myanmar, Singapur, Taiwán, Tailandia, Vietnam. Oceanía: Nueva Guinea, Samoa, Tonga.

África: Argelia, Costa de Marfil, Gambia, Libia, Mauricio, Mauritania, Mozambique, Namibia, Níger, Nigeria.



Mapa 6. Distribución geográfica de reciclaje. Fuente: Elaboración propia.

b) Tratamiento Biológico

i) Compostaje

El compostaje es la degradación aeróbica de residuos orgánicos biodegradables, se puede encontrar reportado en la literatura como compostaje o digestión aerobia, sin embargo en la práctica se llevan a cabo dos tipos de procesos para diseñar y operar plantas de compostaje, el **aerobio** y el **anaerobio**.

El tiempo de elaboración varia de acuerdo a varios factores: la temperatura ambiente, si se voltea periódicamente o no, el tamaño de la materia orgánica y la humedad el tiempo más corto es alrededor de tres meses, el lapso más largo varía de un año a un año y medio.

Por lo que para agilizar el proceso, el tamaño de los residuos tiene que ser disminuido o triturado, además de separar los materiales inertes (Pitchel, 2005).

El objetivo de esta tecnología es dar solución a la ingente cantidad de residuos orgánmicos que hoy en día se generan y aprovechar al máximo los recursos que estos residuos pueden aportar.

Tipos de residuos que entran en este tratamiento son:

- La fracción biodegradable de los desechos sólidos municipales incluyendo comida o alimenticios, papel y cartón u otros celulósicos como madera y algunos textiles.
- Restos de cosechas. Pueden emplearse para hacer compost o como acolchado. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc son menos ricos en nitrógeno.
- Abonos verdes, siegas de césped, malas hierbas, etc.
- Las ramas de poda de los frutales. Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.
- Plantas marinas. Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como Posidonia oceánica, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compost ya que son compuestos ricos en N, P, C, oligoelementos y biocompuestos cuyo aprovechamiento en agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.
- Algas. También pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la fabricación de compost.
- En varios casos se incorpora también estiércol de caballerizas. En algunos casos se reciben lodos de plantas de tratamiento de aguas y en otros casos, bajo mucha supervisión e investigación, se incluyen excretas humanas.

Aproximadamente 100 Kg de materia orgánica y 45 Kg de fracción vegetal dan 5 Kg de impurezas y 60 Kg de compost acabado.

El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada.

Los parámetros que influyen en el compostaje son:

- Temperatura. Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 ºC para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados.

- Humedad. En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad máxima permisible es del 75-85 % mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50-60%.

- pH. Influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6-7,5).

- Oxígeno. El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.

- Relación C/N equilibrada. El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoniaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las deyecciones animales y los residuos de matadero.

Población microbiana. El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetes.

Los pasos de esta tecnología es la siguiente:

- Trituración de la fracción fermentable.
- Alimentación de los residuos al proceso.
- Selección de fracciones recuperables (30 y 50 mm.).
- Fracción fina a área de fermentación:
- Volteando los montones 2 veces al mes. Durante 3 meses.
- Se criban los residuos y se separan.

- Fracción fina en trituradora (Dorr-Oliver).
- Cilíndro dividido en 2 niveles:
  - Superior: Trituración del material.
  - Inferior: Expulsión del material.
- Fracción fina a fermentación: Clásica o Siloda:
  - Clásica: Voltear los montones alargados.
  - Siloda: Nave cerrada con muros y se va pasando el material de una celda a otra. Introducción de oxígeno por el suelo.

Los principales componentes de una planta son:

— Estera de alimentación primaria.
— Transportadores.
— Tolvas -tambor rotatorio.
— Grúa viajera.
— Contenedores.
— Báscula (unidad en Toneladas).
— Prensas.
— Separadores (Magnético, Vibratorio).
— Tractor con pala cargadora-volteadora.

Con respecto a la localización y necesidad de espacio, a nivel municipal las compostas es preferible tenerlas a orillas de los municipios. Aproximadamente en un espacio de 94,300 m^2 se pueden tratar 232 ton/día.

En cuanto el terreno debe tener un área esencialmente horizontal con una pavimentación adecuada, así como terraplenes de acceso y para el foso un suelo de arcilla media y roca blanda, a partir de la mitad inferior del foso y diferentes niveles en el edificio principal, ver un ejemplo de un centro de compostaje básico en la figura 36.

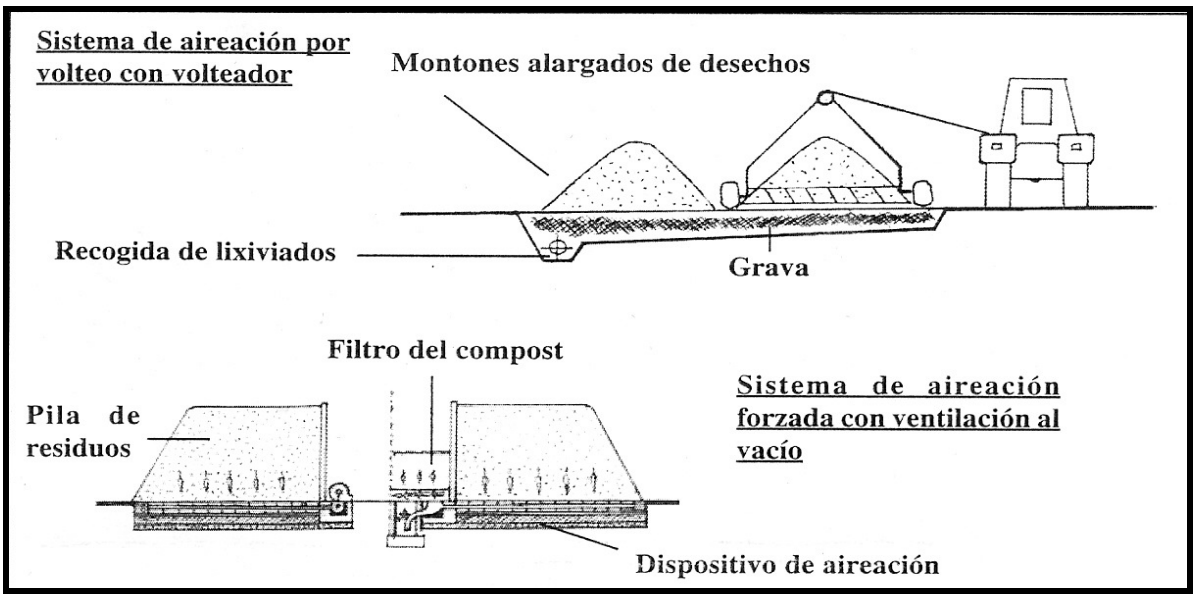


Figura 36. Esquema básico de un centro de compostaje.

Tiempo de Vida Útil aproximadamente 20 años.

Potenciales Impactos Ambientales por un lado se disminuye la materia orgánica que puede ir a parar a los rellenos sanitarios, el producto puede ser un mejorador de suelos y por otro causa problemas de generación de lixiviados y biogás, si es que no esta bien controlado el proceso de compostaje.

Las ventajas y desventajas del compostaje se muestran en el cuadro 22 Las ventajas son muchas, sin embargo solo se hablara de las más importantes.

Cuadro 22. Ventajas y desventajas del Compostaje.

Ventajas	Desventajas
• Reducción de la masa total. • Integración de la totalidad de materia orgánica al ciclo natural • Obtención de un mejorador de suelo. • Destrucción de microorganismos patógenos. • Reduce el volumen de basura. • El producto puede ser usado como cubierta para relleno sanitario o regenerador de suelo de cultivos. • Disminuye el empleo de áreas destinadas a rellenos sanitarios.	-Se requiere de personal capacitado -El mercado para la comercialización del abono es reducido. -Requiere de grandes áreas para llevar a cabo el proceso. -Elevados costos por transportación del producto.

Con respecto a Costo de Inversión la CEPIS/OPS, reporta que una estimación en los costos de inversión para este tipo de tratamiento se encuentra de $20,000.00 a $40,000.00 USD/tonelada y los costos por Tonelada Procesada son de $60.42 USD/Ton, dichos precios varían de acuerdo a las dimensiones y políticas de cada compostera.

La distribución geográfica de aplicación de la técnica de compostaje se muestra en la Mapa 7. Se observa que la práctica de compostaje presenta una distribución cosmopolita.

Los países que usan la técnica por continentes son los siguientes:

América: Argentina, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia Costa Rica, Cuba, Ecuador, Estados Unidos, México, Perú, Trinidad y Tobago, Venezuela.

Europa: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Rusia, Suiza, Turquía, Ucrania.

Asia: Brunei, Camboya, China, Filipinas, India, Indonesia, Laos, Líbano, Malasia, Myanmar, Nepal, Singapur, Tailandia, Vietnam.

Oceanía: Islas Marshall. África: Argelia, Camerún, Costa de Marfil, Gambia, Libia, Mauritania, Mozambique, Namibia, Níger, Nigeria.

Mapa 7. Distribución geográfica de compostaje. Fuente: Elaboración propia.

ii) Digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es la degradación de residuos orgánicos en condiciones controladas y en ausencia de oxígeno, generando biogás y composta. En la literatura es común encontrar el término de digestión anaerobia y biometanización sin embargo ambos conceptos se usan como sinónimos (en el caso de reactores).

Este proceso tiene como objetivo energético la obtención de biogás al igual que reducir las emisiones de efecto invernadero y como objetivo ambiental reducir la cantidad de residuos.

En la figura 37, se muestran los principales componentes de una planta.

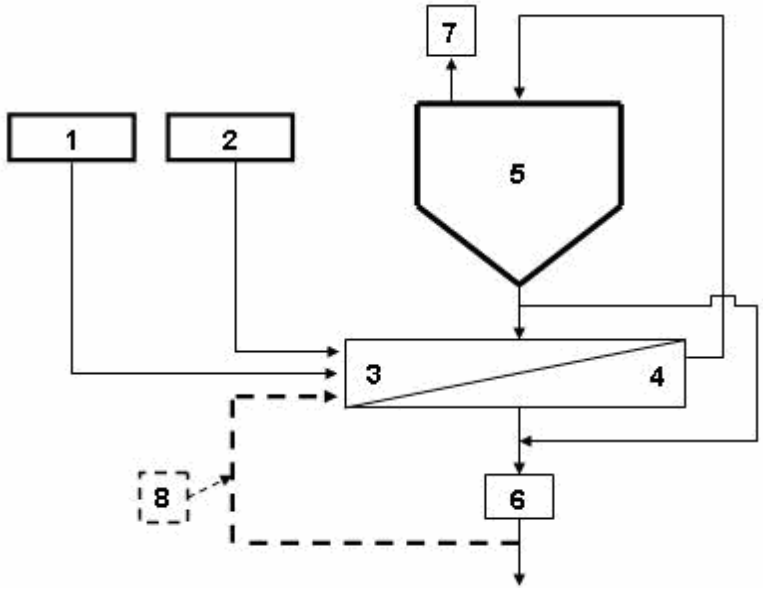


Figura 37. Componentes de una planta.

1.- Residuo A. Residuos a biometanizar mediante digestión anaerobia (por ejemplo FORSU). 2.- Residuo B. Residuo que actúa como fuente de microorganismos para el desarrollo de procesos de digestión anaerobia (por ejemplo, lodos anaerobios procedentes de plantas de depuradoras con digestores anaerobios). 3.- Unidad de mezclado de residuos. 4.- Unidad de bombeo.5.- Reactor anaerobio de Biometanización. 6.- Compostaje anaerobio.7.- Biogás producido durante la etapa de digestión anaerobia. 8.-Corriente de recirculación de compost maduro hacia la unidad de mezclado. Esta es la única modificación sobre el diagrama de flujo de una planta de biometanización estándar.

La tasa de producción de gas lograda con esta tecnología es del 20 al 30% del volumen del digestor por día.

Las plantas instaladas en el mundo son de capacidades muy diversas. En los Estados Unidos, se tienen registros de plantas procesadoras de residuos sólidos municipales productoras de composta que van de 4 a 360 toneladas/día y esto dificulta el establecer un parámetro de inversión.

El costo puede variar y llegar a ser muy caro, dependiendo del sistema y/o material que se deseé utilizar y el nivel de producción requerido. Por ejemplo una instalación sencilla para un hogar y con digestor de polietileno de 4 m^3 puede costar, aproximadamente, $550 USD.

El Costo por Tonelada Procesada Varía de $52,00 a $130,00 USD por tonelada/día

En cuanto a los digestores pueden llegar a alcanzar hasta diez años de vida útil.

Los residuos que entran a este tratamiento son la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. Lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, aguas residuales industriales, residuos orgánicos industriales, municipales y residuos agrícolas y ganaderos (Cuestas, 2007).

Manoni, 2009 menciona que en este tratamiento se incluyen una gran variedad de residuos provenientes de rastros, purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc., residuos municipales, residuos industriales y de excretas animales y humanas.

La digestión anaerobia también es un proceso adecuado para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica, como las producidas en muchas industrias alimenticias.

Características:

Residuos orgánicos biodegradables.

Humedad por debajo del 85-90% (Salminen, 2002).

En plantas de biometanización es necesario realizar pretratamiento: separación de los residuos sólidos orgánico y trituración (Cuestas, 2007).

En el cuadro 23 se enlistan las ventajas y desventajas de esta tecnología.

Cuadro 23. Ventajas y desventajas de la digestión anaerobia.

Ventajas	Desventajas
• Es un proceso natural para el tratamiento de residuos orgánicos. • Requiere menos espacio que el vertedero o compostaje. • Reduce el volumen de residuos que deben eliminarse. • Puede reducir el olor del residuo en 80%. • Es una fuente de energía renovable. • Produce un combustible de alta calidad y ecológicamente correcto (combustión de metano produce sólo agua y dióxido de carbono, no genera gases tóxicos). • Maximiza los beneficios del reciclaje / reutilización de la materia orgánica. • Produce como residuo abono, rico en nutrientes y libre de microorganismos patógenos. • Reduce significativamente la cantidad de emisión de dióxido de carbono y metano, gases que causan el efecto invernadero. El dióxido de carbono producido en la digestión anaeróbica de carbono es de ciclo corto, es decir, el carbono de la materia orgánica ha sido recientemente eliminado de la atmósfera, por lo que la energía producida en este proceso no se considera como una contribución al cambio climático. • En la mayoría de los casos es una buena inversión económica ya que reduce el gasto energético.	• Hay que buscar en donde depositar los lodos. • Requiere una supervisión muy continua y precisa. • El metano (CH_4-) es explosivo al mezclarse con aire en una proporción que va del 5% al 15%. • De acuerdo al objetivo de la producción se puede requerir de un medio de almacenamiento muy seguro y costoso. • Se requieren ciertas precauciones de manejo. • El proceso es sensible a la temperatura, pH, velocidad de carga y cambio del tipo de carga. • El proceso de digestión anaeróbico no genera calor.

La distribución geográfica de aplicación de la aplicación de esta técnica se muestra en la Mapa 8. Los países más representativos por continentes son:

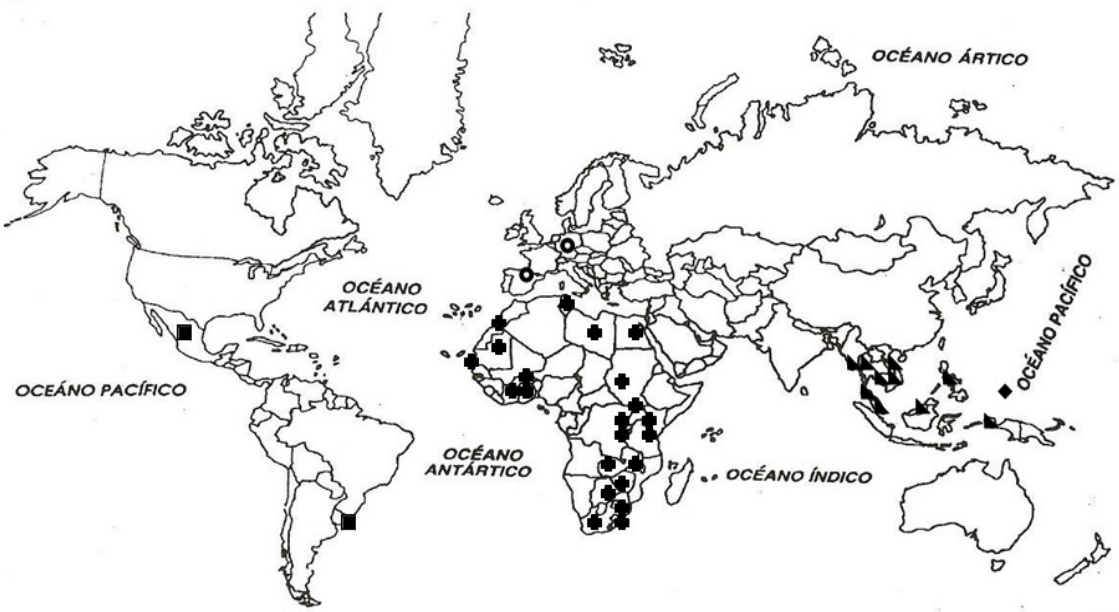
América: México, Uruguay y Brasil.

Europa: Alemania, España.

Asia: Brunei, Camboya, Filipinas, Indonesia, Laos, Malasia, Myanmar, Singapur, Tailandia, Vietnam.

Oceanía: Palaos.

África: Botswana, Burkina Faso, Burundi, Costa de Marfil, Egipto, Ghana, Kenia, Lesoto, Libia, Malawi, Mauritania, Morocco, Rwanda, Senegal, Sudan, Sur África, Swazilanda, Tanzania, Túnez, Uganda, Zambia, Zimbawe



Mapa 8. Distribución geográfica de digestión anaerobia y/o biometanización. Fuente: Elaboración propia.

iii) Vermicompostaje

El vermicompostaje, es una técnica que consiste en la utilización de lombrices para la obtención de compost a partir de restos de materia orgánica. El objetivo es reducir los residuos orgánicos.

Primero, los restos orgánicos son descompuestos; posteriormente, estos son digeridos por las lombrices.

La lombriz escogida es la conocida como lombriz roja de California aunque hay otras especies, la más seleccionada es la roja.

La lombriz roja acelera la descomposición de la materia orgánica:

-Directamente: se alimenta vorazmente (ingiere su peso en un solo día) de restos orgánicos y las galerías que forma al desplazarse aumentan la porosidad del material a vermicompostar, aireando automáticamente el material.

-Indirectamente: excreta hasta el 60% de lo que ingiere; el material digerido es un óptimo microhábitat para un gran número de microorganismos descomponedores del suelo: estimula la microflora del suelo.

Es muy prolífica: en ambientes favorables generará entre 2 y 21 individuos por incubación (1 incubación/semana). Las lombrices se alimentan de un amplio abanico de residuos orgánicos, incluido papel de diario, cartón o cáscaras de huevo.

Tipos de residuos que entran a este tratamiento:

Para este tratamiento se requiere principalmente de material orgánico disponible, como estiércol, residuos de cosecha y de cocina, frutas o verduras podridas, hojarascas, residuos de jardinería, etc.

Es recomendable mezclarlos para una rápida y uniforme putrefacción, se debe de evitar introducir residuos de plástico, metal u otro material no putrescible.

Una vez llena la compostera, se recomienda cubrir con paja o pasto seco u otro material orgánico para evitar reducir la humedad.

A los 25 o 30 días de llenada la compostera o cuando se observe un nivel de descomposición avanzado se agregan las lombrices.

Se recomienda usar la lombriz roja californiana (*Eisenia andrei*).

Dos kilogramos de gusanos (aproximadamente unos 8.000) reciclarán más de un kilogramo de basura orgánica en 24 horas.

Los aspectos más importantes para tener en cuenta a la hora de construir un vermicompostador son:

1. El contenedor tiene que facilitar la salida de los lixiviados. Se debe tener en cuenta una forma de recoger los lixiviados.
2. Debe presentar como mínimo dos compartimentos separados por pequeños agujeros, para que las lombrices pasen al material fresco y nos dejen el vermicompost hecho. El separador puede ubicarse de forma horizontal (las lombrices ascienden o descienden) o vertical (las lombrices se desplazan lateralmente).
3. Una tapa por arriba para añadir y extraer los materiales y evitar la presencia de moscas y otros seres no deseados. En la figura 38 se muestra un ejemplo.

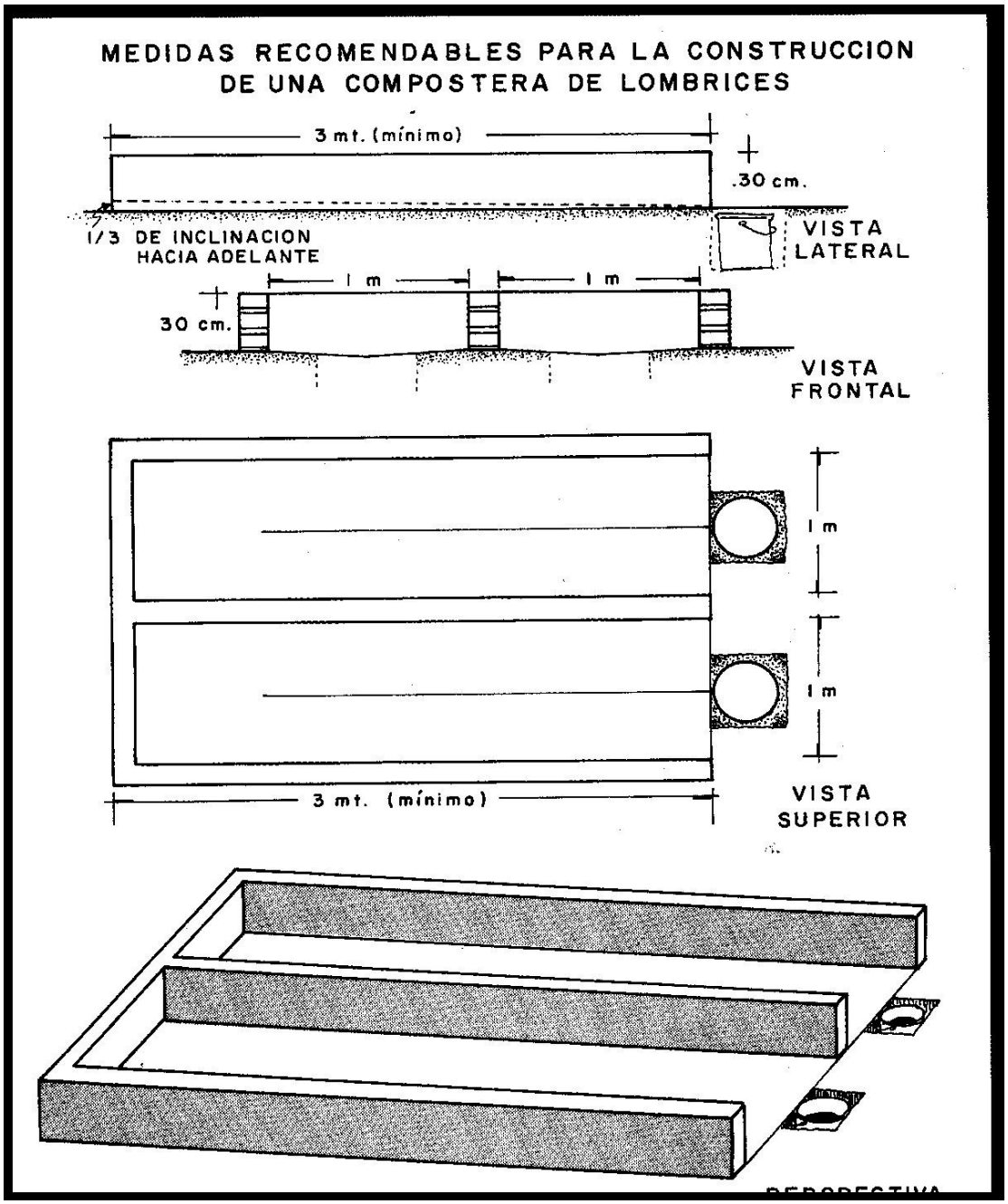


Figura 38. Dimensionamiento de una vermicompostera. Fuente: Quispe, 2006.

Tiempo de vida es indefinido, ya que depende del cuidado necesario para la proliferación de las lombrices.

El recipiente no debe dejar pasar la luz. Además, tanto a la tapa como a los laterales de recipiente deberán realizárseles unos orificios pequeños para favorecer la aireación.

Tanto a nivel industrial como a nivel domestico, el espacio puede variar y ser sujeto a la necesidad del usuario incluso puede usarse directo al suelo. Además que puede colocarse en cualquier espacio aunque es recomendable donde haya condiciones cálidas, un tanto húmedas, oscuras y secas.

Para mantener en condiciones óptimas de las lombrices y conseguir un buen vermicompost se requiere de:

1. Ausencia de luz: las lombrices viven debajo de la superficie del suelo, no toleran bien la luz.
2. Humedad: la presencia de cutícula permeable hace que pierda agua fácilmente, no les conviene que baje drásticamente la humedad, porque no sólo paraliza la actividad sino que puede reducirnos la población.
3. Temperatura: el óptimo debe oscilar entre los 20ºC, aunque resisten temperaturas entre los 4-30ºC. Así cuando la temperatura es inferior a 7ºC , las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.
4. pH, no soportan valores inferiores a 4.5, la acidez les resulta desagradable, aunque algo leve pueden tolerarla.
5. Alimentación. Prefieren los restos vegetales algo descompuestos con una relación C/N relativamente baja, esto hace que presenten una fuerte selectividad con respecto a la vegetación que existe sobre el suelo. Los restos de verduras y frutas de cocina son de su agrado en cuanto a la relación C/N.

En el proceso se reconoce tres etapas, en las dos primeras, etapas de fermentación, se verifican en condiciones aeróbicas, donde el aire debe circular libremente en la masa a compostar.

La tercera etapa, etapa de maduración, se desarrolla sin presencia de aire, actuando microorganismos anaeróbicos. Es preciso tener en cuenta que durante las tres etapas, la masa debe tener una humedad suficiente, sin humedad no se verifica fermentación, sin embargo ésta humedad no debe ser excesiva, de lo contrario no habrá una adecuada circulación del aire y oxigenación en las dos primeras etapas y se disolverán los nitratos en la última etapa. Estas etapas son las que aprovechan las lombrices para ir consumiendo la materia orgánica.

El vermicompostaje doméstico ayuda a solucionar el problema de la basura, grave en todo el mundo. Más de la mitad de los residuos que se tiran a diario en el hogar son materias orgánicas.

Otras ventajas se enlistan en el cuadro 24.

Cuadro 24. Ventajas y desventajas del vermicompostaje.

Ventajas	Desventajas
-Los gusanos en el suelo están que lo airean, ayudan al suelo a retener más agua, eliminan la materia orgánica muerta y la convierten en el mejor fertilizador para las plantas, sea natural o químico. -No hay malos olores. -Reducimos la cantidad de materia orgánica que podría ir al basurero. -A gran escala, junto con el compostaje se produce un ahorro significativo en el transporte y gestión de los residuos a nivel municipal. -Este método se ha usado para resolver deficiencias del servicio de recolección de basura en núcleos rurales alejados de la cabecera municipal, permitiendo a la vez que los pobladores aprovechen sus desechos domésticos y agrícolas para la producción de compost.	-Su limitación, ya que se pueden degradar metales, plásticos, productos químicos, aceites, disolventes, insecticidas, jabones, pintura, etc.

Se contemplan normas internacionales respecto a limitaciones de metales pesados, patógenos y atracción de vectores, específicamente las correspondientes a la EPA (Fed. Reg. 40, C.F.R. Part 503, 1993) y a la Unión Europea (Council Directive 86/278/EEC).

Costo de Inversión es de aproximadamente: -$34.00 USD el kg de lombriz roja de California, -Los costos aunque variados según el tamaño del vermicompostador son baratos ya que la materia prima es gratuita proveniente de diferentes lugares que lo desechan o del hogar. El costo por Tonelada Procesada es de $20.00 USD/ton/día.

La distribución geográfica de aplicación de la aplicación de esta técnica se muestra en la Mapa 9. Solo se encontraron 3 reportes de países que llevan a cabo dicha tecnología y son Cuba, México y España.

Mapa 9. Distribución geográfica de vermicompostaje. Fuente: Elaboración propia.

Otros posibles métodos del tratamiento biológico son:

iv)Biotransformación

Es una variante del composteo en pilas en el cual se aplican inoculaciones, de las cuales las dos primeras son con bacterias y la última con hongos. Se necesita un tiempo de 45 días para su proceso, el producto obtenido se denomina biabono o compost mejorado.

Ventajas:
Es útil para la agricultura, contribuye a conservar la capa orgánica desuelo.

Desventajas:
Requiere de personal capacitado y es más costoso y no es seguro el mercado.

v) Cocomposteo

Los residuos tratados por medio de este sistema son: residuos orgánicos domiciliarios y lodos residuales domiciliarios.

Se presenta una degradación aerobia de mezclas de lodos y materia orgánica proveniente de residuos domiciliarios, con objeto deformar un producto estable con propiedades agrologicas, aquí las pilas de la mezcla tienen un alto contenido de humedad.

Ventajas:
Obtención de un regenerador de suelo, destrucción de microorganismos, reducción de la masa total.

Desventajas:
No se aconseja usar el producto a ningún cultivo destinado a la alimentación humana, requiere de grandes áreas para el proceso, altos costos de transporte.

vi) Producción de alimentos proteicos para actividades pecuarias.

El tipo de residuos que entran a esta tecnología son los residuos alimenticios provenientes de hoteles, restaurantes, centros educativos, rastros etc.

Con este método los residuos son procesados por operaciones de trituración, homogenización y esterilización, para así obtener un producto apto para consumo del ganado porcino.

Ventajas:
Obtención de un producto para alimentación del ganado porcino, fácil operación, no requiere grandes superficies para el proceso.

Desventajas:

Requiere equipo adicional para suministro de vapor, elevado consumo de combustible.

La materia prima comienza a degradarse rápidamente después de su generación.

vii) Producción de harinas vegetales para la elaboración de alimento balanceado para animales domésticos.

Los residuos para este tipo de tratamiento son los provenientes de vegetales de mercados o supermercados principalmente.

Ventajas:
Obtención de un producto utilizado como complemento para alimento balanceado para animales.

Desventajas:
No requiere grandes áreas para el proceso.

Dichos métodos aunque son fáciles y prácticos poco se utilizan.

c) Tratamiento mecánico-biológico

Esta tecnología comprende:

Un acondicionamiento mecánico, en donde se separan los materiales reciclables y aquellos que pueden obstaculizar el proceso, materiales con potencial de contaminación, así como prepara los residuos para la etapa biológica posterior, a través de una trituración, disgregación y homogenización.
Un tratamiento biológico bajo condiciones controladas, en donde se acelera la degradación de la fracción orgánica. Esto se puede realizar mediante fermentación, degradación aeróbica o una combinación de ambos procesos.

c) Tratamiento mecánico – biológico

Esta tecnología como su nombre lo dice, combina el tratamiento mecánico y el tratamiento biológico de la parte orgánica de los residuos.

El objetivo de esta tecnología es disminuir el volumen a confinar y así minimizar el tamaño del relleno sanitario o prolongar su vida útil, disminuir la actividad biológica de la fracción orgánica de los RSU hasta que en el relleno sanitario no existen cantidades reales de emisión de biogás, disminuir a un mínimo la concentración de los contaminantes en los lixiviados que pueden contaminar el acuífero (en tiraderos a cielo abierto sin impermeabilización o con impermeabilización dañada) o se deben de tratar y disminuir la cantidad de residuos que se tiene que confinar o incinerar.

Tipos de residuos que entran a este tratamiento:

Los fragmentos de valor caloríficos altos como plásticos son removidos para la recuperación de energía, y metales son separados para el reciclaje. El tratamiento biológico y el proceso anaerobio producen biogás que puede usarse para la producción de energía.

Residuos sólidos urbanos y de manejo especial y lodos de depuración.

Capacidad

- Agua y Materia Orgánica consumida 20-25 %
- Materia orgánica estabilizada e inertes 20 %
- Metales ferrosos y no ferrosos 3-5 %
- Fracción compuesta por textiles, papel/cartón, plásticos 45-55 %

Los principales componentes de una planta son:

- Recepción del RSU
- Trituración
- Estabilización y bisecado
- Tratamiento de gases
- Prensado o afino (incluida una preparación de CDR)

Obras Previas a la Instalación:

El terreno debe estar ubicado en un lugar accesible a los camiones que transportarán la materia prima.

Requerimiento para su Aplicación:

Como primer paso se separan de los residuos entregados los objetos voluminosos que podrían dañar el tambor homogenizador. En esta etapa pueden separarse también materiales reciclables.

Proceso: Entrada y control de los residuos, acondicionamiento mecánico, tratamiento biológico y disposición final de los residuos tratados en el relleno sanitario.

Tiempo de post clausura de 3 – 5 años.

La descomposición de gran parte de la fracción orgánica sucede durante el pretratamiento, alcanza densidades de hasta 1.4 t/m³ una vez compactado en el relleno. La concentración de COT y DBO_5 en los lixiviados se reduce al orden de 60 a 80 %.

Las ventajas y desventajas del tratamiento Mecánico Biológico se pueden ver en el cuadro 25.

Cuadro 25. Ventajas y desventajas del tratamiento Mecánico-Biológico.

Ventajas	**Desventajas**
Este tipo de tratamiento puede aprovechar la separación de materiales reciclables.	Se debe de contar con un periodo largo de tiempo desde un primer examen general hasta el inicio del funcionamiento regular.
Alto grado de descomposición de la materia orgánica antes de su disposición.	Adaptación de la técnica de los métodos a las condiciones locales donde se pretenda implantar la tecnología.
Reducción de volumen de los residuos de un 50-70%, alto grado de compactación.	La temperatura es una limitante para el buen rendimiento de los microorganismos (máximo 70°C).
Material es biológicamente semi-inerte y posee un limitado potencial de generación de biogás.	Se debe de contar con un buen suministro de oxígeno ya que en caso contrario se presentaran condiciones anaerobias.
El proceso puede ser aplicado para hacer composta.	

Ausencia de emisiones contaminantes (las principales emisiones son vapor de agua y dióxido de carbono). Todo el proceso se realiza en una nave sometida a depresión, enviando los gases a un biofiltro, de manera que no se producen olores en el exterior. Producción mínima de lixiviados, que además pueden ser recirculados en el proceso. Todo el proceso se encuentra totalmente automatizado, teniendo en tiempo real información de los parámetros del proceso y evitando el contacto entre los residuos y los trabajadores. Sistema sencillo, fiable y de bajo costo. Fácil aceptación social del emplazamiento.	

La etapa de tratamiento biológico tiene como objeto cumplir con las especificaciones de la norma Alemana TASi.

Un ejemplo de costo de Inversión es de $350.00 USD /ton. El Costo por Tonelada Procesada se estiman que varia de $17.00 - $20.00 USD/Ton.

Combinada con un cambiador de post combustión Temperatura de 1200℃. Si los residuos contienen ingredientes orgánicos y sus capacidades caloríficas exceden 7Mj/kg deben ser quemados ó llevados a combustión.

Esta tecnología se ha desarrollado en Brasil, pruebas piloto se están haciendo en Phitsanulok, Tailandia y Al-Salamiel, Siria e Italia, no se encontraron reportes en otras localidades.

En Italia hay varias empresas que venden esta tecnología y son: MONTANASO, LOMBARDO, BERGAMO, CORTEOLONA, GIUSSAGO, LACCHIARELLA Y VILLAFALLETTO.

d) Tratamiento térmico

Incineración.

La incineración es un proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica (en un ambiente rico en oxígeno), en la cual todos los factores de combustión como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia.

La incineración en masa, es utilizada para el tratamiento y disposición de residuos sólidos municipales alrededor del mundo. Los incineradores en masa están

diseñados para ser suficientemente flexibles para enfrentarse con una amplia variedad de composiciones de residuos -Comisión Europea, 2004- (Williams, 2005).

El objetivo de esta tecnología es: reducir al máximo los residuos sólidos mediante un proceso de combustión.

Los residuos que entran en este proceso son todos los Residuos Sólidos Urbanos o Municipales.

Los residuos sólidos urbanos se queman sin ningún tipo de pre-procesamiento además de la remoción de los objetos demasiado grandes para ser introducidos por el sistema de alimentación.

Algunos incineradores tienen una capacidad que va de 50 a 1,000 toneladas por día por cámara de incineración.

Humedad máxima del 20 % en los residuos sólidos (Patumsawad, 2002).

En el diagrama 3, se muestran los principales componentes de una planta de incineración.

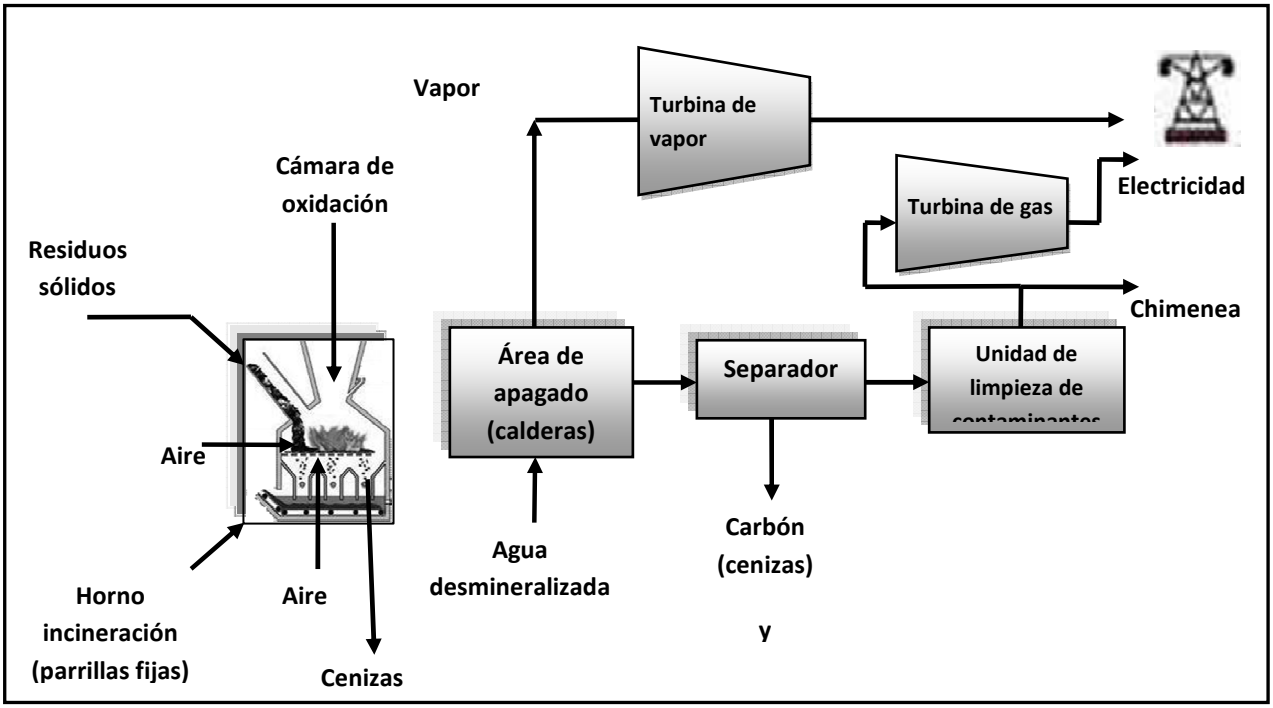


Diagrama 3. Principales componentes de una planta de incineración. Fuente: Elaboración propia.

La incineradora consta básicamente de:

- Una tolva provista de un sistema de alimentación que garantiza una entrada continua y lo más homogénea posible de los residuos.
- Un dispositivo de alimentación de los residuos al horno.
- Una parrilla de barrotes o rodillo, horizontal o inclinada.

Localización y Necesidad de Espacio:

Las plantas de incineración son de diferente tamaño, año, tipo, y volumen de trabajo, pueden operar en combinación con la pirólisis con una de combustión de alta temperatura. En carbón enriquecido residuos de pirólisis y la pirólisis de gas. Otros nuevos conceptos son considerados como por parte del proceso de conversión de alta presión o por un proceso de gasificación a alta temperatura. En todas estas tecnologías el producto final termina como un producto licuado.

Requerimiento para su Aplicación:

-El primer sistema requiere eliminar los elementos no combustibles de los residuos sólidos y además reducir el tamaño de las partículas para su incineración.

-El segundo no tiene estos requerimientos, por lo que la incineración se hace al total de los residuos sin ningún tratamiento previo. A este segundo método se le denomina incineración en masa.

Proceso:

La categoría de incineración en masa puede ser dividida en los diseños de incineración en masa con pared de agua (MB/WW por sus siglas en inglés), incineración en masa con pared de agua rotatoria (MB/RC), y incineración en masa con pared refractaria (MB/REF).

Los diseños de incineración con pared de agua tienen tubos llenos de agua en las paredes de horno que son utilizadas para recuperar el calor de la producción de vapor y/o electricidad. La incineración con pared de agua rotatoria utiliza una cámara de incineración rotatoria construida con tubos llenos de agua, seguida de otra cámara de incineración de pared con agua. Los diseños de las cámaras de incineración con pared refractaria son más antiguos y generalmente no incluyen ningún tipo de recuperación de calor.

La incineración se ha convertido en una de las alternativas de mayor importancia para la eliminación de los residuos sólidos urbanos ya que disminuye su volumen hasta en un 90%.

Los impactos ambientales, tanto positivos como negativos y las ventajas y desventajas de esta tecnología se muestran en el cuadro 26.

Cuadro 26. Impactos ambientales, ventajas y desventajas de la técnica de incineración.

Impactos Ambientales	
Positivos: La destrucción de algunos desechos y la destoxificación de otros para hacerlos más apropiados para la disposición final, e. g. combustibles cancerígenos, material patológicamente contaminado, compuestos tóxicos orgánicos, o material biológicamente activo que pudiera afectar el tratamiento de aguas residuales. La destrucción de componentes orgánicos de residuos biodegradables que, cuando son dispuestos en rellenos sanitarios, generan directamente gases. El remplazo de combustibles fósiles con generación de energía con consecuencias benéficas para el efecto invernadero.	Negativos: El proceso de incineración produce un residuo de desperdicios sólidos que requiere un manejo y una disposición final.
Ventajas	**Desventajas**
Una reducción del volumen y del peso de los desechos, especialmente de los sólidos voluminosos con un contenido alto en combustible. La reducción puede ser hasta del 90% del volumen y del 75% del peso de los materiales que serías de otra manera dispuestos en rellenos sanitarios. La recuperación de energía a partir de desperdicios orgánicos con alto valor orgánico.	Debido a la alta inversión requerida, la incineración generalmente conlleva costos mucho más altos y periodos de retribución más largos que la disposición final en rellenos sanitarios. Hay una falta de flexibilidad en la elección de opciones de disposición de residuos una vez que la incineración ha sido elegida. Debido al costo tan alto, el incinerador debe de ser instalado para contratos a largo plazo. El incinerador se diseña en base a un valor calorífico definido para los residuos. La remoción de materiales como papel y plásticos para el reciclaje y la recuperación de recursos reduce el valor calorífico global de los residuos y en consecuencia afecta el rendimiento del incinerador.

Fuente: Adaptado de EPA, 2009.

Se reportan que el consto de Inversión, anda en $110 USD/ton/año, otro dato: Para residuos sólidos urbanos el costo de de inversión se encuentra entre 1202 y 2104 €/kW instalado, aunque estas cifras pueden variar ya que dependen de otros parámetros como el pretratamiento y el tratamiento de residuos a instalar.

Costo por Tonelada Procesada:$74.00 USD/ton, otro dato: Una incineradora de RSU para una capacidad de tratamiento de 300 000 toneladas anuales y una potencial total de casi 20 mW eléctricos, con una composición de RSU de 42% de materia fermentable, 44 % de material combustible y 14% de materia inerte tiene un costo de explotación real de 30.1 €/ton (Elias, 2005).

Algunas empresas extranjeras que venden esta tecnología son: INTUSER, CONSUTECH y KELLEHER

La distribución geográfica en el ámbito mundial de la aplicación de la técnica de incineración, se muestra en el mapa 10.

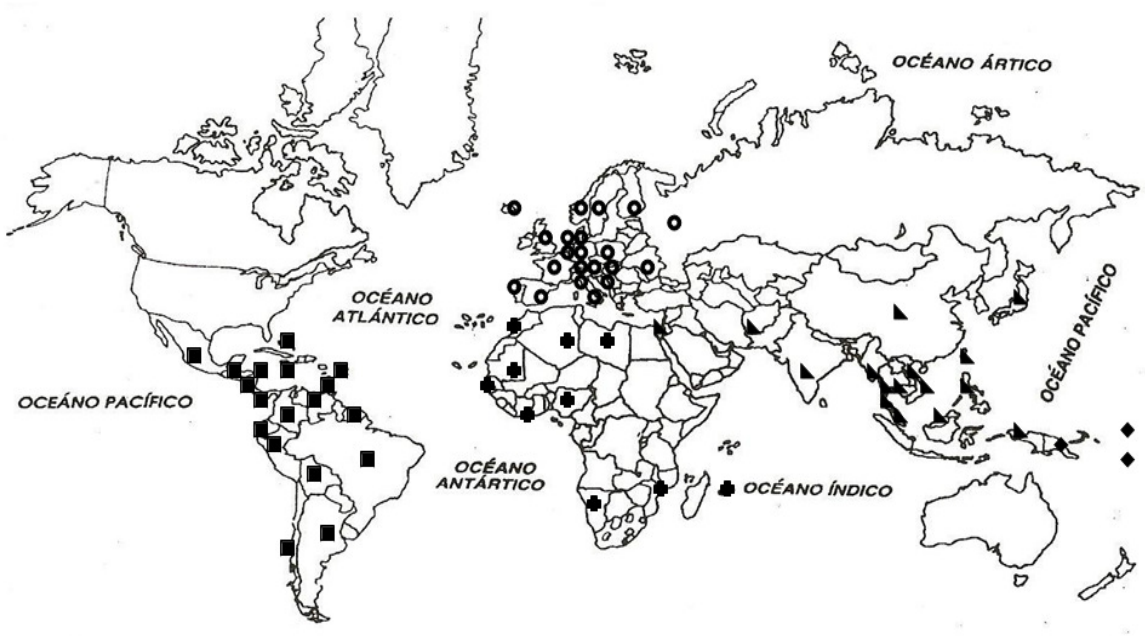
América: Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guyana, Jamaica, México, Nicaragua, Perú, Salvador, Trinidad y Tobago, Venezuela.

Europa: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Hungría, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Rusia, Suecia, Suiza, Ucrania.

Asia: Afganistán, Brunei, Camboya, China, Filipinas, India, Indonesia, Japón, Laos, Líbano, Malasia, Myanmar, Singapur, Taiwán, Tailandia, Vietnam.

Oceanía: Nueva Guinea, Samoa, Tonga.

África: Argelia, Costa de Marfil, Gambia, Libia, Mauricio, Mauritania, Mozambique, Namibia, Níger, Nigeria.



Mapa 10. Distribución geográfica de prácticas de incineración en el mundo. Fuente: Elaboración propia.

Otras modalidades o subgrupos se mencionan a continuación:

i)Incineración lecho fluido

Tipos de residuos que entran a este tratamiento:

Procesa una amplia gama de residuos: Residuos sólidos municipales, lodos provenientes de aguas residuales, residuos peligrosos, residuos líquidos y gaseosos, residuos de difícil combustión y plásticos. La incineración se logra con mayor facilidad cuando los residuos han sido preseleccionados y triturados. El tamaño de las partículas de entrada tiene que ser menor de 30 mm. La eficiencia en la combustión es alta a una temperatura relativamente baja, cuando los residuos de alimentación han sido incinerados espontáneamente, una vez que el lecho ha sido precalentado a 500 ℃ aproximadamente.

Es necesario retirar el 15% de agua de los lodos provenientes de aguas residuales para que puedan ser procesados por incineradores para lodos de aguas residuales. Los incineradores de lecho fluido para procesar residuos sólidos municipales son comunes en Estados Unidos, Japón y Suecia (Williams, 2005). as ventajas y desventajas de la incineración de lecho fluidizado, se enlistan el cuadro 27.

Cuadro 27. Ventajas y desventajas de la incineración de lecho fluidizado.

Ventajas	Desventajas
• La temperatura de operación (alrededor de 850 °C) es ideal para la remoción de SO_2/SO_3 por medios secos (adición de piedra caliza o dolomita) • Alta eficiencia de combustión a una temperatura relativamente baja, los residuos alimentados se incineran espontáneamente una vez que la caldera ha sido precalentada a 500 °C. • El lecho se enfría muy lentamente, y es posible reutilizar la rápidamente 8 a 16 horas después del apagado. • Posee una buena flexibilidad en cuanto a la alimentación de residuos. • Alta eficiencia en la conversión de generación de energía, especialmente cuando la incineración es presurizada. • Buena transferencia de calor desde la cama hasta las paredes y cama internas, provocado una temperatura de la cama homogénea.	• Se requiere una alimentación de partículas de residuos de menores a 300 mm. • Se requiere una caída de presión relativamente alta para “fluidizar” una cama de partículas granulares. • Los gases de incineración contienen una carga pesada de polvo. • La regulación y el control de los lechos fluidizados son complicados. • La posible incrustación de sílica en la cama limita la temperatura de operación entre 850 y 950 °C. • En el caso de los incineradores de lecho fluidizado el desgaste de las superficies sumergidas, la aparición de partículas de desgaste, la evolución de la distribución del tamaño de las partículas y la composición de la materia de la cama no puede ser predicho debido a la inexperiencia en la operación de los incineradores.

ii) Incineradores de aire

Los incineradores de aire o pirolitícos, son utilizados para la incineración de residuos clínicos y para algunos residuos industriales. El sistema se utiliza principalmente para residuos sólidos. En la mayoría de los casos no es necesario un pre-tratamiento de los residuos antes de cargar el horno (Williams, 2005).

iii) Incineradores de horno rotatorio

Los incineradores de horno rotatorio, han sido utilizados para una gran variedad de residuos, que incluye residuos sólidos urbanos, lodos de aguas residuales, residuos industriales y residuos peligrosos y para la limpieza de suelos contaminados. Sin embargo, son utilizados más comúnmente en el tratamiento de residuos peligrosos, clínicos e industriales. En algunos casos toda la carga de residuos se introduce en el horno para ser completamente destruida. (Williams, 2005).

iv) Incineración de residuos de derivados de combustibles

El tratamiento de los residuos consiste generalmente en la remoción de los residuos no-combustibles y en la fragmentación, que generalmente aumenta el valor calorífico y proporciona un combustible más uniforme. La cámara de incineración depende del diseño de la caldera. La mayoría de las calderas utilizadas para la incineración de desechos derivados de combustibles utilizan fogoneros esparcidores y pelusas de fuego en semi-suspensión. Un subconjunto de los RDF es la tecnología de incineración en lecho fluidizado (FBC).

Los principales componentes de la planta se muestran en la figura 39.

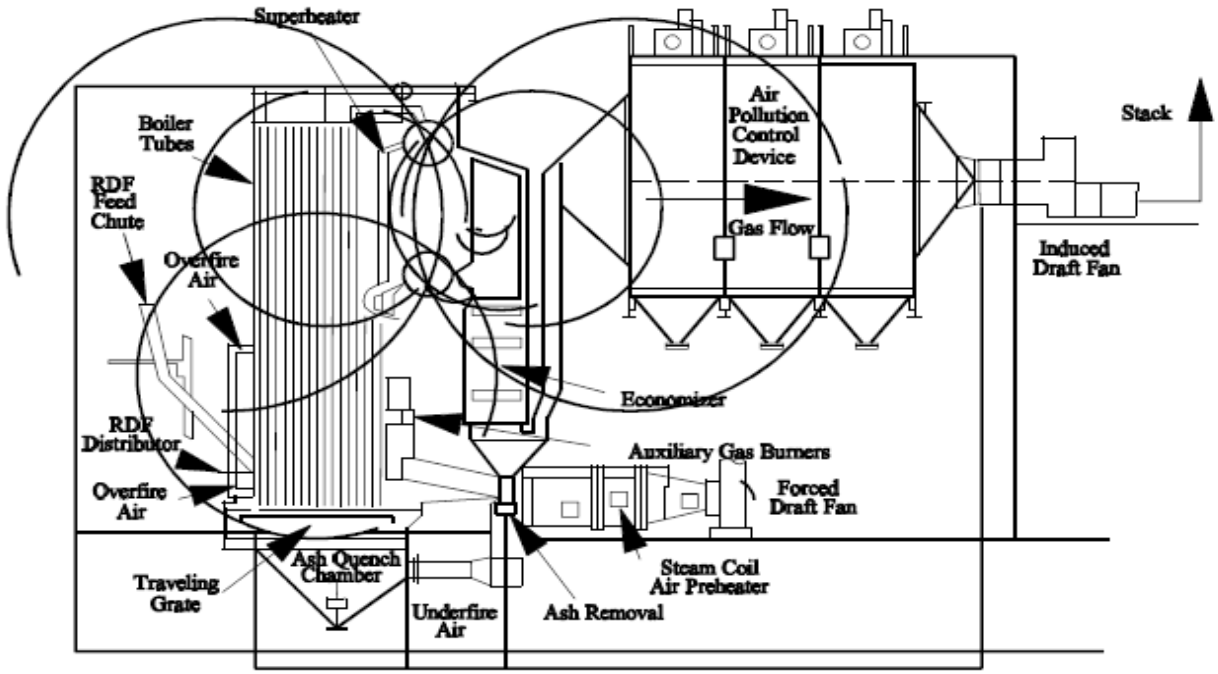


Figura 39. Típica caldera de RDF con fogoneros esparcidores.
Fuente: Cheremisinoff, 2003; EPA, 2009.

Se encuentran con diferentes capacidades que van de 320 a 1,400 toneladas por día por cámara de incineración.

Características Residuos a Tratar:

Las cámaras de combustión de desechos de derivados de combustibles queman residuos sólidos urbanos que se han sido procesados en distintos grados, desde la simple remoción de objetos voluminosos y no combustibles acompañada por la fragmentación, a un proceso intenso para producir un combustible muy fino adecuado para la combustión con carbón pulverizado en las calderas.

Ventajas:

• Los residuos puede ser triturados en tamaños de partículas uniformes o densificados en bloques. Ambas características facilitan el manejo, el transporte y la incineración. Los RDF pueden ser entonces incinerados o co-incinerados con otro combustible como madera o carbón. Los RDF son considerados aditivos de bajo costo, lo que puede reducir los costos de generación de calor o electricidad en una variedad de aplicaciones.

• Material no combustible como metales pesados es incinerado. A pesar de que los metales son inertes y no proporcionan energía cuando son incinerados, las altas temperaturas de los incineradores MSW provoca que los metales se volatilicen

parcialmente, emitiendo gases tóxicos y cenizas libres. La composición de RDF es más uniforme que la de MSW; por lo tanto es necesario un menor número de controles para las instalaciones de la incineración de RDF que para las de MSW sin tratar.

v) Incineración modular

Descripción
Las cámaras de incineración modulares son similares a las cámaras de incineración en masa ya que se queman los residuos que no se han pre-procesado, pero por lo general son fabricados en tiendas.

Capacidad
De 5 a 140 toneladas/día.
Los principales Componentes de una Planta se muestran en la figura 40.

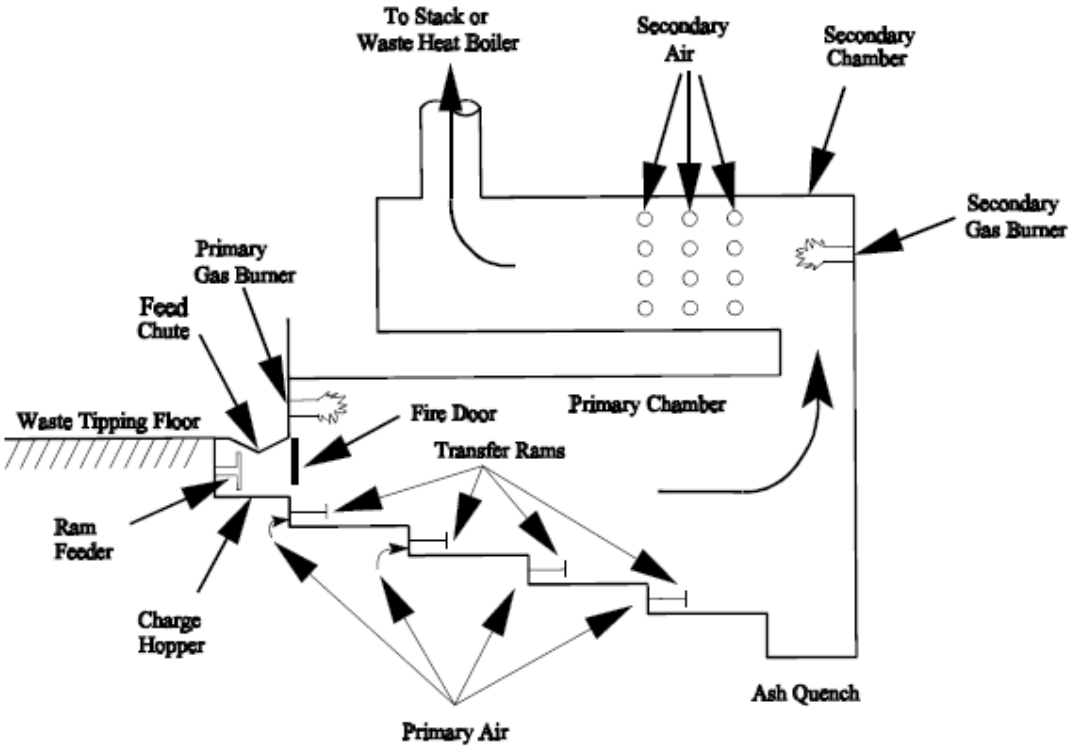


Figura 40. Típica cámara de combustión modular de aire controlado con cilindros de transferencia.
Fuente: Cheremisinoff, 2003; EPA, 2009.

Proceso:

Una de las cámaras de incineración modulares más común es la cámara de incineración modular de aire controlado (MOD / SA). El aire se suministra a la cámara primaria a niveles sub-estequiométricos. Los productos de incineración incompleta (CO y compuestos orgánicos) pasan a la cámara de incineración secundaria donde el aire adicional es añadido y la incineración es completada. Otro tipo de diseño modular es la cámara de incineración modular con exceso de aire (MOD/EA), que consiste en 2 cámaras como las de incineración modular con aire controlado, pero es funcionalmente

similar a la incineración en masa en que utiliza el exceso de aire en la cámara primaria (Cheremisinoff, 2003 y EPA, 2009).

vi) Incineración de tipo RDF ("Refuse Derived Fuel")

Características Residuos a Tratar

En estas plantas se quema sólo la fracción de basura resultante después de eliminar previamente la fracción fermentable, la chatarra metálica y el vidrio. La preparación del RDF para por una serie de procesos entre los que sobresalen:

- Separación en la fuente, en el caso de que la municipalidad no tenga establecido este servicio.
- Separación mecánica de los residuos. Esto suele llevarse a cabo por medio de un tromel rotativo, criba, mesa desimétrica, etc. En esta etapa se separa la parte no deseada (rechazo) de la que va a integras los RDF.
- Trituración, cribado y mezcla de los componentes.
- Secado y peletización. Esta es sin duda la parte más cara y discutible de la preparación. El secado es solo necesario cuando en el RDF se incorpora la fracción fermentable. No es extraño que éste sea el futuro de estas instalaciones puesto que el tratamiento de la fracción fermentable procedente del todo uno cada día tiene menos salidas. Una opción a valorar es el procedente de la turbina para el secado. Obviamente ello presupone que la planta de RDF se halle junto a la incineradora.

Gasificación

Es un proceso de combustión, con la particularidad de que se promueve que solo sea parcial, esto se logra alimentando en cantidades sub-estequiométricas el agente gasificante (aire, oxígeno puro, vapor de agua o hidrógeno) que en contacto con los residuos y condiciones de presión y temperatura (alrededor de los 800℃) altas, éstos se transforman en un gas combustible, llamado syngas, rico en altos contenidos de monóxido de carbono, hidrógeno y algunos hidrocarburos saturados, principalmente metano.

Degradación térmica de los materiales a base de carbono orgánicos en un gas a altas temperaturas (400 º -1500 º C), mientras que los compuestos inorgánicos se transforman en escoria líquida. Este proceso se lleva a cabo en condiciones limitadas de oxígeno (Gagnon, 2006).

El objetivo es reducir el volumen y peso de los residuos, sin embargo su principal objetivo es ser una fuente alterna para la obtención de energía, ya sea en la generación de energía eléctrica, como combustible y/o en forma de calor.

Capacidad:

Para instalaciones pequeñas se recomiendan gasificadores tipo lecho móvil, si la instalación es de gran escala se recomienda gasificadores tipo lecho fluidizado.

Tipos de residuos que entran en este tratamiento:

Residuos sólidos urbanos, basura seleccionada, biomasa, residuos agrícolas. Combustibles como carbono, coque de petróleo,

Generalmente se usa biomasa, por ejemplo madera, residuos agrícolas y domiciliarios, también plásticos y neumáticos.

Se recomienda que para gasificadores tipo lecho móvil el % de humedad en los residuos sea entre 10 y 20% y para gasificadores tipo lecho fluidizado una humedad hasta el 40%.

Principales Componentes de una Planta:

Unidad de recepción y separación de los residuos
Unidad de pre-tratamiento (trituración y secado)
Reactor de gasificación
Unidad de recuperación de calor y limpieza del gas combustible
Sistema de generación de energía eléctrica (Turbinas de vapor y gas o motor de combustión interna).

Localización y Necesidad de Espacio:

Su localización debe ser en zonas de actividad industrial, el espacio requerido por plantas piloto/demostrativas para residuos sólidos domiciliarios ha sido de 2 a 3 Ha.

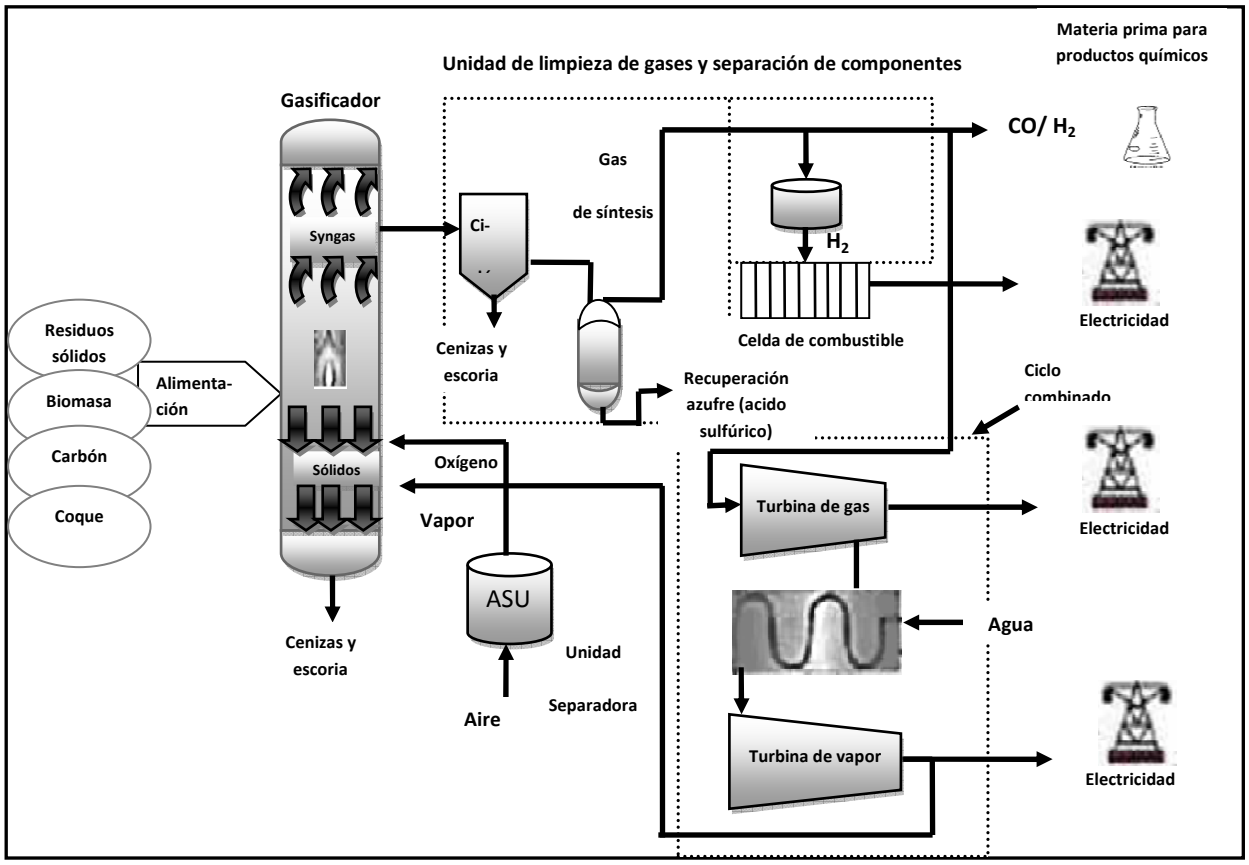


Diagrama 4. Proceso de gasificación. Fuente: Elaboración propia.

Requerimiento para su Aplicación:

- Combustible
- Energía eléctrica
- Garantía de una alimentación continua de materia prima
- Agente gasificante

Proceso:

Este consta de un Gasificador de lecho móvil (en paralelo o a contracorriente) o de lecho fluidizado ofreciendo cada uno diferentes rendimientos: Los principales criterios de elección son el tamaño y la densidad de los residuos a procesar, la capacidad de procesamiento y la calidad deseada del gas que se va a obtener.

Gasificador en paralelo.- Entrega el gas combustible por la parte baja, esto da un contenido importante de cenizas y humedad en éste.

Gasificador a contracorriente.- Entrega el gas por la parte superior, su temperatura de salida no es alta (alrededor de 400°C) pudiendo utilizarse en la generación de vapor.

Adecuados para capacidades pequeñas.

El gas que sale del gasificador se hace pasar por una caldera para recuperar el calor contenido en éste, con una corriente de agua desmineralizada para producir vapor saturado incluso sobrecalentado, luego se lleva a un ciclón para retirar las partículas suspendidas en el syngas, enseguida se hace un lavado del gas en un scrubber para su posterior separación por componentes obteniendo así hidrógeno, etanol, otros y el CO se lleva a turbinas de gas para la generación de energía eléctrica.

Gasificador de lecho fluidizado.- Entrega el gas por la parte superior, con capacidad para operar alimentaciones húmedas o secas, ésta también requiere de un tratamiento previo para eliminar las de gran tamaño, la temperatura del gas de salida es alta (para generación de energía eléctrica), la cama fluidizada proporciona una buena mezcla y transferencia de calor a los residuos. Adecuado para instalaciones de gran escala.

El Gasificador de lecho fluidizado puede ser, una alternativa de disposición final y recuperación de la energía intrínseca contenida en los residuos en las formas ya mencionadas. La calidad y uso del gas obtenido de la gasificación puede determinarse en función al agente gasificante (aire, oxígeno puro, vapor de agua o hidrógeno) empleado.

Tiempo de Vida Útil

El tiempo de vida útil del proceso esta principalmente en función del reactor y éste a su vez en función del refractario así que si se protege y da mantenimiento se extiende el tiempo de vida útil del reactor.

Otro punto determinante es el factor de servicio de la planta (días en operación al año). Regularmente una planta se diseña para un tiempo de vida útil de 20 años o más. Ya que el alto costo de inversión hace que la tasa interna de retorno TIR sea de 15 años o más.

Los impactos potenciales y las ventajas y desventajas de esta tecnología se muestran en el cuadro 28.

Cuadro 28. Impactos potenciales, ventajas y desventajas de la Gasificación.

Impactos Ambientales	
Positivos: ➢ Disminución de emisiones de CO_2 en comparación con la incineración. ➢ Disminución de la cantidad vertida de residuos en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto.	Negativos: ➢ Alto consumo energético. ➢ Proceso con alto consumo de agua (unidades de enfriamiento)
Ventajas	**Desventajas**
➢ Versatilidad en la valorización del syngas obtenido. ➢ Alta flexibilidad de aceptación en la composición de la alimentación. ➢ Generación de gas combustible. ➢ Generación de materia prima para productos químicos.	➢ Procesos adicionales por remoción de contaminantes. ➢ Costos de inversión elevados ➢ Tecnología en desarrollo en el tratamiento de residuos sólidos urbanos.

Se reportan estimaciones de que el costo por tonelada instalada oscila entre 193 a 326 USD. Los costos por operación oscilan entre 40 a 80 USD/ por tonelada

La distribución geográfica de aplicación de la aplicación de esta técnica se muestra en el mapa 11. América: Costa Rica.

Europa: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Italia, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia.

Asia: Corea.

Mapa 11. Distribución geográfica de gasificación. Fuente: Elaboración propia.

i) Gasificación por plasma

Es un proceso térmico no incinerativo que usa temperaturas extremadamente altas en un ambiente libre de oxígeno para descomponer completamente material de residuos en moléculas muy simples. El principal producto en este proceso es un gas conocido como gas de síntesis, el cual puede ser usado, entre otros, para la producción de energía y en material inerte vítreo conocido como escoria.

La gasificación por plasma es un proceso de tipo genérico que puede dar cabida a prácticamente cualquier material de los residuos sólidos en la condición en la que se reciban, incluyendo líquidos, gases y sólidos en cualquier combinación. Además, el contenido de humedad no es problema. Líquidos, gases y materiales de desecho con pequeño tamaños de partícula, son fácil y eficientemente procesables. Los artículos voluminosos, como los electrodomésticos, neumáticos y las bases para colchones también pueden ser fácilmente acomodados sin pérdida de la eficiencia en la destrucción.

El depósito del reactor y el mecanismo de alimentación de residuos, están diseñados según las características físico-químicas del flujo de residuos de entrada. Incluso los residuos de bajo nivel radiactivo pueden ser procesados para reducir el volumen y encapsular los componentes radiactivos para reducir la lixiviación. (Mountouris, 2008).

El objetivo de este procesos es destruir térmicamente muchos tipos de residuos alcanzando altas temperaturas (3000 a 7000℃) y consecuentemente liberar una menor cantidad de emisiones y lixiviados.

Capacidad
85 ton/día

Principales Componentes de una Planta:

- Una sección de alimentación primaria y cámaras secundarias, un depurador y un ventilador de tiro inducido.
- Algunos sistemas tienen un mecanismo de doble puerto de alimentación que se encarga del gas inerte para evitar que el aire corra a la zona caliente.
- La antorcha de plasma generalmente está montada en una pared de extremo circular. La antorcha se ajusta de tal manera que el material de residuo caiga dentro de la zona caliente del arco de plasma. El cátodo y un ánodo de la antorcha son enfriados por el flujo de agua forzada. Además, el enfriamiento auxiliar del ánodo con el aire puede ser incorporado en la antorcha de plasma.

La antorcha de plasma es la base de la ignición del arco entre un cátodo termoiónico de tungsteno y un ánodo de cobre co-axial, ambos refrigerados por agua son sumergidos en un campo magnético axial. El nitrógeno es generalmente elegido como el gas de plasma. El aire o de vapor pueden ser inyectados en el plasma para aumentar la entalpía y para producir la incineración sub-estequiométrica.

Pre-tratamiento de alimentación - sistema de secado:

El subsistema de alimentación de residuos se utiliza para el tratamiento previo de los residuos con el fin de cumplir los requisitos de entrada del horno de plasma. Para los lodos de las depuradoras, un material de desecho con alto contenido de humedad, se requiere un sistema de secador. Múltiples puertos garantizan que los residuos se distribuyan uniformemente dentro del horno, y la operación hermética asegura que la reducción de la atmósfera del horno puede ser plenamente controlada y sin que gas el gas de síntesis pueda escapar de la caldera al entorno local.

Horno de plasma

El horno de plasma es el componente central del sistema de donde la gasificación / proceso de vitrificación se lleva a cabo. Dos electrodos de grafito, como parte de dos antorchas, se extienden en el horno de plasma. Una corriente eléctrica pasa a través de los electrodos, y un arco eléctrico es generado entre las puntas de los electrodos y la escoria en la parte inferior del horno. El gas presente entre el electrodo y la escoria que se convierte en plasma puede ser el oxígeno, el helio o el otro, pero el uso de aire es muy común debido a su bajo costo. A la temperatura dentro de los hornos de plasma, las moléculas orgánicas de la materia residual comienzan a

romperse y reaccionar con el aire para formar monóxido de carbono, hidrógeno y dióxido de carbono. Como resultado de estas reacciones, todos los compuestos orgánicos se transforman en un gas de síntesis que contiene principalmente hidrógeno, monóxido de carbono y nitrógeno.

Subsistema de limpieza de gases:

El subsistema de depuración de gases permite lograr la eliminación de gases ácidos (HCl, SOx), partículas en suspensión, metales pesados y la humedad del gas de síntesis antes de de entrar en el sistema de recuperación de energía. Para ello, un sistema típico de limpieza para gases consiste en:

(a) un sistema de enfriamiento para evitar la formación de complejos las moléculas
(b) como las dioxinas. La amortiguación se utiliza para eliminar la posibilidad de formación de dioxinas y furanos.
(c) Sistema de lavado con sosa cáustica para neutralizar los gases ácidos. un depurador venturi para eliminar las partículas.
(d) absorción de H_2S utilizados para la remoción de H_2S, que es luego se retira para la recuperación de azufre.
(e) Filtros para el atrapamiento de metales pesados y otras partículas finas.

Tipos de residuos que entran en este tratamiento: Residuos sólidos urbanos, excepto metal, vidrio, concreto.

Potenciales Impactos Ambientales:

Positivos - Reduce el volumen disminuyendo costos de trasporte e Incrementa la vida útil de rellenos sanitarios.

Negativos- Alto consumo energético.

Dicha tecnología tiene aplicación en los siguientes países Japón, Taiwan, Francia, Canadá.

ii) Gasificación y vitrificación por plasma

La gasificación y vitrificación por plasma es un método innovador y ecológico para el tratamiento de los residuos. Una demostración de este sistema de tratamiento fue desarrollada e instalada en la región de Viotia Grecia a fin de estudiar la eficiencia de esta tecnología en el tratamiento de los residuos peligrosos. La planta piloto fue diseñada para tratar hasta 50kg de residuos por hora, tiene dos principales secciones: (1) el horno y sus equipos relacionados, y (2) el sistema de gas fuera del tratamiento, incluyendo la cámara de combustión secundaria, apagar y depurar (Moustakas, 2005).

Lo que se hace es una disociación de todos los componentes (orgánicos e inorgánicos) en sus componentes elementales para la recuperación y el reciclado. El sistema consiste principalmente en un reactor de plasma que permite el paso de aire en el espacio anular de la antorcha creando un entorno de temperatura extremadamente alta de 5.000 ° C hasta 10.000 ° C. Más detalles de la técnica se muestran en el cuadro 2.16.

Tipos de residuos:

Residuos sólidos urbanos con una humedad no mayor al 20%, excepto vidrios y metales

Características de los residuos a tratar.

Alimentación de material sólido con un máximo de humedad de 50% y un tamaño máximo de partículas de 2,5 cm (Moustakas, 2008). En el cuadro 29 se muestran los potenciales impactos ambientales y las ventajas de de la Gasificación. y vitrificación por plasma.

Cuadro 29. Impactos ambientales, ventajas y desventajas de la Gasificación y vitrificación por plasma.

Impactos Ambientales	
Positivos: ➢ Reduce el volumen disminuyendo costos de trasporte. Incremento de la vida útil de rellenos sanitarios.	Negativos: ➢ Alto consumo energético. ➢ Generación de lixiviados Emisión de ruidos
Ventajas	**Desventajas**
La tecnología de gasificación y vitrificación por plasma se caracteriza por el uso de elevada densidad de energía que permite el tratamiento de la misma cantidad de residuos en las plantas de dimensiones más pequeñas, en comparación con las plantas de otros métodos térmicos convencionales. • La velocidad elevada de calentamiento permite alcanzar las condiciones del sistema rápidamente. • Las altas temperaturas permiten el tratamiento en sólo un proceso, eliminando la necesidad de etapas separadas. • Las velocidades de reacción son muy altas y, por tanto, se obtiene una reducción de los tiempos de contacto. • El uso de la energía eléctrica, como fuente de energía, permite al funcionamiento de la unidad de plasma en oxidantes, la reducción o inertes ambiente en función del tipo de residuos. Además, la	La cantidad de energía eléctrica necesaria para la gasificación de de una cierta cantidad de residuos depende directamente de la composición química de los residuos.

uso de la energía eléctrica reduce la necesidad de flujo de gases y de ofrece un mejor control sobre los procesos químicos incluidos los de la posibilidad de generación de co-productos comercializables. • Los procesos tradicionales de combustión demandan una alta cantidad de aire, mientras que en las tecnologías con uso de plasma, la reducción del aire consumido implica una notable reducción de los gases emitidos al medio ambiente. Estas plantas tienen un costo de inversión aproximado de un 30-50% más bajo en comparación con las incineradores de la misma capacidad.	

Fuente: Moustakas, 2008.

Pirólisis

Esta tecnología consiste el en la descomposición de la materia orgánica a altas temperaturas en ausencia de oxígeno (Islam, 2004).

Es el proceso térmico que valiéndose de la inestabilidad térmica de los residuos los rompe mediante un calentamiento en ausencia total de oxígeno, éste requiere de una fuente externa de calor para mantener la temperatura requerida, siendo así un proceso altamente endotérmico que logra convirtiéndolos en combustibles gaseosos, líquidos y sólidos. Opera a temperaturas entre los 300°C a 800°C.

Las tres fracciones más importantes que se producen son:

- Gases: Compuestos principalmente de CO, CO_2, CH_4, C_2H_6 y pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros.
- Líquidos: Compuesto por una gran mezcla de distintos productos como pueden ser: cetonas, ácido acético, compuestos aromáticos, y otras fracciones más pesadas.
- Sólidos: El producto sólido de la pirólisis es un residuo carbonoso (char) que puede ser utilizado como combustible o para la producción de carbón activo.

En función a las condiciones físicas en las que se realice la pirólisis como la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la presión y la temperatura de operación variara la composición de la mezcla resultante.

El objetivo de esta tecnología es aprovechar el potencial energético y químico contenido en los residuos sólidos, al obtener de éstos una gran cantidad de subproductos valorizables y energía.

Características Residuos a Tratar:

Se recomiendan los residuos de alto contenido energético dado la demanda energética del proceso endotérmico, que es la pirólisis, llantas, madera y cartón manchado con aceites.etc. Así como lodos deshidratados, plásticos triturados, residuos agrícolas y residuos municipales de origen orgánico seleccionados: residuos de cocina, pulpa de papel y residuos de jardines.

Tipos de residuos:

Residuos sólidos urbanos, Residuos sólidos municipales, incluyendo el plástico, de caucho, papel, madera, telas, restos de comida y sus mezclas (Jiao, 2009).

Molienda de los residuos sólidos urbanos y secado durante 24 horas a 110℃ (Islam, 2004) Indispensable los residuos a tratar estén secos.

Las aplicaciones más recurrentes de la pirólisis son el tratamiento y la destrucción de compuestos orgánicos semivolátiles, combustibles y pesticidas en el suelo. Puede ser aplicada para el tratamiento de residuos orgánicos de refinerías, desechos de alquitrán de hulla, suelos contaminados de creosota, hidrocarburos y compuestos orgánicos volátiles (Cheremisinoff, 2003).

Se aplica a compuestos orgánicos que pueden ser descompuestos en presencia de calor. Es promisoria en el tratamiento de contaminantes orgánicos en el suelo y en lodos aceitosos. También se han tratado PCBs, dioxinas, PAH's, y otros compuestos orgánicos. La pirólisis no es efectiva para destruir o separar físicamente compuestos inorgánicos del medio contaminado. Se pueden remover metales volátiles debido a las temperaturas tan altas asociadas con el proceso, pero no se destruyen.

Principales Componentes de una Planta:

- Unidad de acondicionamiento físico(trituración primaria)
- Unidad de separación (por magnetismo recuperación de materiales ferrosos)
- Unidad de recuperación de vidrio y aluminio
- Unidad de secado (disminución de humedad)
- Una segunda unidad de separación y trituración (fina)
- Reactor de pirólisis
- Unidad de limpieza de los subproductos obtenidos

Localización y Necesidad de Espacio:

La localización de este tipo de plantas se recomienda, este restringida a zonas destinadas a la actividad industrial, el espacio requerido es de 2 a 4 hectáreas, aunque

son valores correspondientes a plantas piloto ya que no existen en operación plantas con capacidad industrial.

Obras Previas a la Instalación

- Áreas de acceso.

Requerimiento para su Aplicación

- Combustible
- Una alta cantidad de energía para el arranque
- Garantía de continuidad de la alimentación (residuos sólidos urbanos)
- Una fuente externa de calor

Proceso

Este consta de un pre-tratamiento a los residuos iniciando con una trituración para la disminución de volumen de éstos, posteriormente se seleccionan los materiales ferrosos (con ayuda de un imán), el vidrio y aluminio que son retirarlos del proceso; lo restante se hace pasar por un secador para minimizar la humedad contenida en éstos y se vuelve a triturar buscando que ésta sea una trituración fina, una vez con estas características se alimenta al reactor pirólitico el cual esta cubierto por una cámara que es calentada con gas, hermética y revestida con una chaqueta aislante, este se hace girar lentamente y tiene una pequeña inclinación que va en el sentido de la alimentación hacia la descarga, operando en un rango de temperatura de 300ºC a 800ºC, posteriormente pasa por la unidad de limpieza (ciclón, depurador) para la separación de los subproductos que serán en forma liquida, solida y gaseosa.

Se aplica como una alternativa de disposición final y recuperación de la energía intrínseca contenida en los residuos, que a diferencia de otras tecnologías térmicas en busca principalmente de la generación de energía eléctrica, esta también se interesa en los subproductos que se obtienen ya que son materia prima para otros productos. Así como la disminución de volumen y peso de los mismos.

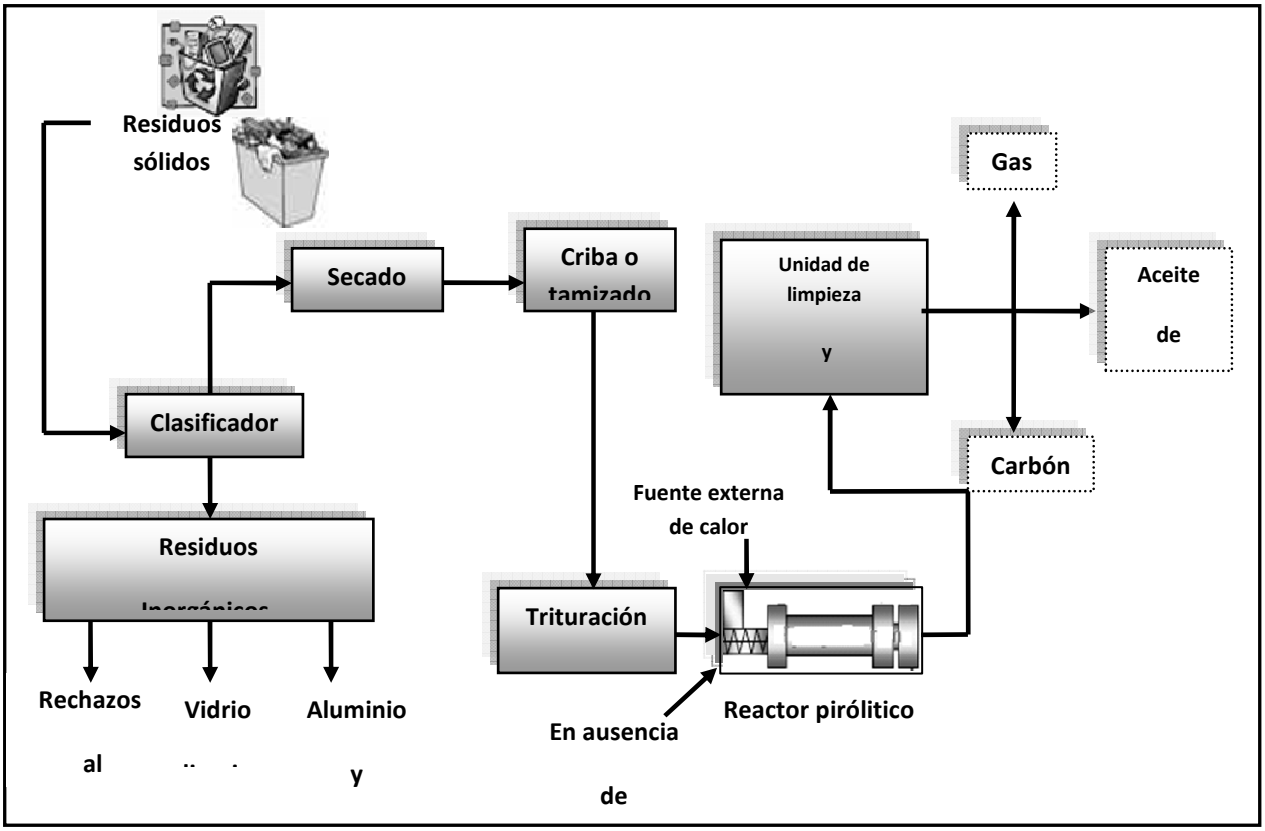


Diagrama 5. Proceso de la técnica de pirólisis. Fuente: elaboración propia.

El tiempo de vida útil del proceso esta principalmente en función del reactor y en el factor de servicio de la planta (días en operación al año). Regularmente una planta se diseña para un tiempo de vida útil de 20 años o más.

Un aparato de prueba que fue desarrollado por el State Key Laboratory of Clean Energy Utilization de la Universidad de Zhejiang (Jiao, 2009).

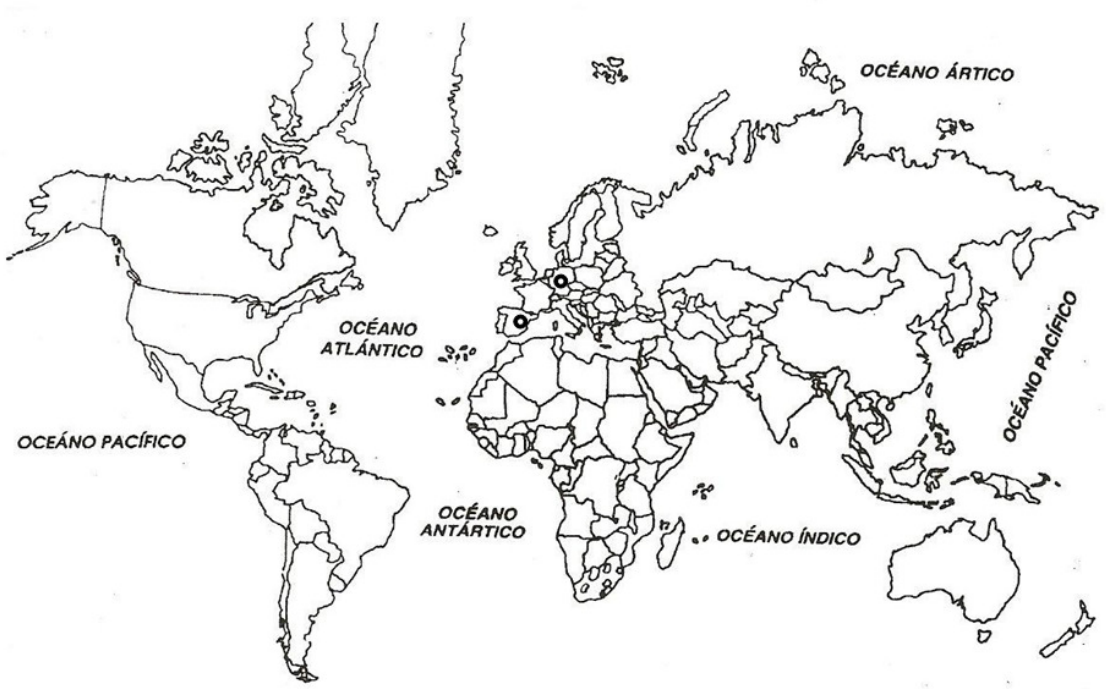
Los impactos ambientales y las ventajas y desventajas de la pirólisis se muestran en el cuadro 30.

Cuadro 30. Impactos ambientales, ventajas y desventajas de la tecnología térmica de pirólisis.

Impactos Ambientales	
Positivos: ➢ No genera gases contaminantes como óxidos de nitrógeno y azufre, como los producidos en la incineración, sino que se generan en forma residuales de sustancias ➢ Los mismos residuos se transforman en fuente de energía para mantener el sistema	Negativos: ➢ Emisión de material partículado ➢ Las cenizas que genera tienen potenciales características de residuos peligrosos
Ventajas	**Desventajas**
➢ Los plásticos, aceites, disolventes orgánicos, compuestos orgánicos clorados, hidrocarburos se convierten en hidrocarburos ligeros limpios y carbón. ➢ Se pueden tratar los lodos de plantas de tratamiento y suelos contaminados con hidrocarburos y otros compuestos orgánicos para ser transformados en ladrillos. ➢ Disminución de la cantidad de residuos vertidos en rellenos sanitarios. ➢ Se maneja todo tipo de material orgánico con alto valor calórico, inclusive mezclas de residuos domésticos e industriales peligrosos.	➢ Tecnología en desarrollo para residuos sólidos. ➢ Altos costos de inversión ➢ La cantidad de cenizas es mayor que en el caso de una incineración.

Costo de Inversión. En el Reino Unido se reporta un estimado de $2,615.00 a $4, 234.00 por tonelada instalada. Entonces para una planta con una capacidad de 30, 000 ton/año la inversión será de $78, 000, 000 a 127, 000, 000.
Costo por Tonelada Procesada: Los costos por operación oscilan de $374.00 a $871.00 por tonelada

La distribución geográfica de aplicación de esta técnica se muestra en el Mapa 12. Como se puede observar son pocos países que se encontraron que aplican esta técnica entre ellos Alemania y España.



Mapa 12. Distribución geográfica de la aplicación de la técnica de pirólisis. Fuente: Elaboración propia.

Plasma

La aplicación de la tecnología de gasificación de plasma, según sus defensores, permitiría contar con sistema moderno, limpio, eficiente y de la larga duración, capaz de tratar todo tipo de residuos, incluso los más difíciles, como neumáticos, productos peligrosos, sedimentos, plásticos, etc. El proceso permite además generar energía y diversos productos que pueden aprovecharse. Sin embargo, su desarrollo se encuentra todavía en una fase inicial, y sus detractores afirman que es un proceso muy caro y no tan limpio como propugnan sus impulsores.

Esta tecnología se utiliza en la actualidad principalmente para destruir desechos peligrosos, por su manera limpia y eficaz de acabar con ellos. Por ello, algunas empresas están trabajando para utilizar este sistema como sistema de valorización de residuos urbanos.

El sistema consiste en un reactor con antorchas en las que se inyecta energía eléctrica de alto voltaje y algún tipo de gas, como oxígeno, nitrógeno o argón. Este proceso permite generar temperaturas cercanas a las de la superficie del Sol (más de 1.500ºC) y obtener el estado de plasma, es decir, un gas cuyos átomos han perdido o ganado electrones. De esta manera, los enlaces de las moléculas se rompen y los residuos quedan en forma de átomos inofensivos.

Posteriormente, la materia orgánica del residuo se convierte en un gas de síntesis (syngas) compuesto por hidrógeno y monóxido de carbono que puede ser utilizado para producir energía o combustibles líquidos. Por su parte, los residuos inorgánicos se funden en el fondo del reactor, obteniendo un material vitrocerámico que se puede destinar a la fabricación de productos abrasivos, como aislantes de alta temperatura (lana mineral) o relleno de la bases de carreteras.
Este proceso permite generar temperaturas cercanas a las de la superficie del Sol (más de 1.500ºC).

El impactos ambientales, las ventajas y desventajas se en listan en el cuadro 31.

Cuadro 31. Impactos ambientales, ventajas y desventajas de la tecnología por Plasma.

Impactos Ambientales	
Positivos: ➢ El gas combustible generado es prácticamente limpio. ➢ Disminución de la cantidad vertida de residuos en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto.	Negativos: ➢ Alto consumo energético.
Ventajas	**Desventajas**
➢ Por las altas temperaturas del proceso no produce contaminantes como dioxinas, furanos o CO_2. ➢ Reducción de necesidad de equipos de control de contaminantes. ➢ Menores cantidades de generación de energía ➢ Una mejor eficiencia en la producción de energía eléctrica.	➢ Un alto costo de inversión ➢ Tecnología en desarrollo en su aplicación a residuos sólidos

Los costos de inversión se estiman alrededor de $770.00 a $1155.00 USD/Ton., instalada; o $6, 000. 00 a 9,769.00 USD/Ton y el costo por Tonelada Procesada $80 USD/ton

I)Arco de plasma

El arco de plasma funciona como una secadora de cabello, donde los arcos eléctricos actúan como un elemento de calefacción y el aire empujado a través de este elemento se calentamiento alcanzando temperaturas mayores de 5000 º C. (Gagnon, 2006).

Es el proceso térmico mediante el cual los residuos sólidos son transformados a iones, mediante un arco eléctrico que se genera por el paso de corriente eléctrica entre un ánodo y un cátodo a través de un gas que es inyectado (por ejemplo, nitrógeno,

oxígeno o argón) alcanzando éste temperaturas entre los 3000ºC a 7000ºC o más, éste se proyecta sobre los residuos sólidos para desagregarlos hasta llevarlos a su estado iónico y es a este flujo de gas ionizado a lo que se le llama plasma.

El plasma puede ser generado por descargas eléctricas de CD (corriente directa) o bien corriente alterna (CA) y el control de operación de la antorcha se logra regulando la intensidad de ésta como en los hornos.

El objetivo, como una más, de las tecnologías térmicas persigue recuperar la energía contenida en los residuos sólidos y ser una fuente alterna de energía como combustible, vapor, energía eléctrica o materia prima para productos químicos.

Capacidad:

Hasta ahora solo se han desarrollado plantas piloto

Características de los Residuos a Tratar: Tiene una alta flexibilidad ya que recibe cualquier tipo de residuo, los residuos en prueba son:

- Sólidos urbanos
- Comerciales y madera
- Sólidos industriales
- Líquidos orgánicos
- Llantas de hule
- Principales Componentes de una Planta
- Unidad de recepción de residuos
- Tolva de alimentación
- Unidad de control en la alimentación del gas
- Reactor de plasma
- Unidad de limpieza del gas combustible
- Unidad de tratamiento de aguas residuales
- Unidad de generación de energía eléctrica
- Localización y Necesidad de Espacio
- Su localización debe ser en zonas de actividad industrial, el espacio requerido por plantas piloto es similar a las de gasificación.

Obras Previas a la Instalación

Accesos:
Requerimiento para su Aplicación
Combustible
Energía eléctrica
Garantía de una alimentación continua de materia prima
Gas de inyección

Proceso:

La materia prima (residuos sólidos) no requieren necesariamente de un pre-tratamiento, excepto que el volumen de estos sea muy grande se hacen pasan por una trituradora. Por medio de una tolva se alimentan los residuos al reactor de plasma en donde se lleva a cabo la desagregación para su transformación en iones por la alta temperatura de operación, el gas combustible obtenido se alimenta a la unidad de limpieza (scrubber), para retirar impurezas y cenizas, el agua empleada en esta etapa se manda a una unidad de tratamiento de aguas residuales para recircularse. Una vez limpio el gas, una parte se emplea como materia prima para productos químicos y otra a la generación de energía eléctrica.

Se aplicabilidad como una alternativa de disposición final y recuperación de la energía intrínseca contenida en los residuos como se ha mencionado. Para la destrucción de residuos sólidos peligrosos y tóxicos ya que los desintegra en su totalidad.

Así como la reducción de peso, volumen y cantidad vertida de los residuos a rellenos sanitarios.

Desventajas:

Requiere de alto consumo energético, el agua de enfriado de la antorcha de cobre deben ser reemplazados periódicamente para evitar quemaduras por el punto de unión del arco y una explosión de vapor posteriores debido a un rápido calentamiento del agua de refrigeración en libertad.

Aplicabilidad: Taiwan, Japón, Canadá e Inglaterra.

Mineralización

Una de las técnicas más novedosas el la mineralización, es simplemente un proceso de estabilización o solidificación, lo que ayuda a inmovilizar los componentes tóxicos de los residuos, reduce la solubilidad de los componentes. Se pueden obtener productos cementantes, esta tecnología no ha sido probada a escala industrial.

C)Disposición final.

i)Relleno sanitario convencional

La lista de los desechos aceptados en cada categoría de relleno sanitario designado es parte del proceso de las autoridades regulatorias de cada país. En general los principios en los que se basan para la aceptación de un residuo en particular en un relleno sanitario son la composición, la lixiviación, comportamiento a largo plazo y propiedades generales del residuo (Williams, 2005).

Es el modelo más básico. Consiste en colocar la basura en capas delgadas compactadas que se cubren con tierra arcillosa para formar las celdas. En un tiempo de

2 a 3 meses se construyen nuevas celdas hasta alcanzar la capacidad máxima del relleno. Como operaciones y medidas complementarias se debe realizar un monitoreo de biogás, de lixiviados y de acuíferos. Estas operaciones se deben continuar por lo menos hasta 25 años una vez clausurado el relleno.

En este tipo de rellenos se tiene como objetivo contener los residuos sólidos de forma tal que no afecte al medio ambiente y no cause peligros para la salud y la seguridad pública.

La capacidad del relleno sanitario se diseña según sea la cantidad en toneladas diarias que generen las poblaciones cercanas.

Los residuos que entran en este proceso son: Residuos sólidos urbanos residuos industriales, urbanos, domésticos, comerciales, residuos agrícolas, residuos de construcción y demolición.

Principales Componentes de una Relleno Convencional.

Caminos de acceso; base del relleno cubierta con polietileno de alta densidad; tubería de drenaje para lixiviados; pozos de captación de biogás; pozo de monitoreo de aguas freáticas.

El terreno donde se construya el relleno sanitario debe reunir las condiciones adecuadas respecto a topografía, fácil acceso, nivel en el que se encuentran los mantos freáticos, disponibilidad de material para cubrir la basura y debe estar a una distancia segura de corrientes, lagos y pozos.

Obras Previas a la Instalación:

Se debe cercar el perímetro del terreno para evitar que entren animales. Se debe impermeabilizar y uniformizar la base del relleno.

Requerimiento para su Aplicación:

Se necesita que sea aceptado socialmente, ya que muchas veces lo rechazan por asociarlos con los tiraderos a cielo abierto.

Proceso

Los métodos de construcción son el de área y el de trinchera. En algunos casos se utilizan los dos métodos simultánea o secuencialmente.

El relleno de área normalmente se emplea cuando se dispone de terrenos con depresiones y hondonadas naturales o artificiales. En este método, los residuos sólidos se depositan en la superficie, se compactan y se cubren con una capa de suelo compactado al término de las operaciones del día.

El método de trinchera es más práctico, ya que su operación es sencilla y la escasez de material de recubrimiento no produce problemas. En este método, se

excava la trinchera, se esparcen y se compactan los residuos, después se cubre el suelo producto de la excavación de la trinchera y finalmente se compacta. Pueden excavarse varias trincheras y almacenar el material de cubierta o bien obtener el material diariamente. La profundidad de las trincheras depende del nivel de aguas freáticas y de las características del suelo.

Tiempo de Vida Útil

Debe ser mayor o igual a 5 años para poblaciones menores de 20,000 habitantes y para poblaciones mayores a 20,000 habitantes debe ser mayor de 10 años.

En el cuadro 32 Se enlistan las principales ventajas y desventajas de los rellenos convencionales y los impactos ambientales.

Cuadro 32. Impactos ambientales, ventajas y desventajas de un Relleno Sanitario Convencional.

Impactos Ambientales	
Positivos: ➢ Reduce los problemas generados por otros métodos de tratamiento de basura como los tiraderos.	Negativos: ➢ Generación de lixiviados ➢ Generación de metano. ➢ Riesgo de contaminación de aguas subterráneas.
Ventajas	**Desventajas**
➢ Tecnología económica. ➢ Generación de biogas aprovechable como fuente de energía. ➢ Una vez clausurado el relleno sanitario, el terreno puede ser utilizado para otros fines como parques o viveros. ➢ Asegura el control de los problemas de salud pública, contaminación del agua y aire, como el control de insectos, incendios y roedores.	➢ Existe un alto riesgo de posibles incendios por los gases que se generan. ➢ Generación de lixiviados los cuales contaminan aguas subterráneas, ríos y suelo. ➢ Tienen altos requerimientos de terreno en cuanto al área y materiales de recubrimiento.

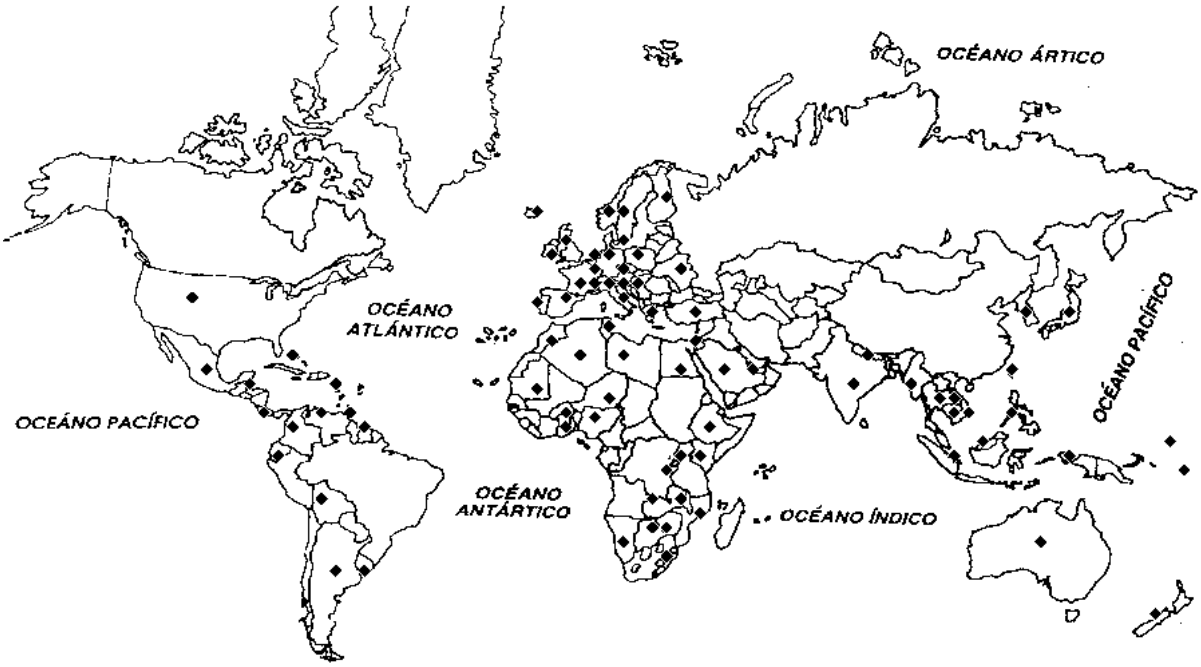
Con respecto a la normatividad aparte de la de México (NOM-083-SEMARNAT); la EPA, también habla al respecto, Title 40 CFR-Part 258-Criteria for municipal solid waste landfills.

Costo de Inversión aproximado es de 17,300.00 USD/Ton y el costo promedio por Tonelada Procesada es de $15.00 USD/Ton.

La distribución geográfica de aplicación de la aplicación de esta técnica se muestra en el mapa 13, es la disposición que más se demanda a nivel mundial.

Los países más representativos que lo aplican son: Estados Unidos, México, Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Colombia, Costa rica, Ecuador, Guyana,

Trinidad y Tobago, Uruguay, Venezuela, Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Suecia, Suiza, Turquía, Ucrania, Arabia Saudita, Bahrein, Brunei, Camboya, Corea, Filipinas, India, Indonesia, Japón, Laos, Líbano, Malasia, Myanmar, Nepal, Singapur, Taiwán, Tailandia, Vietnam, Australia, Islas Marshall, Kiribati, Nueva Zelanda, Argelia, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Egipto, Etiopía, Ghana, Kenia, Lesoto, Libia, Malawi, Mauritania, Mozambique, Morocco, Namibia, Níger, Nigeria, Túnez, Uganda, Zambia, Zimbawe.



Mapa 13. Distribución geográfica de la aplicación de la técnica de Relleno Sanitario Convencional. Fuente: Elaboración propia.

ii) Relleno sanitario bioreactor acelerado

Este relleno sanitario está diseñado para residuos no peligrosos, en particular para residuos biodegradables. El número de bioreactores acelerados es relativamente bajo, sin embargo han recibido atención a nivel mundial como un medio para la estabilización de los residuos biodegradables. Por ejemplo, Estados Unidos, la Unión Europea, Canadá, Australia, Sud América, Japón, Nueva Zelanda. (Williams, 2005).

Es un concepto nuevo en la tecnología de rellenos sanitarios que consiste en acelerar la producción de metano a través de la recirculación de lixiviados con lo cual aumenta la cantidad de biogás aprovechable como fuente de energía.

Su principal objetivo es tratar eficientemente los lixiviados y aumentar la producción de biogás.

Capacidad: Aumenta la capacidad en un 15 a 40%

Los requerimientos hidrogeológicos de los residuos para este tipo de relleno sanitario sustentable son:

Parámetro	Requerimiento de Diseño
Homogeneidad	Pulverización y trituración de los residuos incrementa la homogeneidad y el área.
Densidad	Baja densidad, e. g., <0.8 toneladas/m^3 (densidad en seco) para mantener la conductividad hidráulica entre 10^{-5} y 10^{-6}

(Williams, 2005).

Características Residuos a Tratar: Residuos no peligrosos y biodegradables.

Principales Componentes de una Planta:

Además de los componentes que requiere un relleno sanitario convencional, se necesita la red de tuberías para la inyección de lixiviados.

Localización y Necesidad de Espacio
Tiene las mismas necesidades que un relleno sanitario convencional.

Obras Previas a la Instalación
Se necesita nivelar el terreno para que sea lo más plano posible.

Requerimiento para su aplicación; se necesita que sea aceptado socialmente, ya que en general este tipo de rellenos tienen una percepción pública negativa.

Proceso

a) Bioreactores anaerobios. Aceleran la estabilización de la materia orgánica mediante la adición de humedad en forma constante y uniforme en toda la masa de los residuos contenidos. La máxima producción de metano se da con un contenido de humedad de 60 a 80% en peso.
b) Bioreactores Aerobios. Se realiza una inyección controlada de humedad y aire al interior de la masa de residuos. Los materiales biodegradables ante la presencia de humedad y aire, son estabilizados rápidamente. El lixiviado es bombeado a presión para ser infiltrado dentro de la masa de residuos mediante pozos de inyección hasta alcanzar un contenido de humedad de 50 a 70% en peso.

Tiempo de Vida Útil: Aumenta hasta en 3 veces su vida útil normal.

Los impactos ambientales, ventajas y desventajas de la tecnología de Relleno sanitario bioreactor acelerado, se muestra en el cuadro 33.

Cuadro 33. Impacto ambiental, ventajas y desventajas de la tecnología Relleno Sanitario Bioreactor Acelerado.

Impactos Ambientales	
Positivos: ➢ Mejora en la calidad de lixiviados. ➢ Mayor capacidad de los rellenos sanitarios y aumento en su vida útil.	Negativos: ➢ El biogás obtenido requiere de un proceso de refinación. ➢ La calidad de los materiales recuperables es baja.
Ventajas	**Desventajas**
➢ Se tiene una alta tasa de generación de metano. ➢ El tiempo de estabilización de la materia orgánica se reduce de manera significativa. ➢ Incrementa la vida útil y la capacidad de rellenos sanitarios.	➢ La tecnología necesaria, no ha sido desarrollada completamente. ➢ Los costos de inversión, operación y mantenimiento son altos.

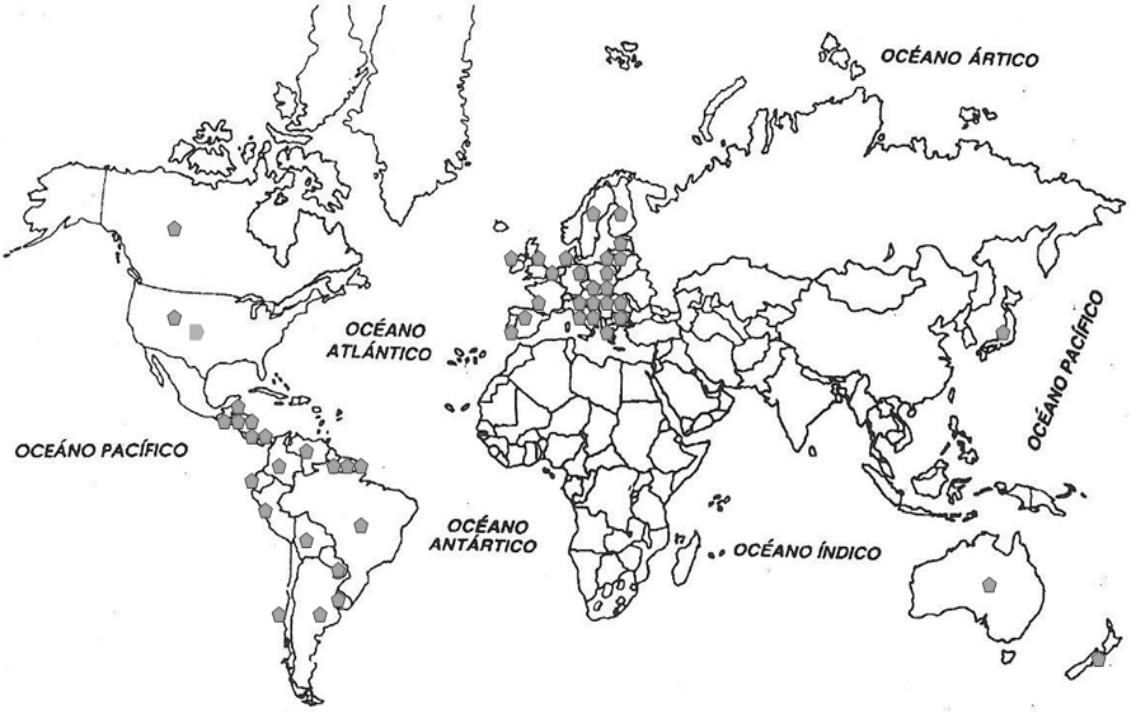
Normatividad, la EPA en el Title 40 CFR-Part 258-Criteria for municipal solid waste landfills, señala algo al respecto.

Costo de Inversión, se requiere de $21,500.00 USD/100/día y para el costo por Tonelada Procesada $8.00-$19.00 USD/Ton.

La distribución geográfica de aplicación de la aplicación de esta técnica se muestra en el mapa 14, además en el mismo mapa se señalan los países que han implementado la modalidad de relleno sanitario metano génico.

Países que aplican dicha tecnología son:

Estados Unidos, Unión Europea, Canadá, Australia, América del Sur, Japón, Nueva Zelanda.



Mapa 14. Distribución geográfica de la aplicación de la técnica de Relleno Sanitario Bioreactor Acelerado y Metanogénico. Fuente: Elaboración propia.

iii) Relleno sanitario metano-génico.

Es un nuevo concepto tecnológico para la disposición final de la basura, que toma en cuenta el proceso de digestión anaerobia y la recirculación de lixiviado, para acelerar la estabilización de los residuos, manejar convenientemente los lixiviados y promover el aprovechamiento de biogás, al incrementar sus tasas de producción por unidad de tiempo (Sánchez, 2006).

El objetivo de esta tecnología es utilizar los Bio-rellenos Metanogénicos, como tecnología para la disposición final sustentable de los residuos sólidos, es una clara tendencia a nivel mundial. Incluso se fortalece ante las iniciativas que hoy prevalecen en cuanto a instrumentar la recolección separada de estos residuos en viviendas, comercios, etc., de forma tal que su fracción orgánica biodegradable vaya directamente a los bio-reactores, pudiéndose realizar esta práctica en cualquier localidad independientemente de su tamaño.

En otros países, específicamente de primer mundo y algunos en Sudamérica operan sus sitios de disposición final como biorrellenos metanogénicos o como biorreactores, teniendo excelentes beneficios ambientales y operacionales.

El biorrelleno metanogénico es un sistema que permite la recirculación de líquidos a los residuos durante su llenado y durante su operación. El contenido de

humedad optimo para la degradación de residuos es de 60 a 70% (A Bluestem Solid Waste Bioreactor Cell Pilot Project Operating Protocol and Monitoring Plan Draft Report, 1997). La Environmental Protection Agency (EPA) define un biorrelleno como un relleno que logra un 40% en contenido de humedad agregando líquidos (EPA, 2000).

En resumen, se puede decir que las grandes ventajas que tiene un biorrelleno metanogénico sobre los rellenos tradicionales son:

- Estabilización más rápida de los residuos.
- Aumenta el tiempo post clausura.
- Minimiza a largo plazo la responsabilidad ambiental.
- Incrementa el espacio debido al asentamiento que puede minimizar la necesidad la buscar nuevos sitios.
- Permite la producción de biogás con potencial de recuperación de energía.
- Mejora el almacenamiento de lixiviado y reduce los costos de tratamiento.

Características Residuos a Tratar: Materia orgánica

Principales Componentes de una Planta

BM: Bio-relleno Metanogénico
R: Recirculación de Lodos Metanogénicos
RA: Reactor Anaerobio Integrado para la producción de Inoculo Metanogénico
L: Extracción de Lixiviados
TM: tanque de mezclado
P: Purga de Lodos Metanogénicos
TI: Tanque de Igualación
I: Infiltración de Lixiviados

En el cuadro 34 se detallan las ventajas y desventajas de un relleno sanitario metano-génico, no se tiene mucha información al respecto, como en los rellenos sanitarios anteriormente descritos.

Cuadro 34. Tecnología de la metodología de Relleno Sanitario Metanogénico.

Ventajas	**Desventajas**
Estabilización más rápida de los residuos. Aumenta el tiempo post clausura. Minimiza a largo plazo la responsabilidad ambiental. Incrementa el espacio debido al asentamiento que puede minimizar la necesidad la buscar nuevos sitios. Permite la producción de biogás con potencial de recuperación de energía. Mejora el almacenamiento de lixiviado y reduce los costos de tratamiento.	Costos adicionales para la homogenización de la materia orgánica Requiere de acondicionamiento para mejorar el desempeño Requiere de un control de su operación La eficiencia depende de las características y composición de los residuos entrantes No es posible la remoción de nitrógeno y fósforo Está ligada a un rango de pH relativamente estrecho (6-8.5) elcual debe de ser controlado lo que puede significar costos adicionales

vi)Relleno sanitario seco y/o alta compactación.

El pretratamiento de alta compactación es conocido también como la tecnología del "Relleno Seco". Con este procedimiento se aumenta la cantidad de los residuos depositados en el relleno sanitario y promete reducir los problemas ambientales y un mejor manejo de la disposición final. El pretratamiento puede contener varios procesos adicionales como la selección manual y la separación completamente automatizada hasta el encapsulamiento de las pacas con plásticos o flejes, los cuales se pueden adaptar a las necesidades locales, a la variación de la cantidad y las propiedades de los residuos municipales (Koerner, 2006).

En este tipo de relleno entran los residuos sólidos que no son reciclables son compactados con una prensa, formando pacas que son transportadas al sitio de disposición final, donde son colocadas en pilas sobre el terreno, para después cubrirlas con material térreo.

El objetivo de esta tecnología es: tener un mejor aprovechamiento del espacio que se tiene para la disposición final, y así aumentar la cantidad de residuos que se pueden depositar en un relleno sanitario.

En cuanto a la capacidad se observa un aumenta aproximadamente en un 50% más de residuos sólidos que se pueden colocar.

Características Residuos a Tratar:

Residuos sólidos no reciclables. Residuos sólidos urbanos, residuos industriales, residuos agrícolas, residuos de construcción y demolición.

Principales Componentes de una Planta:

Sistema de compactación de residuos sólidos; red de drenaje para captar los líquidos escurridos en las prensas; sistema de agua para lavado periódico de los equipos.

Localización y Necesidad de Espacio:

El terreno en el que se construye debe ser preferiblemente plano y de fácil acceso.

Obras Previas a la Instalación:

Se necesitan construir caminos de fácil acceso.

Requerimiento para su Aplicación:

Se necesita capacitar al personal que operará la planta donde se llevará a cabo la compactación de residuos sólidos.

Proceso:

Se compactan fuertemente los residuos sólidos con una prensa, se le extraen los lixiviados y se forman pacas que son transportadas al sitio de disposición final donde se apilan en un terreno preferiblemente plano y después se cubren con una capa de tierra para evitar infiltraciones de agua.

Tiempo de Vida Útil

Aumenta aproximadamente de 15 a 20 años de vida útil.

Las ventajas y desventajas de este tipo de relleno se muestran en el cuadro 35.

Cuadro 35. Tecnología de Relleno Sanitario Seco.

Impactos Ambientales	
Positivos: ➢ Mayor aprovechamiento de los rellenos sanitarios. ➢ Incremento de la vida útil de rellenos sanitarios.	Negativos: ➢ Se tienen mayores consumos de energía. ➢ Generación de contaminación atmosférica.
Ventajas	**Desventajas**
➢ Se necesita menor material de cobertura. ➢ La apariencia de los rellenos secos es más aceptada por la sociedad que los rellenos convencionales. ➢ Se tiene un mayor control en la operación del relleno sanitario.	➢ Se tienen altos costos de inversión y operación. ➢ Se tiene poca experiencia en la aplicación de esta tecnología a largo plazo.

Se reporta un Costo de Inversión de $ 21,155.00 USD y el costo por Tonelada Procesada esta en promedio en $10.00 USD.

Este tipo de relleno sanitario es común en Estados Unidos y Francia, recientemente en Chile y ha sido utilizado para residuos peligrosos y no peligrosos. Para residuos biodegradables los rellenos sanitarios secos en teoría se genera un mínimo de lixiviados y por lo tanto no ocasionan ningún problema ambiental. (Williams, 2005).

4.3 Inventario de proveedores de tecnologías para el manejo y disposición de Residuos Sólidos Urbanos.

En éste capitulo se presenta un inventario de los proveedores (cuadro 36) que ofrecen tecnologías potencialmente aplicables en el país para el manejo, tratamiento y/o disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos, considerando el tipo de residuos a tratar, la marca de la tecnología, su procedencia, referencias de aplicación, datos del proveedor y la descripción que el proveedor hace a la tecnología. Así también se incluye un análisis y discusión de las tecnologías que ofrecen los proveedores.

Cuadro 36. Inventario de proveedores de tecnologías para el manejo y disposición de Residuos Sólidos Urbanos.

TECNOLOGÍA: SELECCIÓN					
CATEGORÍA 1: PLANTA DE SELECCIÓN					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	IMABE IBERICA	España	Naucalpan, Estado de México, México	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	Diseño para recuperación de residuos reciclables en función del tipo de residuo, (mezclado, recolección selectiva, construcción, etc) producción horaria requerida, materiales a recuperar, grado de automatización deseado, rango de inversión y/o espacio disponible.
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	ECOFENIX	México	Boca del Rio Veracruz, México	**ECOFENIX** **Dirección:** Calle Venustiano Carranza No. 19 Ex Rancho El Conde San Pablo Xochimehuacán, Puebla Pue. C.P. 72016. **Contacto:** Acosta Martínez Raúl. Ing. Subdirección Comercial **Tel:** 01 222 282 1133 282 0408 196 4573 Fax: 196 4574 **info@ecofenix.com.mx** **Website: www.ecofenix.com.mx**	Las plantas de clasificado se fabrican conforme a las necesidades del cliente, pueden ser 3 o mas sistemas de clasificado. Lleva un tromel por donde pasa el total de los residuos y hace un preclasificado donde son separados los residuos por volumetria y apartada la materia orgánica. Los residuos más voluminosos son depositados en una banda transportadora de rechazo con destino a la prensa de compactación, los medianos y los grandes se clasifican manualmente, se retira el metal por imanes con un sistema automatizado .
TECNOLOGÍA: COMPACTACIÓN					
CATEGORÍA 1: ALTA COMPACTACIÓN					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	IMABE IBERICA	España	Madrid, España Algarve, Portugal Moscú, Rusia Planta de Selección, Santa Catarina, Estado de México, México Planta de Selección, Aragón México D. F	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	El Sistema Imabe para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos permite su prensado y enfardado automático en fardos de alta densidad (1.000 a 1.200 Kg./m3) y hasta 2,5 m3 cada uno, con peso y dimensiones uniformes. Constituye una alternativa al sistema tradicional del vertido controlado
RESIDUOS SÓLIDO URBANOS	HARRIS	EUA	Dubai, Emiratos Arabes Unidos Carolina, Puerto Rico, Johannesburgo, Sudáfrica, Milano, Italia, Buenos Aires, Argentina	**ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS SA DE CV** **Dirección:** Baja California #120.Col. Vivienda Popular Guadalupe N.L. México C.P. 67170 **Contacto:** Ing. Hugo Olazarán González Director General. **h.olazaran@actionwaste.com.mx** **Tel:** 1505 0948, 1505 0949 **Fax:** 1367 9090 **Website: www.harriswaste.com**	Diseño, fabricación y soporte de las máquinas de procesamiento de chatarra, reciclado, reducción de tamaño del material y el tratamiento de residuos Harris ha permanecido como líder de la industria de las máquinas que reducen materiales por tener en cuenta las necesidades de los clientes. Sea el Departamento de Defensa que necesita una cizalla de metal macizo para desarmar submarinos rusos o la carnicería local que necesita embalar los residuos de cartón y plástico, Harris ha sido capaz de brindar la maquinaria adecuada para tal aplicación. Desde el tratamiento de residuos Sólidos hasta el reciclado de chatarra.
CATEGORÍA 2: ALTA COMPACTACIÓN CON PELÍCULA PLÁSTICA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	EGT S.R.L.	Italia	Italia España Francia Andorra Países Bajos Suiza	**BIOSOLUCIONES ENERGETICAS Y AMBIENTALES, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Torcuato Tasso No. 245-103 Col. Chapultepec Morales, 11570 México D.F. **Contacto:** Ing. Algranti Y. Alberto Director General algranti@biosoluciones.com.mx algranti@prodigy.net.mx **Tel:** 5255 1015 (55) 5564 9712 **Cel:** (55) 5453 3652 **Fax:** 5264 6996 **Website: www.biosoluciones.com.mx**	El sistema propuesto basado en la tecnología desarrollada por dicha empresa y que cuenta ya con instalaciones con más de 10 años de estar operando en forma continua y que permite hacer totalmente inerte la basura procesada dentro de un plazo máximo de 18 hrs durante el cual se cancelan todos los procesos internos tanto aeróbicos como anaeróbicos, lo que ha sido avalado a través de diversos estudios y certificaciones a nivel internacional, entre ellas las de las empresas DECRA Environmental Company y CYLERGIE- ELYO Research Centre, con el respaldo de ADEME, las cuales se incluyen dentro de la presentación general del sistema Ecoroll de la empresa EGTECHNOLOGY.
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	ECOFENIX	México	Boca del Río, Veracruz, México	**ECOFENIX** **Dirección:** Calle Venustiano Carranza No. 19 Ex Rancho El Conde San Pablo Xochimehuacán, Puebla Pue. C.P. 72016. **Contacto:** Acosta Martínez Raúl. Ing. Subdirección Comercial **Tel:** 01 222 282 1133 282 0408 196 4573 Fax: 196 4574 **info@ecofenix.com.mx** **Website: www.ecofenix.com.mx**	La prensa, permite la confección de balas de alta densidad y de igual longitud, independientemente del residuo a compactar, el prensado se efectúa en una cámara cerrada construida de acero especial anticorrosión con 3 puertos controlables de salida de líquidos y un pistón anti-atasco incorporado
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	MACPRESS	Italia	Houston, Lake, St. Luicie EUA Río de Janeiro Brasil Buenos Aires, Argentina Holanda Korea Canadá	**Grupo GH** **Dirección:** Av. Insurgentes Sur No. 1605 piso 10A, Colonia San José Insurgentes C.P. 03900, México, D.F. **Contacto:** Ing. Ignacio Galindo, Director General **igalindo@ghmaquinaria.com** **Tel:** 5322 9977 **Fax**: 5322 9965 **Website:** www.macpresse.com	Equipo diseñado con 2 compartimientos para residuos orgánicos e inorgánicos, cuenta con compactación regulable para cada compartimiento y descarga por placas eyectoras independientes; lo cual permite eliminar la duplicación de rutas
TECNOLOGÍA: BIODIGESTIÓN					

CATEGORÍA 1: APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS Y PRODUCCIÓN DE ABONO					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON 40% DE ORGÁNICOS MÍNIMO	CERRO-CORP	Dinamarca-EUA	EUA	**INTRASISO, S.A. de C.V.** **Dirección:** Blvd. Dr. José Ma. Rodríguez #956, Col. Alpes Norte, Saltillo, Coahuila **Contacto:** López Gutiérrez Luis Carlos Gerente General **gerencia@intrsiso.com** **Tel:** (844) 250 4739 Móvil: (844) 140 9998 y (55) 2421 6908 USA: (801) 877 080 **Website:** www.intrasiso.com	Proceso de Fermentación - Oxidación.- Desarrolla por medio de digestores y calor la fermentación de los Residuos Sólidos Municipales, sin enviar contaminantes al Medio Ambiente; eliminando la emisión de humos, olores, etc. Comercialmente se considera un proceso completamente limpio.
RESIDUOS ORGÁNICOS 100% DE LIMPIEZA SIN CONTAMINACIÓN DE INORGÁNICOS	INGENIERÍA ALBATROS	México	Thonburi, Tailandia	**INGENIERÍA ALBATROS, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Jesús Urueta 17, Col. San Lorenzo la Cebada, C.P. 16035, Del. Xochimilco **Contacto:** Aguilar Silva Hugo, Director General. **ing_albatros@yahoo.com.mx** **Tel/Fax:** 8502 3140 8502 3141 5489 8761	Se realiza un pretratamiento en cintas transportadoras, separadores magnéticos y un triturador. El tratamiento de la fracción orgánica cuenta con digestores primarios, secundarios y con un deposito de liquido tratado. Además de un sistema para la generación de energía eléctrica. Se obtiene composta conocida como Briosol y fertilizante líquido Biol
TECNOLOGÍA: PLANTA DE COMPOSTA					
CATEGORÍA 1: PLANTA DE TRATAMIENTO DE ORGÁNICOS CON SEPARACIÓN DE INORGÁNICOS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DEAPLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	NATUR-ABONO	Colombia México	Nicolás Romero, Estado de México	**BIOSISTEMAS SUSTENTABLES S.A. DE C.V.** **Dirección:** Camino al Olivo no. 15, Desp. 301 A, Col. Lomas de Vista Hermosa, Del. Cuajimalpa C.P. 05100, México, D.F. **Contacto:** Rello L. Carlos C. Luis Manuel Rodríguez, Representante **crello@mail.com** **Tel/Fax:** 5253 2959 **Website:** www.biosistemas.com.mx	Se utilizan microorganismos termófilos mineralizadores de la materia orgánica a través de un proceso anaeróbio. Generando abono orgánico libre de patógenos y con alto contenido de micronutrientes benéficos para los cultivos
CATEGORÍA 2: PILA ESTÁTICAS					

TIPO DE RESIDUO	MARCA	PAÍS DE PROCEDENCIA	REFERENCIAS DE APLICACIÓN	PROVEEDOR	DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR
RESIDUOS ORGÁNICOS, RESIDUOS DE PODA	GRUPO SINDER	México	Delegación Miguel Hidalgo MÉXICO D,F.	**GRUPO SINDER S.A. DE C.V.** **Dirección:** Av. Insurgentes Sur no. 1605 piso 10 A, Colonia San José Insurgentes C.P. 03900, México D.F. **Contacto:** Iriarte Fuentes Héctor Director General y Gerente de Proyectos. **igalindo@ghmaquinaria.com** **hiriarte@gruposinder.com** **agarcia@gruposinder.com** **Tel:** 5322 9977 **Fax:** 5322 9965 **Website:** www.ghmaquinaria.com	Las plantas de generación de composta tratan residuos de mercados, material de poda y jardinería, así como residuos de alimentos el sistema utilizado de pilas estáticas es una tecnología de bajo costo de inversión y resultados inmediatos la empresa a operado una planta en el Distrito Federal.
CATEGORÍA 3: MECANIZADA CUBIERTA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS ORGÁNICOS	TAIME - WESSER	España	Pohische Heide / Porta Westfalica, Alemania Maastrich/ Holanda Cerdeña / España Meruelo / España Hannover / Alemania Barcelona / España Valencia / España Zaragoza/España	**GRUPO TAIME - WESSER** **Dirección:** Konigstrasse 45, D - 32547 Bad Oeynhausen **Contacto:**Lara Mijares Mario, Dr. Herken Michael, Delegado en México **dfmario@yahoo.com.mx** **wesser@mejico.com** **Tel:** 55680004 5652 3955 5264 6182 **Website:** weesser-engineering.de	Las plantas de tratamiento mecánico - biológico se basan en la separación de los materiales reciclables y el tratamiento biológico de los componentes orgánicos. Los residuos orgánicos separados en origen, junto con ciertas cantidades de residuo vegetal (poda, arbustos, raíces) pueden ser transformados en abono y fertilizante biológico mediante sistemas de tratamiento.
TECNOLOGÍA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ETANOL					
CATEGORÍA 1: BIOCOMBUSTIBLES					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	RECLAIIM RESOURCES	Latvia	León, Guanajuato, México	**NORD ECO, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Edificio Plaza 500, Mezanine León Guanajuato **Contacto:** Lic. Gustavo A. Ruenes Escoto, Representante **nordeco@inbox.lv** **Tel:** 55 4467 4617 99 9163 3975	Tratando la basura domestica urbana con temperatura alta y humedad se puede convertir la basura al producto útil, se podría vender a transformadores de materias primas o usarla para general bioetanol de alto valor.
TECNOLOGÍA: GASIFICACIÓN					
CATEGORÍA 1: SEPARACIÓN PIROLISIS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	TM	Alemania	Neumünster, Germany. 2005	**TM TECNOSILICATOS DE MÉXICO S.A. DE C.V.** **Dirección:** Blvd. Toluca 119, 2 Piso, Col, San Andrés Atoto Naucalpan de Juárez Edo de México C.P. 53500 **Contacto:** López López Rogelio, Presidente **rogelio.lopez@tecnosilicatos.com** **Tel:** 3868-0940, 3868-0941/42/43 **Fax:** 5359-6735 **Website:** www.gpecglobal.com	Se separa la materia orgánica que posteriormente entra a un proceso de mineralización donde es deshidratada, triturada y mezclada con aditivos. El resto de los desechos son sometidos a un proceso de reciclaje para la obtención de vidrio, metales y aluminio. La fracción restante se tritura y es sometida a la gasificación donde se genera vapor que es conducido a una turbina para la generación de energía eléctrica. Las emisiones se limpian y generan gas combustible
CATEGORÍA 2: PIROLISIS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RETIRAR VIDRIO Y METALES REDUCIR LA FRACCIÓN ORGÁNICA)	CONSTRUMEX I	México	Ojo caliente Zacatecas Jiquilpan Michoacán	**CONSTRUMEX INDUSTRIAL S.A. DE C.V.** **Dirección:** Pensylvania 90 col. Parque San Andrés Coyoacán México D.F. 04040 **Contacto:** Segovia Mejía Marco Director General **Gpoconstrumex@aol.com** **Gpoconstrumex@prodigy.net.mx** **Tel:** 24 57 13 90 56 89 68 66 **Fax:** 24 57 13 89 **Website:** www.grupoconstrumex.com	El material a tratar es sometido a la gasificación por vapor y aire en el régimen superadiabático de combustión. A una temperatura (1000-1200 ℃), sucede la reacción de los residuos de choque con el oxigeno, vapores de agua y bióxido carbónico. Después los residuos se enfrían hasta la temperatura de 100 ℃. Se realiza la incineración del gas energético producido en el hogar de una caldera de vapor. Se realiza la transformación del residuo de ceniza y escoria de la gasificación en materiales de construcción o cerámicas
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	CONTROLLED AIR PYROLYSIS SYSTEM (CAPS)	Canadá	Shenzhen, Guangdong Province, China	**RICHWAY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES LTP SIMPSA INGENIERÍA S.A. DE C.V.** **Dirección:** Guanajuato 65Col. Roma C.P. 06700 México, D. F. **Contacto:** Suárez Zertuche Luis G., Ing. **Lsz@simpsa.com** Bernal Martínez Juan Jesús, C.P. **Juanbernal2008@hotmail.com** Cervantes Velázquez Alberto, Ing. **informes@simpsa.com** **ventas@simpsa.com** **Tel:** 55 74 74 11 **Fax:** 55 74 70 94 **Website: www.richwaygroup.com**	Dos pasos de cámara de combustión. La primaria con aire ahogado, menos turbulencia, baja temperatura. Se realiza pirólisis o termólisis, combustión parcial y proceso de quemado de los desechos Sólidos. Se produce gas combustible y residuos inertes. La secundaria presenta exceso de aire, fuerte turbulencia y alta temperatura. Se logra una combustión completa y descomposición de los orgánicos. Se produce gas caliente para aprovechamiento de energía. Baja descarga de partículas
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	RECYCLED ENERGY CORPORATION	EUA	Japón	**RECYCLED ENERGY CORPORATION, GRUPO SOLUCIONES TÁCTICAS, S.C.** **Dirección:** Piso 12, Despacho 12, World Trade Center, C.P. 03810, México, D. F. **Contacto:** Charles L. Christensen, Presidente **clchristensen@recycledenergy.com** Roberto S. Sonnenberger, Vicepresidente **rsonnenberger@recycledenergy.us** **rsonnen@gstsc.net** **Tel:** 11 07 07 97 **Fax:** 11 07 07 64 **Tel. U.S.A.:** 1 214 717 4741 **Website:** www.recycledenergy.us	La tecnología de pirólisis elegida por REC ha sido utilizada comercialmente en Japón durante más de 15 años. El proceso de conversión es fuertemente controlado y no utiliza oxígeno y emplea un sistema de circuito cerrado para convertir desechos en energía. Porque la tecnología produce cero emisiones de agua y cerca de cero emisiones de aire.
CATEGORÍA 3: PLASMA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON UNA HUMEDAD NO MAYOR AL 20%, EXCEPTO VIDRIOS Y METALES	ALTERNRG, WESTINGHOUSE PLASMA CORPORATION.	Japón	Utashinai, Japón, Yoshii, Japón, Kakogawa, Japón, Shimonoseki, Japón, Imizu, Japón	**CLEENMAIN SA DE CV** **Dirección:** Concepción Beistegui No. 1810-C; Col: Narvarte; Benito Juárez; C.P. 03020; México, D.F. **Contacto:** Hernández Gálvez Luís R. Ortiz Haro y Bravo Jesús **ihernandez@cleenmain.com** **Tel:** +52 (55)5682-1799 **Fax:** +52 (55)5696-1127	Tecnología de Gasificación, y Vitrificación por Plasma, para la conversión de los residuos Urbanos, industriales, sanitarios o peligrosos, en combustibles líquidos y/o generación de energía eléctrica.
CATEGORÍA 4: VITRIFICACIÓN POR PLASMA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON UNA HUMEDAD NO MAYOR AL 20%, EXCEPTO VIDRIOS Y METALES	BEEX-EKOTEK-SOLENA	España	Morcenex, Francia Utashinai, Japón Otawa, Canadá Burdeos, Francia	**GRUPO USVAC, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Colorado 71, Col. Nápoles C.P. 03810 México D.F. **Contacto:** Ing. Marco Antonio Ramírez, Gerente Comercial Lic. Carmen Patricia Sánchez Guadarrama **grupo_usvac@avantel.net** **grupo_usvac@prodigy.net.mx** **Tel:** 5682 5114 al 17 **Website:** www.usvacgroup.com	Después de ser separados los metales y el vidrio y eliminada la humedad de los residuos hasta un 20% listos para ser triturados para el sistema de gasificación. La planta consistiría un sistema de depuración de gases y una unidad de ciclo combinado basado en la turbina de gas.
CATEGORÍA 5: TERMÓLISIS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS IDÓNEOS: RESIDUOS ORGÁNICOS, PLÁSTICOS, LLANTAS, ACEITES, RESIDUOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS. SE PROPONE TRATAR TODO TIPO DE RSU, EXCEPTO DE CONSTRUCCIÓN	TERMÓLISIS	México	N/A	**THERMÓLISIS DE AMÉRICA, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Pavo Real N° 25 Col. Mayorazo de Bosques Atizapán de Zaragoza, Estado de México **Contacto**: Aroca y Cañero Fernando, Presidente **thermolymex@gmail.com** **eduardomoralesdominguez@ymail.com** **Tel:** 53 70 03 48	Se realiza una craquización en un medio reductor a temperaturas no superiores a los 450 °C. Ningún residuo sale del proceso sin haber sido craquizado. La temperatura y presión son controlados en los termolizadores. No se produce ninguna formación ni dispersión de emisiones contaminantes, ni escorias, ni hollines gracias a la limpieza del gas de termolisis. Biogás y carbón como productos más valorizables. Residuo confinable cero
TODO TIPO: RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, NEUMÁTICOS, CAUCHOS, DE FRAGMENTACIÓN AUTOMOTRIZ, HOSPITALARIOS, ORGANOCLORADOS, ACEITES PLÁSTICOS, DE RASTRO, LODOS, AGROPECUARIOS PELIGROSOS Y NO PELIGROSOS, CURTIDURÍA Y TETRA PACK; EXCEPTO CASCAJO, CERÁMICA Y VIDRIO	TERMÓLISIS TORRE AZUL	Alemania	Planta piloto (desde 2001) en Herten, Alemania	**BIO ENERGY S.A. DE C.V., COOPERACIÓN INTEGRAL DE MEDIOAMBIENTE S.A. DE C.V. (CIMSA)** **Dirección:** Av. De las Rosas N° 74-201, Col. Magdalena Atlazolpa, México, D. F., C.P. 09429 **Tel:** 26 21 18 46 26 21 17 39 26 21 18 87 **Website:** www.siemens.com.mx	Preselección y Trituración previas. Torre azul (patente Alemana) con balines de cerámica calentados a 800 °C mediante la incineración de RSU carbonizados; los cuales se dejan caer sobre RSU; para producir gases: 19% CH4, 14% CO y 39% H2
TECNOLOGÍA: DESECADO					
CATEGORÍA 1: PROCESO TÉRMICO PARA ESTABILIZAR LA FRACCIÓN ORGÁNICA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	EGT S.R.L.	Italia	Italia	**BIOSOLUCIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Torcuato Tasso No. 245-103 Col. Chapultepec Morales, 11570 México D.F. **Contacto:** Ing. Algranti Y. Alberto Director General algranti@biosoluciones.com.mx algranti@prodigy.net.mx **Tel:** 5255 1015 (55) 5564 9712 **Cel:** (55) 5453 3652 **Fax:** 5264 6996	Proceso térmico no contaminante que permite convertir los Residuos Sólidos Urbanos y los lodos biológicos en una fracción orgánica estable con aprovechamiento como fertilizante, remediador de suelos, recubridor de relleno sanitario y materia prima para generación de energía eléctrica. Se emplea una mezcla con oxido de calcio para estabilizar las sustancias peligrosas, el producto resultante pasa a un mezclador con aspas que genera una reacción exotérmica (50 - 70 °C)

				Website: www.biosoluciones.com.mx	el vapor de agua generado es extraído y desviado a un depurador. Después de una maduración se enfría y seca.
TECNOLOGÍA: INCINERACIÓN					
CATEGORÍA 1: OXIDACIÓN TÉRMICA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	ENTALPYA	España	Yamanashi, Miyagi Shizouka, Japón Toluca.	**WASTE TO ENERGY ENVIRONMENTAL DE MÉXICO S.A. DE C.V.** **Dirección:** Oficinas en México Tuxpan 77-11 Col. San Jerónimo C.P. 10400 México, D. F. **Contacto:** Rodríguez Cázares Mario Director Técnico **mario.rodriguez@wastetoenergy.es** **Tel:** 55 68 86 11/12/15 **Fax:** 55 68 86 12 **Website:** www.wastetoenergy.es	La oxidación térmica catalítica se realiza en una cámara aislada por diferentes capas donde circula aire, agua y catalizadores a alta presión y temperatura. El aire y catalizadores son inyectados mediante tuberías que forman un vórtice de altísima turbulencia que favorece la oxidación e incrementa el tiempo de residencia a más de 3 segundos con temperaturas de (1000 a 1500 ^{o}C). Cualquier partícula que no haya sido valorizada energéticamente durante el proceso, es recirculada a través de un sistema de convección reticulado para su aprovechamiento térmico total. Se libera vapor y aire caliente limpios gracias al sistema de lavado de gases que sustrae partículas y otros componentes que son reintroducidos a la cámara.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	UGS	Canadá	Europa, Asia, Latino América	**ENERGY AND ENVIRONMENT, INC.** **Dirección:** Corporate Office-5482, Business Drive Unit C. Huntington Beach, California 92649. 1675 Toronto Way Costa Mesa, CA 92626 **Dirección en México:** Calle de Convento N° 34, Col. Coyoacán **Contacto:** Sardari, Amir A. C. Fuentes Gabriel **eei@eeinc2000.com** **dircom@sos-ambiente.com.mx** **Tel:** 714 893 7805 **Fax:** 714 893 2765 **Tel en México:** 52 64 84 08 52 64 88 08 56 88 26 88 (714) 5457805 (714) 8504632 **Website:** www.eeinc2000.com	La gasificación de la biomasa es una tecnología de conversión térmica endotérmica, donde un combustible sólido se convierte en un gas combustible. Un suministro limitado de oxígeno, aire, vapor, o una combinación sirve como agente oxidante.
TECNOLOGÍA: RELLENO SANITARIO					
CATEGORÍA 1: RELLENO CONVENCIONAL					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	PROMOTORA AMBIENTAL	México	Cuernavaca, México León, México Guadalajara, México Culiacán, México Villahermosa, México Torreón, México	**PROMOTORA AMBIENTAL S.A. DE C.V.** **Dirección:** San Francisco N° 657 A Ofic. 7ª Esq. con Eugenia, Col. Del Valle, Del. Benito Juárez, México, D. F. C.P. 03100 **Contacto:** Dieck Assad Alejandro **edieck@gen.tv** Reyes Cantú Víctor Hugo, Lic. **vhreyes@gen.tv** **Tel:** 56 87 06 04 56 82 46 54 (81) 81 22 76 12 (oficina) (81) 81 22 76 00 Ext. 137 (81) 16 11 25 10 **Website:** www.gen.tv	Concesión para la operación de relleno sanitario

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	PROACTIVA	México	Tlalnepantla, México Naucalpan, México Querétaro, México Jalapa, México Córdoba, México Tuxtla Gutiérrez, México Mérida, México	**PROACTIVA MEDIO AMBIENTE MÉXICO** **Dirección:** Tomás Alba Edison N° 176, Col. San Rafael, Del. Cuauhtémoc C.P. 06470 México, D. F. **Contacto:** Moreno Mejía Eric, Director de Desarrollo de Negocios Fragoso Bernal Carlos, Director de División Residuos **info@proactiva.com.mx** Chávez Vasavilbaso Alfonso, Ing. **alfonso.chavez@practiva.com.mx** **Tel:** 57 22 77 18 57 22 70 00 57 22 77 05 **Fax:** 57 22 77 12 **Website:** www.proactiva.com.mx	Servicio de disposición final de residuos Sólidos no peligrosos en relleno sanitario
CATEGORÍA 2: APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	KAWASAKI M1A-13A, MARATHON MAGNAMAX	México	Monterrey, D.F. México, Canadá	**SISTEMAS DE ENERGÍA INTERNACIONAL, S.A. DE C.V. (SEISA)** **Dirección:** Ocampo 429, Pte, Centro Monterrey N.L., México C. P. 64000 Av. E #101 Parque Industrial Almacentro, Apodaca **Contacto:** Saldaña Méndez Jaime **jsaldaña@seisa.com.mx** Rábago de la Hoz José Luis Calderón González Francisco Miguel **fcalderon@seisa.com.mx** Arguelles Delgado Jorge, Ing. **jarquelles@seisa.com.mx** **Tel:** 01 81 83 44 20 29 52 81 83 44 20 29 Ext. 117 **Fax:** (81)8196-4400 **Website:** www.seisa.com.mx	Instalación de equipos de extracción y utilización del biogás que se genera en relleno sanitario en donde el Metano constituyente del Biogás se aprovecha para generar electricidad.

BIOGÁS	ECOSECURITIES	México	Aguascalientes, México Tecamac, México	**ECOSECURITIES- ECOMETHANE+D5** **Dirección:** Ecosecurities, Puente de Xoco No. 39, Col. Xoco, C.P. 03330, Del. Benito Juárez, México D.F. **Contacto:** Quadri Gabriel, Director General de México y Centroamérica **gabriel@ecosecurities.com** **Tel/Fax:** 5601 5341 al 43 **Website:** www.ecosecurities.com	EcoSecurities estructura y guía los proyectos de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero desde su principio a fin, trabajando tanto con los desarrolladores de proyectos como con los compradores de créditos de reducción de emisiones. EcoSecurities ha trabajado de igual forma con compañías que se encuentran ubicadas en países industrializados en vías de desarrollo, para crear créditos de carbono a partir de proyectos que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, EcoSecurities cuenta con experiencia en el desarrollo de proyectos de diferentes sectores, tales como energía renovable, agricultura y manejo de residuos Urbanos, eficiencia industrial y silvicultura.
TECNOLOGÍA: MAQUINARIA					
CATEGORÍA 1: ASTILLADORAS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
PODA	VERMEER	EUA	Planta de composta Bordo Poniente, D.F., México	**VERMEER EQUIPMENT DE MEXICO** **Dirección:** Av. Central No. 93, Col. Tepalcates, 09210 México, D.F. **Contacto:** Victor J. Espinosa, Especialista en equipo ecológico **victor.espinosa@vermeerdlr.com** **Tel:** 5756 5619 5756 0677; 01 800 215 5650 **Fax:** 5115 0566 **Cel:** 04455 5451 5872 **Website:** www.vermeer.com.mx	Estas Máquinas trituran los troncos en forma de Astillas, reduciendo el Volumen de Transporte hasta en 12 veces. Dichas Astillas se transforman en Composta.

RESIDUOS DE PODA	KOMPTECH	Austria	EUA	**KOMPTECH** **Dirección:** Av. Presidente Masaryk 101, piso 9 Col. Chapultepec Morales, C. P. 11570 México, D.F. **Contacto:** Franz Dorn **mexico@austriantrade.org** **Tel:** +52 55 52 54 44 18 **Fax:** 52 55 52 55 16 65 **Website:** www.komptech.com	Astilladora para tractor diseñada para astillar matorral y troncos de árboles.
CATEGORÍA 2: COMPACTADORAS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	HARRIS	EUA	Plantas de selección de bordo Poniente, D.F., México	**ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Baja California 120, Col. Vivienda Popular, C.P. 67171, Guadalupe, Nuevo León, México, **Contacto:** Ing. Hugo Olazarán González, Director General **h.olazaran@actionwaste.com.mx** **Tel:** 1506 0948 1505 0949 **Fax**: 1367 9090 **Website:** www.actionwaste.com.mx	Diseñadas especialmente para centros de distribución, depósitos, plantas industriales y plantas de ensamble. Comprime materiales no ferrosos, cartón corrugado, plásticos y periódicos. Reduce los costos relacionados con la eliminación de residuos. El tiempo de presión produce pacas más densas
CATEGORÍA 3: CONTENEDORES CON AUTOCOMPACTACIÓN					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	La compactación de RSU mediante compactadores estáticos y contenedores
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	ECOFENIX	México	N/D	**ECOFENIX** **Dirección:** Calle Venustiano Carranza No. 19 Ex Rancho El Conde San Pablo Xochimehuacán, Puebla, Pue. C.P. 72016. **Contacto:** Acosta Martínez Raúl. Ing. Subdirección Comercial **Tel:** 01 222 282 1133 282 0408 196 4573 Fax: 196 4574 **info@ecofenix.com.mx** **Website: www.ecofenix.com.mx**	N/D
CATEGORÍA 4: CONTENEDORES CON SISTEMA FIJO DE COMPACTACIÓN					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	La compactación mediante autocompactadores (contenedor con compactador integrado) permite optimizar la gestión y logística de los residuos.
CATEGORÍA 5: CRIBA GIRATORIA PARA SEGREGACIÓN DE RESIDUOS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	En las plantas de tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos la apertura y vaciado de las bolsas se realiza con gran efectividad mediante una criba giratoria equipada con pinchos. Su diseño garantiza un funcionamiento continuo sin enredos de cuerdas, alambres ni atasco de materiales voluminosos y sin producir la rotura de los envases. Esta construido con materiales antidesgaste y requiere un bajo mantenimiento.
CATEGORÍA 6: ESTACIÓN DE TRANSFERENCIA CON SISTEMA DE CONTENEDORES CON COMPACTACIÓN					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	Las estaciones de transferencia de residuos Sólidos optimizan su recolección y transporte. Los camiones recolectores descargan en la estación de transferencia y continúan con la recolección mientras que los residuos son introducidos y compactados en el interior de unos contenedores, que una vez llenos son transportados por camiones portacontenedores a la planta de tratamiento o vertedero.
CATEGORÍA 7: INSTALACIONES MODULARES PARA PRODUCCIÓN DE PELET.TECNOLOGÍA REGRANULABLE PARA LOS TERMOPLÁSTICOS RECICLABLES					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
PLÁSTICO: - HD - DE (POLIETILENO ALTA DENSIDAD) - LD - PE (POLIETILENO BAJA DENSIDAD) - LLD - DE (POLIETILENO LINEAL) - PVC (POLICLORURO DE VINILO) - ABS (ACRILONTRILO-BUTADIENOESTIRENO) - PS (POLIESTIRENO) - EPS (POLIETIRENO EXPANDIBLE) - XPS - PC (POLICARBONATO) - PP (POLIPROPILENO) - BOPP - OPP - EVOH - EVA (ETILENO Y ACETATO DE VINILO) - PA (NYLON) -PET (POLIETILENTEREFTALATO)	ARTEC ADVANCED RECYCLING TECNOLOGY	Austria	N/D	**ARTEC ADVANCED RECYCLING TECNOLOGY** **Dirección:** Industries trasse 10 A-4531 KEMATEN a.d. Krems Austria **Contacto:** Sr. Georg Steinrisser **georg.steinrisser@artec.co.at** **Tel:** +43 7228 6979 – 18 **Fax:** +43 7228 6979 - 10 **Website:** www.artec.at	Los residuos son clasificados y limpiados. En la planta de reciclaje son cortados y compactados. En estos procesos el material es calentado por la fuerza de la fricción del cortador y compactador. Se realiza extrusión, donde el material se convierte en liquido y algunas partículas nocivas se evaporan y se retiran. El material derretido es presionado a través de un dado y reprocesado como pelets.
CATEGORÍA 8: PELA CABLES					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

CABLES DE COBRE	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	El diseño del pelacables permite que un único operario pueda procesar hasta 30 metros por minuto de cable con diámetros entre 5 y 80 mm, con las manos alejadas de la zona de corte en todo momento. El cuadro de maniobra incorpora inversor para avance y retroceso.
CATEGORÍA 9: PERFORADORA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
BOTELLAS DE PET	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	En el caso del plástico Pet es imprescindible perforar las botellas si no se quita el tapón para optimizar su prensado posterior y obtener balas más densas, estables y resistentes. El diseño de los rotores y pinchos garantiza el perforado de botellas de cualquier tamaño, sin fraccionarlas y sin requerir ningún tipo de dispositivo que empuje las botellas hacia los rotores. El equipo puede colocarse sustituyendo al tolvín de selección incorporando su propia tolva o en la tolva de carga de la prensa con un mecanismo de desplazamiento
CATEGORÍA 10: PRENSA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

TAMBOS, LATAS Y FILTOS	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	Prensa de reducidas dimensiones y uso fácil para la reducción de volumen y vaciado de líquidos mediante compactación de: bidones metálicos de gran tamaño, latas metálicas de hasta 70 litros de capacidad, filtros de aceite.
CATEGORÍA 11: PRENSA APLANA COCHES					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
AUTOMÓVILES	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	Diversos modelos estáticos y móviles para el prensado y empaquetado de carrocerías de vehículos fuera de uso y chatarra pesada y voluminosa mediante la acción conjunta de tapas (alas) laterales y los caros de prensado principales.
CATEGORÍA 12: PRENSA CONTINUA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

PAPEL, CARTÓN Y PLÁSTICO	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	Equipos para el prensado y enfardado continuo y automático de papel, cartón, plásticos, etc. Gran cantidad de modelos con variedad de dimensiones de boca de carga, fuerza de prensado, tamaño de bala, producción horaria, etc.
CATEGORÍA 13: PRENSA PARA CHATARRAS Y METALES					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
CHATARRAS Y METALES	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	Modelos para todo tipo de chatarras y metales, con compactación sencilla, doble o triple. Modelos para diferentes producciones, tamaño, peso y densidad de paquete: botes de acero y aluminio, recortes de acero y aluminio, perfilería de aluminio, pequeña chatarra, chatarra voluminosa, electrodomésticos.
CATEGORÍA 14: TRITURACIÓN					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

MADERA, NEUMÁTICOS Y CHATARRA	HAMMEL RECYCLING-TECHNICK	Alemania	Querétaro, México Torreón, Coahuila, México	**GRUPO INDUSTRIAL RUVALCAVA, S.A. DE C.V.** **Dirección:** Fray Juan de Torquemada No.33, Col. Obrera C.P. 06800 México, D.F. **Contacto:** Javier A. Ruvalcava de la Rosa, Director General Rafael García Ruiz, Jefe de Ventas Ruvalcava Rios Enrique, Ventas **girsa986@prodigy.net.mx** **Tel:** (55) 5538 2419 **Fax:** (55) 5530 5045 **Website:** www.hammelny.com	Triturado de todo tipo de materiales incluyendo neumáticos y RSU
CATEGORÍA 15: TRITURACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN MÓVIL Y FIJA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN	CONCRETOS RECICLADOS	México	Mina La Esperanza, Iztapalapa, DF, México	**SURCO SERVICIOS URBANOS Y DE CONSTRUCCIÓN, CONCRETOS RECICLADOS** **Dirección:** Nicolás San Juan 26-3; Col. Piedad Narvarte C.P. 03000. Av. Del árbol 106, Col. El Triangulo, C. P. 09769, Iztapalapa México, D.F. **Contacto:** Ing. González Martínez Pedro, Enrique Granell Covarrubias **pedrogonzalesmtz@prodigy.net.mx** **egranell@concretosreciclados.com.mx** **Tel:** 56397860 56397823 **Fax:** 56397837 **Tel:** 5428 2595 5428 6108 **Fax:**5428 2627 **Website: www.surco.com.mx**	Molienda de residuos de la industria de la Construcción
CATEGORÍA 16: TRITURADORA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

DIVERSOS MATERIALES	IMABE IBERICA S.A.	España	N/D	**IMABE IBERICA S.A.** **Dirección:** Av. Santa Cruz del Monte #104-P.A. Col. Santa Cruz del Monte Naucalpan Edo de México C.P. 53110 **Contacto:** F. Manuel Escamilla Esquivel, Juan José Benites, Lic. Javier Robledo Serratos Asesor Comercial México, Director Comercial México **dirección@imabeiberica.com.mx** **ventas@imabeiberica.com.mx** **Tel:** 5393 6061, 5562 9906, 0155 5562 9906, 0155 5393 6061 **Website: www.imabeiberica.com**	Cada cliente necesita un modelo de triturador en función del tipo y cantidad de residuo a tratar y del destino final del producto triturado. Un diseño óptimo debe tener en cuenta lo siguiente: numero de ejes, tipo de cuchillas, tipo de accionamiento y versión estática o móvil.
CATEGORÍA 17: VOLTEADORAS DE COMPOSTA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS ORGÁNICOS	KOMPTECH	Austria	EUA	**KOMPTECH** **Dirección:** Av. Presidente Masaryk 101, piso 9 Col. Chapultepec Morales, C. P. 11570 México, D.F. **Contacto:** Franz Dorn **mexico@austriantrade.org** **Tel:** +52 55 52 54 44 18 **Fax:** 52 55 52 55 16 65 **Website:** www.komptech.com	La volteadora autopropulsable TOPTURN X53 cuenta con una transmisión de tipo hidrostática tipo orugas con engranaje de corrida recubierto de hule con un ancho de 350 mm y una longitud de 2.490 mm Contando con bombas de alta presión de desplazamiento variable con motor de desplazamiento. Incluye cuchillas ranuradoras colapsables para limpieza de las orugas
CATEGORÍA 18: CRIBAS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**

RESIDUOS ORGNICOS (COMPOSTA)	KOMPTECH	Austria	EUA	**KOMPTECH** **Dirección:** Av. Presidente Masaryk 101, piso 9 Col. Chapultepec Morales, C. P. 11570 México, D.F. **Contacto:** Franz Dorn **mexico@austriantrade.org** **Tel:** +52 55 52 54 44 18 **Fax:** 52 55 52 55 16 65 **Website:** www.komptech.com	Equipo para Cribado, Cernido y tamizado de materiales como composta y sitios de tratamiento, de diseño compacto. Montado en una subestructura sobre un arreglo de remolque con eje tándem y barra para arrastre. La descarga de las fracciones finas deberá ser vía banda colectora, banda transversal y la subsecuente banda lateral de descarga. La Fracción de mayor tamaño es descargada hacia la parte trasera en dirección de la alimentación, la fracción fina a través de la maquina
CATEGORÍA 19: TRITURACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN MÓVIL Y FIJA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN	ZB ZBRECYCLING	España		**ZB ZBRECYCLING** **Dirección:** Carretera Zamalbide, s/n-Apdo.40 20100 Renteria (Gipuzko-SPAIN), España. **Contacto:** Ignacio Rivero, Director Comercial **irivero@zbrecycling.com** **Tel:** +34 943 515 500 **Fax:** +34 943 515 562 **Website:** www.zbrecycling.com	Fabrica grupos móviles sobre orugas y sobre ruedas, ofreciendo la opción de motores diesel o eléctricos, separadores magnéticos, cintas plegables, motores hidráulicos, báscula de pesaje, entre otros. Se incorporan a los grupos móviles a una amplia gama de: machacadoras de mandíbulas, molinos impactores, tanto primarios como secundarios, gravilladoras, excelentes prestaciones tanto en cantera como en trabajos de demolición, escombros y residuos metálicos
TECNOLOGÍA: RECICLAJE					
CATEGORÍA 1: ACOPIO SEPARACIÓN TRATAMIENTO					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS ELECTRÓNICOS: -COMPUTACIÓN: CPUS, DISCOS DUROS, CD ROMS, FLOPPYS, TARJETAS ELECTRÓNICAS, PROCESADORES, MEMORIAS, FUENTES DE PODER,	IN CYCLE ELECTRONICS INC.	EUA	San Luis Potosi, México Austin, Texas EUA	**IN CYCLE ELECTRONICS INC.** **Dirección:** 3739 Drosett Drive Austin, TX 78744. **Dirección en México:** Plomeros No. 107, Zona Industrial del Potosí, C.P. 78395,San Luis Potosí, S.L.P. México **Contacto:** Lic. Guillermo Turincio, Asesor Comercial México **gt@incycleinc.com** Lic. Ernesto Treviño Valera, Director	industrialización de forma ecológica el reciclaje de todos los desechos electrónicos.

NO BREAKS, REGULADORES, TECLADOS, RATONES, MONITORES, IMPRESORAS, CABLES, SERVIDORES, LAPTOPS. -TELEFONÍA: CELULARES, BATERÍAS, CARGADORES, PALMS, RADIOLOCALIZADORES, TELÉFONOS INALÁMBRICOS, EQUIPOS DE RED, EQUIPOS DE COMUNICACIÓN, EQUIPOS DE TELECOMUNICACIÓN -ELECTRÓNICA: TARJETAS ELECTRÓNICAS, DECODIFICADORES, CONSOLAS DE VIDEOJUEGOS, REPRODUCTORES PORTÁTILES, CDS, CABLES DE PODER, ADAPTADORES.				Comercial México. **et@incycleinc.com** **Tel:** 512 617 7300 **Fax:** 512617 7310 **Website:** www.incycleinc.com	

ELECTRÓNICOS Y ELÉCTRICOS	TBS RECYCLING	EUA	EUA México Guatemala	**TBS INDUSTRIAS COMPUTER RECICLING SPECIALISTS** **Dirección:** Av. Industrial 181, Los Reyes; Iztacala, C. P. 54090; Tlanepantla; Edo. Méx. **Contacto:** Jorge Díaz, Beatriz López, Manuel Bielba **jorge.diaz@tbsindustries.com** **beatriz.lopez@tbsindustries.com** **manuel.bielba@tbsindustries.com** **Tel:** 5390-5404 5390-4519 ext 101 **Website:** www.tbsindustries.com.mx	Recolección, reciclaje y destrucción de equipos electrónicos y eléctricos

Análisis y discusión de los proveedores de tecnologías para el tratamiento o disposición final de RSU.

Existen diferentes proveedores que ofrecen una gran variedad de tecnologías. Sin embargo, la información que ofrecen los prestadores de servicios en relación a sus productos, debe ser sometida a un análisis meticuloso para considerar el contrato de sus servicios. Es por esto, que en este apartado presentamos el análisis de las empresas que ofrecen sus tecnologías en México.

Definición teórica de la tecnología de selección.

Es el sistema de recogida diferenciada de materiales orgánicos fermentables y materiales reciclables, así como cualquier otro sistema de recogida diferenciada que permita la separación de los materiales valorizables contenidos en los residuos (Colomer, 2007).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Planta de selección, que ofrecen los proveedores.

En relación a ésta tecnología, existen dos empresas que ofrecen sus servicios: IMABE IBERICA S. A. DE C. V. y ECOFENIX. La información que describe el proceso presentada por ambas empresas, coincide con lo referido teóricamente. No obstante, en ambos casos los datos son incompletos, ya que IMABE IBERICA sólo menciona que es un diseño para la recuperación de residuos reciclables en función del tipo de residuo, producción horaria requerida, materiales a recuperar, grado de automatización deseado, rango de inversión y/o espacio disponible y no menciona en absoluto el proceso como tal. ECOFENIX es más explicito al mencionar que su producto lleva un tromel por donde pasa el total de los residuos y hace un preclasificado donde son separados los residuos por volumetría y se aparta la materia orgánica. Los residuos más voluminosos son depositados en una banda transportadora de rechazo con destino a la prensa de compactación, los medianos y los grandes se clasifican manualmente, se retira el metal por imanes con un sistema automatizado, sin embargo es conveniente, solicitar al proveedor una presentación más amplia de su producto.

Descripción teórica del subgrupo1: Planta de selección.

Las plantas de selección son instalaciones industriales en donde se procesan los residuos como si fuera una materia prima. La entrada son residuos recolectados en forma mezclada o separada, donde a través de un conjunto de maquinaria y mano de obra se obtienen subproductos factibles de vender a la industria del reciclaje. Las plantas más sencillas son operadas por una gran cantidad de segregadores. Los residuos en estas plantas son depositados en patios para su separación y luego recogidos nuevamente los sobrantes. Una primera mecanización es la instalación de bandas transportadoras, en las que se pueden instalar electro imanes, sopladores, tanques y cribas que son separadores

automáticos para algunas fracciones, estos sistemas trabajan con base en algunas de las propiedades de los subproductos como densidad, color, tamaño, etc. (Gaceta Edo Méx, 2009).

Definición teórica de la Tecnología de compactación.

Compactación o densificación, es una operación básica que incrementa la densidad de los materiales residuales para almacenarlos y transportarlos más eficazmente, mediante la reducción de su volumen y como medio para preparar combustible derivado de residuos compactados (Tchobanoglous, 1994).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Alta compactación.

Las empresas que ofrecen éste tipo de tecnología son IMABE IBERICA S. A. DE C.V. Y ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS S. A. DE C.V., quienes a decir de su descripción, cuentan con el producto adecuado para la aplicación de la tecnología de alta compactación de acuerdo con la definición teórica. El Sistema IMABE IBERICA permite un prensado y enfardado automático en fardos de alta densidad (1000 a 1200 Kg/m^3) y hasta 2,5 m^3 cada uno, con peso y dimensiones uniformes. Constituye una alternativa al sistema tradicional del vertido controlado. Con variantes que incluyen la alta compactación de chatarra de maquinaria proporcionada por ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, quien refiere que su producto se basa en el diseño, la fabricación y soporte de las máquinas de procesamiento de chatarra, reciclado, reducción de tamaño del material y el tratamiento de residuos, los cuales trabajan con la marca Harris que ha permanecido como líder de la industria de las máquinas que reducen materiales por tener en cuenta las necesidades de los clientes.

Descripción teórica del subgrupo 1: Alta compactación.

El pretratamiento de alta compactación es conocido también como la tecnología del “Relleno Seco”. Su principal objetivo es acelerar y facilitar el control de los rellenos sanitarios a través de la reducción del volumen de los residuos por su alta compactación con una prensa. Con este procedimiento se aumenta la cantidad de los residuos depositados en el relleno sanitario y promete reducir los problemas ambientales y un mejor manejo de la disposición final. El pretratamiento puede contener varios procesos adicionales como la selección manual y la separación completamente automatizada hasta el encapsulamiento de las pacas con plásticos o flejes, los cuales se pueden adaptar a las necesidades locales, a la variación de la cantidad y las propiedades de los residuos municipales (Secretaria de Ecología, 2002).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 3: Alta compactación con película plástica.

Las empresas que cuentan con éste tipo de tecnología son BIOSOLUCIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES, S.A. DE C.V.; ECOFENIX Y GRUPO GH. El primer proveedor cuenta con una propuesta que se refiere a un sistema que permite hacer totalmente inerte la basura procesada dentro de un plazo máximo de 18 hrs durante el cual se cancelan todos los procesos internos tanto aeróbicos como anaeróbicos, y que a decir del propio fabricante, ha sido avalado a través de diversos estudios y certificaciones a nivel internacional. ECOFENIX, cuenta con un producto a base de prensado que permite la confección de balas de alta densidad y de igual longitud, independientemente del residuo a compactar, el prensado se efectúa en una cámara cerrada construida de acero especial anticorrosión con tres puertos controlables de salida de líquidos y un pistón anti-atasco incorporado. GRUPO GH, ofrece un equipo diseñado con dos compartimientos para residuos orgánicos e inorgánicos, cuenta con compactación regulable para cada compartimiento y descarga por placas eyectoras independientes, lo cual permite eliminar la duplicación de rutas.

De los tres proveedores analizados BIOSOLUCIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES, S.A. DE C.V.; ECOFENIX, son los proveedores que describen con mayor precisión su producto, por lo que pueden ser una opción viable para la aplicación de éste proceso. GROPO GH, no cuenta con descripción adecuada de su tecnología y aparentemente lo realizan desde la recolección de los RSU, la descripción no detallada de su producto lo excluyen como opción viable. En los tres casos, los proveedores no mencionan que se puede requerir de varios procesos adicionales, como la selección manual y la separación dependiendo de las necesidades locales, referidas en la descripción teórica del proceso, lo cual es un punto relevante a tomar en cuenta para la aplicación de ésta tecnología.

Descripción teórica del subgrupo 2: Alta compactación con película plástica.

La tecnología de alta compactación con película plástica, es un variante de la tecnología de alta compactación y se refiere a que una vez compactados los RSU, son envueltos en películas plásticas especialmente diseñadas para éste fin, las cuales tienen la función de evitar los escurrimientos de los RSU hacia el subsuelo y permite el almacenamiento de las pacas con fines de incineración.

Definición teórica de la Tecnología de biodigestión.

La digestión anaeróbia es un proceso biológico en el que la materia orgánica es degradada a metano en condiciones anaerobias. El metano puede ser utilizado como fuente de energía reemplazando a los combustibles fósiles y por lo tanto como ayuda para reducir las emisiones de dióxido de carbono. La digestión anaerobia reduce los patógenos y los olores; requiere un espacio de poca tierra para el tratamiento, y puede tratar los residuos húmedos y pastosos (Braber, 1995; Shih, 1987, 1993). La mayoría de los nutrientes también permanecen en el material tratado y se pueden recuperar para la agricultura (Salminen, 2002).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Aprovechamiento de biogás y producción de abono.

Los proveedores que ofrecen la tecnología de aprovechamiento del biogás y producción de abono, son: INTRASISO, S.A. de C.V. quien describe a su producto como un proceso de Fermentación-Oxidación, el cual por medio de digestores y calor desarrolla la fermentación de los RSU, sin enviar contaminantes al medio ambiente y eliminando la emisión de humos, olores, etc. Sin embargo no menciona la manera en como su producto provee las herramientas necesarias para el aprovechamiento del biogás y producción de abono, esta omisión no permite considerar a éste proveedor como buena opción para la aplicación de ésta tecnología.

INGENIERÍA ALBATROS, S.A. DE C.V. es otro de los proveedores que cuentan con la tecnología aprovechamiento del biogás y producción de abono, el cual menciona que su proceso consiste en un pretratamiento en cintas transportadoras, separadores magnéticos y un triturador. El tratamiento de la fracción orgánica cuenta con digestores primarios, secundarios y con un deposito de líquido tratado. Además de un sistema para la generación de energía eléctrica. Se obtiene composta conocida como Biosol y fertilizante líquido Biol; la descripción presentada por éste proveedor concuerda más precisamente con la descripción teórica por lo que es un proveedor factible de ser considerado.

Definición teórica de la Tecnología de plantas de composta.

La composta se define como el producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos. Es un material inodoro, estable y parecido al humus que no representa riesgo sanitario para el medio ambiente natural y social. El proceso por el cual se elabora composta se ha denominado “compostaje”. Las tecnologías para el compostaje son variadas y los productos finales también varían en su composición, color, textura, etc., según los residuos y el proceso que les dio origen. Este proceso requiere de oxígeno (aeróbico) y agua en cantidad suficiente; genera cierta cantidad de calor (proceso exotérmico), bióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua. Los organismos implicados en el proceso son un conjunto de bacterias, hongos y microfauna.

En el inicio del proceso de compostaje, los microorganismos predominantes y responsables de la gran mayoría de la descomposición es la flora mesofílica, cuyo rango de tolerancia de temperatura es entre los 25 y 45 ºC. A medida que se incrementa la actividad microbiana, la temperatura de la mezcla se eleva, surgiendo los microorganismos termofílicos, cuyo rango de tolerancia de temperatura es superior a 45ºC. De lo anterior se concluye que la temperatura es un indicador de la actividad bioquímica que está sucediendo dentro de la masa de

basura. Además de la temperatura, otros indicadores de la eficiencia del proceso son la cantidad de nutrientes disponibles para que la cantidad de microorganismos sobrevivan y se reproduzcan, la humedad y el pH de la mezcla del compostaje.

El proceso de compostaje tiene limitaciones en su ejecución, los cuales son:

- La composición de los desechos. La eficacia del proceso depende de la cantidad de nutrientes que tengan los desechos; asimismo, se debe tener cuidado de tóxicos que perjudiquen a los microorganismos.
- La disponibilidad del terreno
- Necesidad de otro método de disposición final, para los desechos no orgánicos, especiales o peligrosos.

La composta es un mejorador del suelo porque favorece el desarrollo de sus funciones:

- Favorece la aireación y la retención de humedad. Junto con las arcillas fomenta la formación de agregados más estables. En suelos arenosos ayuda la retención del agua.
- Mejora la estructura del suelo. Por esta característica y porque permite la absorción del agua, es un agente preventivo de la erosión.
- Favorece el almacenamiento de nutrimentos y su disponibilidad para los vegetales.
- Provee un medio donde infinidad de microorganismos se desenvuelven; algunos procesan los residuos para convertirlos en humus y otros procesan el humus para aprovecharlo o generar alimento para otros.
- Favorece la absorción de los rayos solares debido a su color oscuro y, por tanto, el aumento de la temperatura del suelo en ciertas estaciones del año.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Planta de tratamiento de orgánicos con separación de inorgánicos.

Para ésta tecnología sólo se localizó un proveedor: BIOSISTEMAS SUSTENTABLES S.A. DE C.V., el cual describe su tecnología como un proceso anaeróbio en el que se utilizan microorganismos termófilos mineralizadores de la materia orgánica, generando abono orgánico libre de patógenos y con alto contenido de micronutrientes benéficos para los cultivos.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 2: Pilas Estáticas.

El GRUPO SINDER S.A. DE C.V. es el único proveedor del cual se encontró información sobre la aplicación de la tecnología de pilas estáticas, ésta empresa no describe su proceso como tal, sólo menciona que las plantas de generación de composta tratan residuos de mercados, material de poda y jardinería, así como

residuos de alimentos, el sistema utilizado de pilas estáticas es una tecnología de bajo costo de inversión y resultados inmediatos la empresa a operado una planta en el Distrito Federal. No se encontró dentro de su información, datos puntuales a cerca de la tecnología cabe señal que las plantas de composta se conforman de una serie de equipos de diferentes marcas.

Descripción teórica del subgrupo 3: Pilas estáticas

El sistema de pila estática aireada consiste en una red de tuberías de escape o aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica procesada de los residuos sólidos. Las alturas de las pilas son de 2 a 2.5 m. A menudo se coloca encima de la pila recientemente formada una capa de compost cribado para el control de olores. A cada pila se proporciona un inyector de aire individual para un control de la aireación y así también proporcionar el oxigeno necesario para la conversión biológica (Trejo, 1999).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 3: Mecanizada cubierta.

La empresa que provee de la tecnología de composta mecanizada cubierta es el GRUPO TAIME – WESSER, el cual describe que las plantas de tratamiento mecánico-biológico se basan en la separación de los materiales reciclables y el tratamiento biológico de los componentes orgánicos. Los residuos orgánicos separados en origen, junto con ciertas cantidades de residuo vegetal (poda, arbustos, raíces) pueden ser transformados en abono y fertilizante biológico mediante sistemas de tratamiento. La empresa mencionada no cuenta con la información necesaria del producto que ofrece, y no considera los aspectos mencionados en la descripción teórica que aquí se incluye, por lo que es conveniente solicitar esta información al proveedor antes de ser calificado como posible proveedor de ésta tecnología.

Descripción teórica del subgrupo 3: *Mecanizada cubierta.*

EL tratamiento mecánico-biológico mejora las propiedades de los residuos, convirtiéndolos en material semi-inerte. Mediante una amplia fase de estabilización antes de su disposición final. La fase mecánica es para acondicionar los residuos, los cuales son tratados en un tromel de homogenización. En este tromel se rompen las bolsas plásticas para que las bacterias tengan un mejor acceso y se agrega agua para la bioreacción. La fase biológica se refiere a la bioreacción aeróbica; algunas tecnologías incluyen la adición de microorganismos especiales para aumentar la velocidad del proceso. Los materiales biodegradables de los residuos se convierten en agua y bióxido de carbono. Para lograr la maximización de la bioreacción es necesario que los residuos estén en contacto directo con el oxígeno del aire; esto se logra con tarimas, tuberías en el seno de las pilas, volteos con

cargadores frontales o maquinaria especializada. Una planta de este tipo puede emplear el mismo espacio que un relleno proyectado para más de 20 años.

En los primeros meses se generan lixiviados, por ello es recomendable tomar medidas de protección como una cubierta o geomembrana. Después de este tiempo los líquidos ya no contienen contaminantes. Puede ser combinado con la separación para el reciclaje, el composteo, la incineración y el relleno sanitario tradicional, manual o de alta compactación. El proceso es similar al composteo para los residuos mezclados, la diferencia es que no se interrumpe el proceso de fermentación a 70°C sino que se dejan alcanzar los 90°C para obtener un material semi-inerte mejorador de suelos. En las plantas de composta los residuos cambian su categoría a mercancías, logrando su valorización (Gaceta Edo Méx, 2009).

Definición teórica de la Tecnología de biocombustibles.

Los biocombustibles son combustibles producidos a partir de biomasa, tienen distintos usos como en el transporte y la calefacción. Pueden ser producidos a partir de productos agrícolas y forestales, así como de la porción biodegradable de los desechos industriales y municipales (IIED, 2006). Biocombustible es el término utilizado para designar a la biomasa destinada exclusivamente a la producción de energía. La biomasa es toda materia orgánica generada por procesos biológicos (Información tecnológica, 2002).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Planta de producción de etanol.

Para la aplicación de ésta tecnología, es mínima la información que ofrece el proveedor NORD ECO, S.A. DE C.V., el cual sólo menciona que tratando la basura doméstica urbana con temperatura alta y humedad se puede convertir la basura al producto útil, se podría vender a transformadores de materias primas o usarla para generar bioetanol de alto valor. Dada la poca precisión del producto y no obstante hay una referencia de aplicabilidad en León Guanajuato, México.

Descripción teórica del subgrupo 1: *Planta de producción de etanol.*

En las plantas de producción de etanol los pasos fundamentales para producir alcohol etílico a partir de la biomasa pasan por la fase de fermentación por levaduras seguida de una posterior destilación. El proceso a seguir para la transformación de la biomasa en etanol incluye un precalentamiento sobre todo cuando es poco proclive a la transformación. Después se tiene una cocción e hidrólisis, se trata de una mezcla, en caliente de agua con ácido (sulfúrico o clorhídrico). La hidrólisis puede ser química, como la que se lleva a cabo para la fabricación de la pasta de papel, o enzimática que, con la ayuda de microorganismos, persigue una transformación en azúcares. La fermentación alcohólica que se genera, consiste en la transformación de la glucosa en etanol por la acción de microorganismos, produciendo, en condiciones anaerobias, etanol y

gas carbónico. Finalmente se realiza una separación y purificación del etanol (Castells, 2000).

Definición teórica de la Tecnología de gasificación.

La gasificación es el proceso de descomposición de la materia orgánica a altas temperaturas en presencia de un agente gasificante, el producto es un gas combustible llamado gas de síntesis. El proceso de gasificación es aplicable para una alimentación como la biomasa, carbón o basura. Las reacciones de gasificación se inician cerca del fondo del reactor termoquímico donde se alimenta el combustible. Los rangos de las temperaturas son 700-1500°C, dependiendo del tipo de alimentación y la calidad del gas de síntesis deseada. El gas producido en el reactor sale por parte superior y posteriormente es enfriado y purificado dependiendo los requerimientos de uso futuro. Un agente gasificante es aquel que una vez que entra en contacto con la materia prima (biocombustible) reacciona y produce un gas de síntesis. Dependiendo de la especificación del gas producto de la gasificación se introducen: oxígeno, aire, vapor o dióxido de carbono, generalmente por la parte baja del reactor (Información tecnológica, 2002).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Separación, pirolisis

La empresa TM TECNOSILICATOS DE MÉXICO S.A. DE C.V. es una empresa de origen alemán que no cuenta con referencias de aplicabilidad en México, no obstante menciona a esta modalidad de pirólosis, describiéndola como un proceso en el que se separa la materia orgánica que posteriormente entra a un proceso de mineralización donde es deshidratada, triturada y mezclada con aditivos. El resto de los desechos son sometidos a un proceso de reciclaje para la obtención de vidrio, metales y aluminio. La fracción restante se tritura y es sometida a la gasificación donde se genera vapor que es conducido a una turbina para la generación de energía eléctrica. Las emisiones se limpian y generan gas combustible. Y no obstante a que no precisa su producto, la descripción del proceso es la adecuada de acuerdo con la descripción teórica.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 2: Pirólisis.

Para la aplicación de ésta tecnología son tres los proveedores que ofreces sus servicios: CONSTRUMEX INDUSTRIAL S.A. DE C.V., quien describe que en el proceso que utilizan, el material a tratar es sometido a la gasificación por vapor y aire en el régimen superadiabático de combustión. A una temperatura de 1000-1200°C, sucede la reacción de los residuos de choque con el oxigeno, vapores de agua y bióxido carbónico. Después los residuos se enfrían hasta la temperatura de 100°C y se realiza la incineración del gas energético producido. Finalmente se lleva a cabo la transformación del residuo de ceniza y escoria de la gasificación, en materiales de construcción o cerámicas.

RICHWAY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES LTP SIMPSA INGENIERÍA S.A. DE C.V.: la cual describe que su proceso se lleva cabo en dos pasos en cámaras de combustión. El primer paso se lleva cabo con aire ahogado, menos turbulencia y baja temperatura, en el que se realiza pirólisis o termólisis, combustión parcial y proceso de quemado de los desechos sólidos para producir gas combustible y residuos inertes. En el segundo paso se presenta exceso de aire, fuerte turbulencia y alta temperatura, en el cual se logra una combustión completa y descomposición de los residuos orgánicos. Se produce gas caliente para aprovechamiento de energía.

La tecnología que ofrece RECYCLED ENERGY CORPORATION, GRUPO SOLUCIONES TÁCTICAS, S.C. ha sido utilizada comercialmente en Japón durante más de 15 años. El proceso de conversión es fuertemente controlado y no utiliza oxígeno y emplea un sistema de circuito cerrado para convertir desechos en energía, con una producción de cero emisiones de agua y cerca de cero emisiones de aire.

Para ésta tecnología, de los tres proveedores mencionados; CONSTRUMEX INDUSTRIAL S.A. DE C.V. y RICHWAY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES LTP SIMPSA INGENIERÍA S.A. DE C.V, cuentan una descripción precisa de su proceso y concuerda con lo referido teóricamente, no obstante es necesario que precise su procedimiento. RECYCLED ENERGY CORPORATION, GRUPO SOLUCIONES TÁCTICAS, S.C., se presenta como una opción factible dado que ofrece cero emisiones de agua y cerca de cero emisiones de aire, aunque debe requerirse que presente una información más amplia del producto que ofrece.

Descripción teórica del subgrupo 2: Pirólisis

La pirólisis es un proceso alternativo a la incineración que consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno u otros agentes gasificantes. En el proceso se obtienen tres grupos de productos que dependen de las propiedades del residuo tratado, la temperatura, el tiempo y presión de operación. El primer grupo es el hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos (gas de síntesis). El segundo son líquidos hidrocarburazos (alquitranes y aceites) que tienen un elevado potencial energético. Y el tercero son los residuos sólidos carbonosos (RSC) que contienen el carbono fijo y los inertes del combustible. Este residuo contiene potencial energético pudiendo utilizarse para la producción de carbón activo. Cada uno de estos productos aparece a temperaturas distintas 150 a 900°C. Una variante de la pirólisis es la llamada pirólisis flash, que se realiza a través de un rápido aumento de la temperatura hasta los 1000°C. Reproduce la gasificación total de los residuos orgánicos tratados (Sánchez, 2007).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 3: Plasma.

Para ésta tecnología sólo se encontró un proveedor, CLEENMAIN S. A. DE C. V. que no cuenta con referencias de aplicación en México y refiere en su información que la tecnología de plasma es una tecnología de gasificación para la conversión de los residuos urbanos, industriales, sanitarios o peligrosos, en combustibles líquidos y/o generación de energía eléctrica. No obstante su información concuerda con la teórica.

Descripción teórica del subgrupo 3: Plasma

El plasma es un gas que conduce la electricidad. La gasificación por plasma es una tecnología avanzada y un proceso medioambientalmente amigable que constituye la eliminación de residuos sólidos y la conversión a productos comercialmente utilizables. Este es un proceso no-incinerativo, térmico que utiliza temperaturas extremadamente altas en un entorno de ausencia de oxígeno para descomponer completamente el material de desecho de entrada, en moléculas muy simples. El producto principal del proceso es un gas, conocido como gas de síntesis, que puede utilizarse, entre otros, para la producción de energía y en un producto inerte de material vítreo, conocido como escoria. Además, es constantemente expuesto que los niveles medioambientales de emisiones al aire y la toxicidad de lixiviados es mucho menor en comparación con las tecnologías competidoras, por ejemplo, incineración (Mountouris, 2008).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 4: Arco de plasma

Para la aplicación de la tecnología no se encontraron proveedores que presten sus servicios.

Descripción teórica del subgrupo 4: *Arco de plasma*

El arco de plasma funciona como una secadora de cabello, donde los arcos eléctricos actúan como un elemento de calefacción y el aire empujado a través de este elemento se calientan alcanzando temperaturas mayores de 5000 ºC. La llama que sale del arco se conoce como “pluma” de plasma. El arco de plasma puede ser utilizado en condiciones anóxicas para la gasificación de los residuos y la creación de un gas de síntesis a partir de componentes orgánicos. También se puede utilizar para calentar los residuos inorgánicos provocando su fusión o vitrificación de cenizas a un material cristalino, también conocido como escoria (Gagnon, 2006).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 5: Vitrificación por plasma

El GRUPO USVAC, S.A. DE C.V., es el proveedor que ofrece la tecnología de vitrificación por plasma, el cual refiere que, después de separar los metales y el vidrio y eliminar la humedad de los residuos hasta un 20%, se encuentran listos para ser triturados en el sistema de gasificación. La planta consiste de un sistema

de depuración de gases y una unidad de ciclo combinado basado en una turbina de gas. Éste proveedor no hace una descripción detallada de su proceso, y tampoco hace especificaciones de algún pretratamiento requerido para el proceso, por lo que es conveniente evaluar la posible consideración en la prestación de éste servicio.

Descripción teórica del subgrupo 5: *Vitrificación por plasma*

La vitrificación es el proceso en el que los componentes inorgánicos tales como los silicatos se funden en un líquido viscoso que atrapa metales pesados en una matriz sólida, una vez solidificado. El proceso de vitrificación convierte los componentes inorgánicos en una roca sólida que no se filtrará y por lo tanto puede ser utilizado como material de construcción (Gagnon, 2006). La vitrificación de gasificación de plasma (PGV) es la forma más eficaz de disociar por completo todos los componentes (orgánicos e inorgánicos) en sus componentes elementales para la recuperación y el reciclado. El sistema consiste principalmente en un reactor de plasma que puede albergar una o más antorchas de plasma de arco. Al pasar una corriente entre el ánodo y el cátodo de la antorcha de plasma y al mismo tiempo paso de aire en el espacio anular de la antorcha, un entorno de temperatura extremadamente alta se crea un rango de temperatura de 5000° C y 10000°C.
http://www.plasmarenewables.com/plasma_technology.htm

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 6: termólisis.

Para la aplicación de la tecnología de termólisis, hay dos proveedores: THERMÓLISIS DE AMÉRICA, S.A. DE C.V., el cual realiza una craquización en un medio reductor a temperaturas no superiores a los 450°C. Menciona que ningún residuo sale del proceso sin haber sido craquizado. La temperatura y presión se operan de manera controlada en los termolizadores. No se produce ninguna formación ni dispersión de emisiones contaminantes, ni escorias, ni hollines gracias a la limpieza del gas de termólisis. Además de la producción de biogás y carbón como productos más valorizables y cero residuos confinables.

BIO ENERGY S.A. DE C.V., COOPERACIÓN INTEGRAL DE MEDIOAMBIENTE S.A. DE C.V. (CIMSA) es otra empresa, la cual hace una preselección y trituración previas. Cuentan con una torre azul de patente Alemana, con balines de cerámica calentados a 800°C para la incineración de RSU que son carbonizados con la consecuente producción de gases: 19% CH_4, 14% CO y 39% H_2.

De la información proporcionada por ambas empresas, THERMÓLISIS DE AMÉRICA, S.A. DE C.V., es la que proporciona mayor detalle de su producto, de tal manera que resulta como una opción viable de ser considerada como proveedor de ésta tecnología; CIMSA aparentemente cuenta con la tecnología requerida sin embargo no hay precisión en los detalles del proceso, y su información es confusa, de tal manera que no se considera como opción viable. No obstante ambos

proveedores omiten el tipo de residuo que puede ser tratado y las especificaciones requeridas para aplicar éste tipo de tecnología.

Descripción teórica del subgrupo6: termólisis

Es una forma de reciclaje terciario que consiste en la descomposición térmica o termólisis, aplicada comúnmente en el reciclaje de los polímeros; si éste se lleva a cabo en ausencia de aire, se llama pirólisis, si la descomposición térmica se lleva a cabo con una concentración limitada de oxígeno, el proceso se llama gasificación (Teegarden, 2004).

Definición teórica de la tecnología de desecado.

El proceso consiste en la sustitución de los gases calientes generados en un quemador convencional, por los gases calientes de escape de la turbina (o motor), que pueden ser complementados con una cantidad adicional de combustible cuando no son suficientes para el secado y reducción de la humedad o con una cantidad adicional de aire atmosférico cuando la temperatura de los gases de escape es excesiva (Villares, 2003).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Proceso térmico para estabilizar la fracción orgánica.

Para la aplicación de éste tipo de tecnología, existe una empresa: BIOSOLUCIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES, S.A. DE C.V., la cual define su producto como un proceso térmico no contaminante que permite convertir los RSU y los lodos biológicos en una fracción orgánica estable con aprovechamiento como fertilizante, remediador de suelos, sirve como recubierta para relleno sanitario y materia prima para generación de energía eléctrica. Se emplea una mezcla con oxido de calcio para estabilizar las sustancias peligrosas, el producto resultante pasa a un mezclador con aspas que genera una reacción exotérmica (50-70^{o}C), el vapor de agua generado es extraído y desviado a un depurador. Después de una maduración se enfría y se seca. Ésta información, aunque debe ser más puntual, es lo mínimo necesario para saber respecto al producto que ofrece éste proveedor, de tal manera que resulta una buena opción a considerarse como proveedor de ésta tecnología.

Descripción teórica del subgrupo 1: Proceso térmico para estabilizar la fracción orgánica.

En éste proceso, el desecado reduce el contenido de humedad de los RSU, incrementando así su valor calórico. La reducción de humedad también resulta en mejorar la capacidad de almacenamiento, y una reducción en las poblaciones de microorganismos potencialmente patógenos (Pichtel, 2005).

Definición teórica de la tecnología de incineración.

La incineración, también llamada incineración de vapores, es un proceso en el que, el gas contenido en el contaminante es capturado por un sistema industrial de ventilación precalentado, mezclado y oxidado a altas temperaturas que da como resultado otros compuestos. En el caso de los hidrocarburos orgánicos cuya composición es sólo carbono e hidrógeno, los compuestos resultantes son dióxido de carbono y agua (CO_2 y H_2O). Sin embargo, si los compuestos orgánicos contienen cloro, fluoro o azufre, entonces los productos que se pueden formar serán vapores de ácido clorhídrico, de ácido fluorhídrico o dióxido de azufre y en algunos casos la formación de dioxinas. La formación de óxidos de nitrógeno es también posible durante la incineración. En general, los sistemas de oxidación tienen eficiencias de destrucción mayores al 99 %. Los sistemas de oxidación o incineración pueden dividirse, a su vez, en dos tipos: oxidación térmica y oxidación catalítica. La eficiencia de un incinerador puede verse afectada por la concentración de los compuestos orgánicos, la temperatura de ignición y el tiempo de residencia o el volumen del catalizador (INE, 2003).

La primera función de la incineración consiste en transformar, por medio de una reacción química de oxidación lo más completa posible, a alta temperatura los desechos heterogéneos en unos residuos lo mas inerte posibles, generando la mínima contaminación posible. La incineración reduce en promedio, según la composición de los materiales combustionados, un 90% el volumen y un 70% el peso, resultando el 30% restante escorias. Los siguientes aspectos se deben considerar en el diseño de una planta incineradora.

- Se debe conocer con la mayor exactitud posible, la cantidad de desechos que se espera recibir y conocer sus propiedades físicas y químicas.
- Se debe controlar la combustión, la cual es regulada por la temperatura, al tiempo y el movimiento de los desechos de las cámaras de combustión
- La cantidad de aire es importante, puesto que suple del oxígeno necesario para completar la reacción de la combustión.
- Control de gases emitidos, especialmente aquellos considerados como nocivos para la salud o el medio ambiente. Se deben diseñar sistemas de mitigación de gases contaminantes, lo cual, en la mayoría de los casos, representa el rubro mayor de una planta incineradora.

En el proceso de combustión de los RSU por el sistema de parrilla convencional, el aire primario entra por la parte inferior de la parrilla convencional y oxida el combustible según $C+O_2 \rightarrow CO_2$. Un poco más arriba los gases entran en la zona de reducción, donde el CO_2 se reduce a monóxido según $C+CO_2 \rightarrow 2CO$. Simultáneamente, el calor generado por la combustión va transformando el sólido en volátiles. El combustible, teóricamente gasificado y destilado penetra en la zona real de incineración que, en contacto con el aire secundario se oxida a anhídrido carbónico de acuerdo con la reacción general: volátiles + CO + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$.

Existe una gran problemática en la incineración de RSU puesto que son tratados en masa:

- Son incinerados sin clasificación previa, esto tiene que ver con oscilaciones del Poder Calorífico Inferior (PCI) que son muy importantes.
- Son incinerados sin trituración previa, considerando que el tamaño de los componentes es notable y las condiciones de combustión empeoran notablemente.

La correcta operatividad de una planta exige una división de áreas funcionales, ya sean estas de proceso, de servicio o administrativas.

Existen principalmente dos tipos de plantas de incineración para los RSU, las cuales difieren en el método de combustión, siendo estos los siguientes:

1. Sistema Mass burning (Mb), plantas de combustión directa de basura tal y como llega en los incineradores.
2. Sistema Refuse Derived Fuel (RDF), plantas en las que se quema solo la fracción de basura resultante después de eliminar la fracción fermentable, la chatarra metálica y el vidrio.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Oxidación Térmica

Para la aplicación de la tecnología de oxidación térmica, el proveedor WASTE TO ENERGY ENVIRONMENTAL DE MÉXICO S.A. DE C.V. ofrece sus servicios y describe su tecnología como sigue: La oxidación térmica catalítica se realiza en una cámara aislada por diferentes capas donde circula aire, agua y catalizadores a alta presión y temperatura. El aire y catalizadores son inyectados mediante tuberías que forman un vórtice de altísima turbulencia que favorece la oxidación e incrementa el tiempo de residencia a más de 3 segundos con temperaturas de (1000 a 1500^{o}C). Cualquier partícula que no haya sido valorizada energéticamente durante el proceso, es recirculada a través de un sistema de convección reticulado para su aprovechamiento térmico total. Se libera vapor y aire caliente limpios gracias al sistema de lavado de gases que sustrae partículas y otros componentes que son reintroducidos a la cámara.

Otro proveedor que ofrece ésta tecnología es ENERGY AND ENVIRONMENT, INC., el cual más que describir su proceso hace una definición del mismo: La gasificación de la biomasa es una tecnología de conversión térmica endotérmica, donde un combustible sólido se convierte en un gas combustible. Un suministro limitado de oxígeno, aire, vapor, o una combinación sirve como agente oxidante.

De las dos opciones aquí presentadas, WASTE TO ENERGY ENVIRONMENTAL DE MÉXICO S.A. DE C.V. presenta una información puntual del proceso, además de referir su aplicación en Toluca, México. Es así, que ésta

empresa puede ser considerada como una muy buena opción de aplicación de la tecnología de oxidación térmica.

Descripción teórica del subgrupo1: Oxidación Térmica

La oxidación térmica, es uno de los métodos de control de emisiones más frecuentemente utilizados cuando la concentración de vapores orgánicos es generalmente 50% menor al límite inferior de explosividad. El sistema consiste en una cámara (recubierta en su interior por material refractario) en la que se encuentran algunos quemadores, los cuales son utilizados para calentar la corriente gaseosa hasta la temperatura necesaria para la oxidación de los compuestos, generalmente entre 700ºC y 1000ºC. En algunos casos una porción del gas a tratar se utiliza en dichos quemadores para proporcionar el oxígeno necesario para la combustión. El combustible utilizado puede ser gas natural, propano o butano y su consumo puede ser disminuido mediante la utilización de sistemas de recuperación o generación de calor. El proceso de oxidación térmica es generalmente rápido (ocurre en menos de un segundo) aunque puede variar dependiendo de la temperatura y de las condiciones de mezclado en cámara (INE, 2003).

Definición teórica de la tecnología de relleno sanitario.

El relleno sanitario es el método de disposición final de la basura más completo y de menor costo en inversiones que existe, siempre que se cuente con un terreno a bajo costo; es también uno de los métodos más antiguos (Trejo, 1999).

Un relleno sanitario es definido como el método para colocar la basura en el suelo en forma de capas, utilizando los principios de la ingeniería para lograr una adecuada compactación, para reducir el volumen y poder así confinar la basura en el área más pequeña posible, cubriéndola con una capa de tierra al concluir las operaciones cada día o a intervalos más frecuentes cuando sea necesario.

Los rellenos sanitarios son la forma más utilizada para disponer la basura en nuestro país. Cuando esto no se hace, la basura termina tirada en las calles, los bosques, o a la orilla de las carreteras, con los consecuentes impactos ambientales. Actualmente existen millones de toneladas de basura confinadas bajo el subsuelo nacional que, en menor o mayor grado, están emitiendo gases a la atmósfera y líquidos al subsuelo, y en algunos casos representan un riesgo potencial.
Un adecuado control del Relleno Sanitario consiste en la disposición final de los RSU y RME generados en la localidad, de tal forma que no cause perjuicio al ambiente ni peligros a la salud y seguridad pública.

Los residuos se colocan en capas compactadas, cubiertas con tierra, utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogeneización y compactación.

Antes de la colocación de los residuos, el suelo se prepara para prevenir la infiltración de líquidos lixiviados provenientes de la descomposición de los residuos, utilizando materiales naturales o sintéticos.
Al mismo tiempo se construyen obras de control y monitoreo, como pozos de venteo y quemadores para el biogas o colectores para captar los lixiviados.
Esta infraestructura se utiliza cuando se prevén ingresos de más de 10 toneladas de residuos al día.

Contar con un relleno sanitario permite, principalmente, lo siguiente:
• Evitar la contaminación del suelo, aire y agua provocada por la mala disposición de la basura en los tiraderos a cielo abierto.
• Mejorar las condiciones de salud de la población, al eliminar posibles fuentes de infección transmitidas por moscas, ratas u otros animales e insectos.
• Disminuir los riesgos de incendio y explosiones en los tiraderos existentes.
• Inducir un mejor manejo integral de los residuos, desde la minimización de su generación y eficientando la recolección, transporte, transferencia y disposición final
• Mejorar las condiciones de la localidad (paisaje), lo que puede hacerla más atractiva para la inversión y para los turistas.

La forma correcta para el funcionamiento de un relleno sanitario es la siguiente.

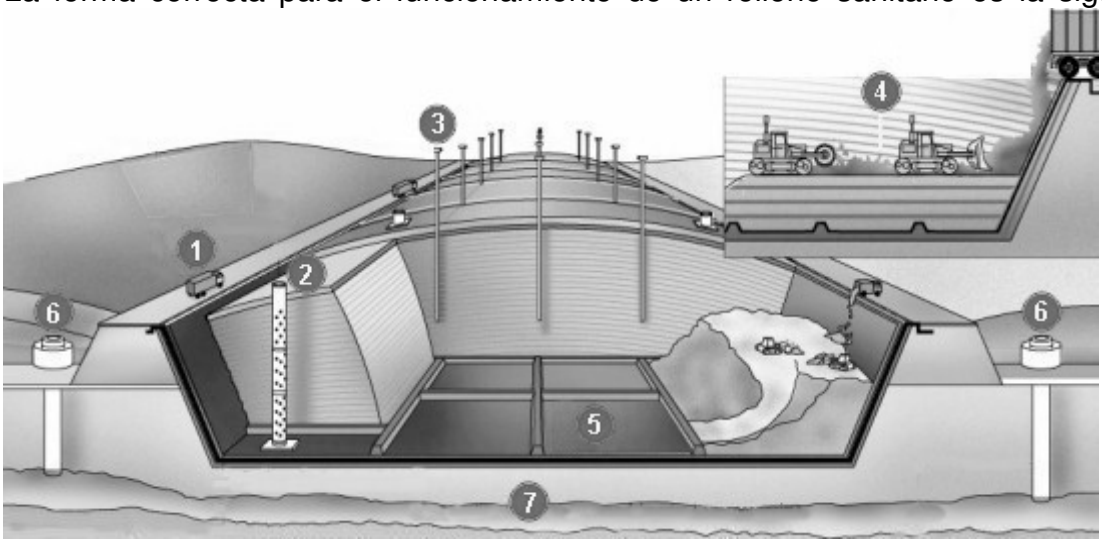


Figura 41. Funcionamiento de un relleno sanitario.

1. Forma de llenado: El área se divide en módulos. Los camiones circulan por terraplenes hasta el módulo que se está llenando.
2. Eliminación de gases: La descomposición de basura produce gases, principalmente metano, que se eliminan por venteo.
3. Extracción de líquidos: Deben ser retirados para recibir tratamiento.
4. Cobertura de los desechos: La basura debe ser tapada cada día con una capa de tierra compactada de 20 cm.
5. Módulo limitado por una pared de arcilla.

6. Pozos de control de napas: Permiten tomar muestras aguas arriba y aguas abajo, según el escurrimiento de las napas.
7. Impermeabilización: El relleno debe estar perfectamente aislado para evitar que la filtración de líquidos contamine las napas. Para eso la base del relleno se cubre con una capa de polietileno de alta densidad.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Relleno tradicional.

La información recopilada respecto los proveedores que ofrecen sus servicios para la aplicación de la tecnología de un relleno tradicional se enfoca exclusivamente a empresas que se dedican a la estricta operación de los rellenos sanitarios dadas las características que se requieren para la aplicación de ésta tecnología. Las empresas que proporcionan éste servicio son PROMOTORA AMBIENTAL S.A. DE C.V. y PROACTIVA MEDIO AMBIENTE MÉXICO; quiénes tiene la concesión para proporcionar los servicios de operación y de disposición final de los RSU y refieren diferentes lugares de aplicabilidad en México. A éste respecto, cabe mencionar que si bien la información es un tanto superficial, es la tecnología que con mayor frecuencia se practica en México y la manera en cómo operan éstas empresas las cuales deben cumplir con la NOM-083-SEMARNAT-2003 para lograr su autorización por parte de las autoridades estatales. En ciudades importantes se observa una tendencia en establecer esquemas de concesión en lo referente a la disposición final.

Descripción del subgrupo 1: Relleno tradicional

Esta tecnología consiste en la disposición final de los residuos sólidos generados por comunidades rurales y urbanas a nivel municipal de tal forma que la disposición final en el suelo no cause perjuicio al medio ambiente y molestias o peligros para la salud y seguridad pública.

Con esta tecnología se coloca la basura en celdas o en capas compactadas, cubiertas con tierra arcillosa, utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogeneización y compactación. Antes de llenar el sitio de esta manera, se prepara el suelo del futuro relleno para evitar a lo máximo la infiltración de líquidos lixiviados en el suelo. Es posible usar una geomembrana, que es una lámina de plástico de alta densidad que funciona como una olla, o se compacta el suelo existente que debe de ser de tipo arcilla o tepetate lo que cuenta con un factor alto de protección y una baja permeabilidad. Al mismo tiempo se construyen obras adyacentes de control y monitoreo como pozos de venteo, de observación del agua subterránea e instalaciones para la recolección y tratamiento de los lixiviados (Secretaría de Ecología, 2002).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 2: Aprovechamiento de Biogás.

SISTEMAS DE ENERGÍA INTERNACIONAL, S.A. DE C.V. (SEISA), es una de las empresas que proveen la tecnología de aprovechamiento del biogás, ofrece la instalación de equipos de extracción y utilización del biogás que se genera en relleno sanitario en donde el metano constituyente del biogás se aprovecha para generar electricidad, no obstante se requiere de información más exacta sobre los tipos de equipos y los requerimientos de las instalaciones.

ECOSECURITIES-ECOMETHANE+D5, es otra de las empresas que brindan éste servicio, ésta empresa estructura y guía los proyectos de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero desde su principio a fin, trabajando tanto con los desarrolladores de proyectos como con los compradores de créditos de reducción de emisiones. Este proveedor refiere que ha trabajado con compañías que se encuentran ubicadas en países industrializados en vías de desarrollo, para crear créditos de carbono a partir de proyectos que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero. Así también tiene referencias de aplicabilidad en Aguascalientes, México. Por otra parte, cuenta con experiencia en el desarrollo de proyectos de diferentes sectores, tales como energía renovable, agricultura y manejo de RSU, eficiencia industrial y silvicultura. La información recopilada sugiere que es una empresa con la experiencia suficiente que le permite competir como un potencial proveedor de la tecnología de aprovechamiento del biogás.

Descripción del subgrupo 2: Aprovechamiento del Biogás

El aprovechamiento de biogás es un sistema de recuperación en un relleno sanitario tradicional o metanogénico, complementado con equipo para producir energía. El biogás es una mezcla de gases, principalmente el bióxido de carbono CO_2 y el metano CH_4 que es el principal combustible. Para su aprovechamiento son posibles dos opciones: la combustión del biogás y la depuración del metano. El primer caso es el más empleado, sin embargo la limpieza del metano para convertirlo en gas natural puede ser una opción real si el relleno o la planta están ceca de una zona industrial (Gaceta Edo Méx, 2009).

Definición teórica de la Tecnología de maquinaria.

La utilización de maquinaria para el tratamiento de RSU es una tecnología de propósitos muy específicos, ya que los residuos a tratar o disponer deben ser de un solo tipo y requieren de una selección previa, además se requiere de equipos especializados y diseñados dependiendo del residuo. Para éste tipo de tecnología los proveedores no describen un proceso como tal, la información proporcionada se enfoca al tipo de maquinaria que venden dependiendo del residuo a disponer o tratar. Inclusive, dada la gran diversidad de maquinaria tan especializada que ofrecen, se ha conformado una gama muy amplia de subgrupos, de los cuales no existe una definición teórica.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Astilladoras

Para la aplicación de ésta tecnología donde se aplica las astilladoras, VERMEER EQUIPMENT DE MEXICO, es el proveedor que cuenta con la tecnología de máquinas que trituran los troncos en forma de Astillas, reduciendo el volumen de transporte hasta en 12 veces. Dichas Astillas se transforman en composta. La información proporcionada concuerda con lo descrito teóricamente, no obstante es necesario que se precise la información respecto al mecanismo de astillado y los requerimiento para la disposición de la composta.

Descripción teórica del subgrupo 1: Astilladoras

Las astilladoras son equipos especializados para la obtención de biomasa con fines energéticos, pueden clasificarse de acuerdo a: su instalación, mecanismo de astillado, la forma de alimentación de la materia prima y la salida de astilla (Martín, 2008).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 2: Compactadoras

Las maquinas compactadoras que provee ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, S.A. DE C.V., están diseñadas especialmente para centros de distribución, depósitos, plantas industriales y plantas de ensamble. Comprime materiales no ferrosos, cartón corrugado, plásticos y periódicos. Reduce los costos relacionados con la eliminación de residuos. El tiempo de presión produce pacas más densas. Como se precisó en la definición teórica de maquinaria, esta empresa provee de máquinas especializadas, no obstante que debe puntualizar de las condiciones en que debe encontrarse el residuo específico para poder ser compactado.

Descripción teórica del subgrupo 2: Compactadoras

Es una prensa para compactar RSU de cámara cerrada, atado con fleje de plástico (poliéster) y envuelta con película de plástico.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 3: Contenedores con autocompactación

Para la aplicación de maquinaria de contenedores de autocompactación, IMABE IBERICA S.A. y ECOFENIX son los dos proveedores que cuentan con éste tipo de maquinaria, no obstante la información proporcionada por ambas empresa, no describen la maquinaria ni el tipo de residuos a tratar, por lo que es conveniente evaluar su oferta antes de considerarlos como posibles prestadores de éstos equipos.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 4: Contenedores con sistema fijo de compactación

IMABE IBERICA S.A. ofrece la compactación mediante autocompactadores (contenedor con compactador integrado), esta empresa también provee la optimización de la gestión y logística de los residuos. No obstante, debe precisar su información respecto a ésta maquinaria.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 5: Criba giratoria para segregación de residuos

La maquinaria de criba giratoria para la segregación de residuos es proporcionada por IMABE IBERICA S.A. quién describe dentro de sus servicios que en las plantas de tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos la apertura y vaciado de las bolsas, se realiza con gran efectividad mediante una criba giratoria equipada con pinchos. Su diseño garantiza un funcionamiento continuo sin enredos de cuerdas, alambres ni atasco de materiales voluminosos y sin producir la rotura de los envases. Esta construido con materiales antidesgaste y requiere un bajo mantenimiento. Aparentemente, es una buena opción, no obstante debe requerirse puntualizar las especificaciones de la maquinaria de criba.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 6: Estación de transferencia con sistema de contenedores con compactación

IMABE IBERICA S.A.

Las estaciones de transferencia de residuos sólidos optimizan su recolección y transporte. Los camiones recolectores descargan en la estación de transferencia y continúan con la recolección mientras que los residuos son introducidos y compactados en el interior de unos contenedores, que una vez llenos son transportados por camiones portacontenedores a la planta de tratamiento o vertedero.

Es un conjunto de medios e instalaciones que permiten, de una manera estructurada y razonada, la descarga de los residuos recolectores de residuos sólidos urbanos que se utilizan en la recogida domiciliaria, la compactación de los residuos, la carga de los residuos compactados en contenedores cerrados, y su manipulación, traslado y vaciado en vertederos o centros de eliminación.

El volumen de los residuos se reduce gracias a un mecanismo hidráulico de compactación cerrado e instalado en la propia estación de transferencia, el cual se acciona después de que los residuos son descargados en una tolva.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 7: Tecnología regranulable para los termoplásticos reciclables

En este tipo de maquinaria tan especializada, la empresa ARTEC ADVANCED RECYCLING TECNOLOGY de procedencia Australiana ofrece procesar los residuos de termoplásticos, que deben ser clasificados y limpiados, antes de pasar a la planta de reciclaje donde son cortados y compactados. En estos procesos el material es calentado por la fuerza de la fricción del cortador y compactador. Se realiza extrusión, donde el material se convierte en líquido y algunas partículas nocivas se evaporan y se retiran. El material derretido es presionado a través de un dado y reprocesado como pelets. No hay referencias de aplicabilidad en México, sin embargo la información proporcionada podría ser considerada como referencia en otros países.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 8: Pela cables

Otro tipo de maquinaria de alta especialización es la proporcionada por la empresa IMABE IBERICA S. A., la cual se refiere al diseño de maquinaria para pelar cables, dicha maquinaria permite que un único operario pueda procesar hasta 30 metros por minuto de cable con diámetros entre 5 y 80 mm, con las manos alejadas de la zona de corte en todo momento. Aparentemente, esta maquinaria confiere una gran ventaja que puede ser muy redituable, aunque no hay referencias de aplicabilidad en México; es conveniente que se solicite al proveedor mayor precisión y considerarse como un proveedor potencial con factibilidad de ser contratado.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 9: Perforadora

IMABE IBERICA S. A. ofrece maquinaria para el caso del plástico Pet, el proveedor refiere que es imprescindible perforar las botellas si no se quita el tapón, para optimizar su prensado posterior y obtener balas más densas, estables y resistentes. El diseño de los rotores y pinchos garantiza el perforado de botellas de cualquier tamaño, sin fraccionarlas y sin requerir ningún tipo de dispositivo que empuje las botellas hacia los rotores. El equipo puede colocarse sustituyendo al tolvín de selección incorporando su propia tolva o en la tolva de carga de la prensa con un mecanismo de desplazamiento. La maquinaria de perforación de PET ofrece ventajas para el tratamiento y posible reciclaje de éste residuo, de tal manera que puede ser una opción factible de aplicabilidad en México.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 10: Prensa

La prensa es otro tipo de maquinaria que provee la empresa IMABE IBERICA S. A., la cual ofrece un tipo de prensa de reducidas dimensiones y uso fácil para la reducción de volumen y vaciado de líquidos mediante compactación

de: bidones metálicos de gran tamaño, latas metálicas de hasta 70 litros de capacidad, filtros de aceite. Es una prensa para residuos muy específicos de la cual no se tiene información de su aplicabilidad en México, no obstante puede ser una opción factible.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 11: Prensa aplana coches

IMABE IBERICA S.A. ofrece diversos modelos estáticos y móviles para el prensado y empaquetado de carrocerías de vehículos fuera de uso y chatarra pesada y voluminosa mediante la acción conjunta de tapas (alas) laterales y los caros de prensado principales.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 12: Prensa continua

No obstante que IMABE IBERICA S. A. provee de equipos especializados para el prensado y enfardado continuo y automático de papel, cartón, plásticos, etc. Con una gran cantidad de modelos con variedad de dimensiones de boca de carga, fuerza de prensado, tamaño de bala, producción horaria, etc. Es conveniente solicitar información más precisa de su producto, dado que el residuo a tratar es el de mayor reutilización podría ser una opción factible.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 13: Prensa para chatarras y metales

IMABE IBERICA S. A. cuenta también con maquinaria de prensado para todo tipo de chatarras y metales, con compactación sencilla, doble o triple. Modelos para diferentes producciones, tamaño, peso y densidad de paquete: botes de acero y aluminio, recortes de acero y aluminio, perfilería de aluminio, pequeña chatarra, chatarra voluminosa, electrodomésticos. Aunque es el único proveedor del que se logró conseguir información es necesario evaluar la maquinaria con la que cuenta y determinar si opera con la eficacia requerida.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 14: Trituración

El grupo GRUPO INDUSTRIAL RUVALCAVA, S.A. DE C.V. ofrece maquinaria para el triturado de todo tipo de materiales incluyendo neumáticos y RSU. No obstante carece de la información necesaria para evaluar su producto.

Descripción teórica del subgrupo 14: Trituración

Es el proceso unitario mediante el cual, se reduce mecánicamente el tamaño de los materiales residuales recogidos. Se utiliza el término trituración para describir las operaciones mecánicas de reducción de tamaño. El objetivo de la reducción en tamaño es obtener un producto final que sea razonablemente

uniforme y considerablemente reducido en tamaño comparándolo con su tamaño original. Hay que resaltar que la reducción en tamaño no implica necesariamente una reducción en volumen (Tchobanoglous, 1994).

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 15: Trituración de residuos de la construcción móvil y fija

Para el tratamiento y disposición de residuos de la construcción, la empresa SURCO SERVICIOS URBANOS Y DE CONSTRUCCIÓN, CONCRETOS RECICLADOS, ofrece sus servicios en la molienda de residuos de la industria de la construcción, no obstante a que refiere la aplicabilidad de su producto en el Distrito Federal, México; carece de la información precisa acerca de su producto, de tal manera que no es factible de ser evaluado como proveedor potencial.

ZB ZBRECYCLING, fabrica grupos móviles sobre orugas y sobre ruedas, ofreciendo la opción de motores diesel o eléctricos, separadores magnéticos, cintas plegables, motores hidráulicos, báscula de pesaje, entre otros. Se incorporan a los grupos móviles a una amplia gama de: machacadoras de mandíbulas, molinos impactores, tanto primarios como secundarios, gravilladoras, excelentes prestaciones tanto en cantera como en trabajos de demolición, escombros y residuos metálicos. Esta empresa ofrece diversos servicios utilizando maquinaria de trituración para residuos de la construcción. Por tal razón podría ser un proveedor potencial de ser considerado para el tratamiento de éstos residuos, no sin antes evaluar sus servicios.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 16: Trituradora

IMABE IBERICA S. A. describe que cada cliente necesita un modelo de triturador en función del tipo y cantidad de residuo a tratar y del destino final del producto triturado. Un diseño óptimo debe tener en cuenta lo siguiente: numero de ejes, tipo de cuchillas, tipo de accionamiento y versión estática o móvil.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 17: Volteadora de composta

Para ésta maquinaria KOMPTECH ofrece la volteadora autopropulsable TOPTURN X53 cuenta con una transmisión de tipo hidrostática tipo orugas con engranaje de corrida recubierto de hule con un ancho de 350 mm y una longitud de 2.490 mm
Contando con bombas de alta presión de desplazamiento variable con motor de desplazamiento. Incluye cuchillas ranuradoras colapsables para limpieza de las orugas

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 18: Cribas

KOMPTECH ofrece equipo para Cribado, Cernido y tamizado de materiales como composta y sitios de tratamiento, de diseño compacto. Montado en una subestructura sobre un arreglo de remolque con eje tándem y barra para arrastre. La descarga de las fracciones finas deberá ser vía banda colectora, banda transversal y la subsecuente banda lateral de descarga. La Fracción de mayor tamaño es descargada hacia la parte trasera en dirección de la alimentación, la fracción fina a través de la maquina

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 19: Trituración de neumáticos

Definición teórica de la Tecnología de reciclaje.

El reciclaje es un proceso que permite la recuperación, reutilización, valorización, transformación y elaboración de un material, a través del aprovechamiento total o parcial de los residuos, ya sea para el mismo uso o para sacar algún provecho de los mismos (Castells, 2000). Es un proceso simple o complejo que sufre un material o producto para ser reincorporado a un ciclo de producción o de consumo.

El reciclaje también se suele definir como un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos. Los objetivos de este programa son los siguientes:

- Conservación o ahorro de energía
- Conservación o ahorro de recursos naturales
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar
- Protección del medio ambiente

En el mundo existe un problema causado por la creciente cantidad de residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos sólidos plásticos (RSP), que en general se depositan en tiraderos municipales o rellenos sanitarios, desaprovechando su potencial económico.

Los RSP forman parte de los RSU, que se generan en casas, comercios, instituciones y áreas públicas. La acumulación de RSP es un problema ambiental que, sin reciclar, reutilizar o reducir, se desaprovecha su valor potencial. La creciente escasez de materias primas para la síntesis de plásticos, su recuperación y la protección del ambiente, son razones suficientes para su reciclaje.

En las ciudades de países pobres o de economía de transición, es frecuente ver RSP acumulados en basureros o tiraderos a cielo abierto. Los tiraderos de RSP impactan negativamente al ambiente mezclados con residuos orgánicos e inorgánicos. La descomposición orgánica causa malos olores, lixiviados, propicia la

proliferación de insectos y roedores que son vectores de microorganismos patógenos de humanos y animales.

Desde la década de los 70's ha cambiado el criterio y la actitud de la población mundial, al igual que sus gobernantes, para la gestión de RSU con propósitos económicos y ambientales. En los países desarrollados, las estrategias de manejo y aprovechamiento de RSP, se emplean para generar energía eléctrica por incineración. En contraste en países en vías de desarrollo como México, no existe conciencia para su uso, aunado al desinterés, la ignorancia por el reciclaje de los residuos sólidos, los convierte en basura, a pesar del actual avance tecnológico al respecto.

Esta actitud opuesta a la cultura ambiental, considera a los residuos como basura. Para la legislación ambiental mexicana, un residuo es: "cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización o control de calidad, que no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó". La ingeniería ambiental, lo define como "cualquier material con potencial de utilizarse como materia prima en uno o más procesos productivos subsiguientes" y emplea los términos recuperación, reciclaje y reutilización que aparecen definidos en el cuadro 37.

Cuadro 37. Terminología utilizada en el manejo de Residuos Sólidos Urbanos.

Término	**Definición**
Recuperación	Proceso para extraer materiales: papel, cartón, plástico, vidrio, metales ferrosos y no ferrosos, textiles y orgánicos del flujo de desperdicios sólidos para reintegrarse a la cadena de uso.
Reciclaje	Proceso por el que un material previamente recuperado del flujo de desperdicios sólidos se reintegra a la cadena de uso.
Reutilización	Utilizar un producto para un fin distinto al que tuvo originalmente.

Análisis de la información que ofrecen los proveedores del subgrupo 1: Acopio-separación-tratamiento

Los proveedores que ofrecen ésta tecnología, no proporcionan información suficiente **IN CYCLE ELECTRONICS INC. Y TBS INDUSTRIAS COMPUTER RECICLING SPECIALISTS**

Para el acopio de los residuos se cuenta con centros que son los interlocutores entre los recolectores y la industria. En estos centros de acopio se realiza una segunda clasificación, acumulando grandes cantidades que hacen factible el transporte a bajos costos (Gaceta del Edo Méx, 2009). En la separación se extraen elementos o materiales con valor económico, los que luego son tratados para volver a usarlos. La separación puede ser manual o mecánica y cuenta con diferentes etapas. La separación en la fuente y la recolección separada son

condiciones importantes para obtener material con mayor valor en el mercado y calidad (Acosta, 2008). Al proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos que procura obtener beneficios sanitarios o económicos, reduciendo o eliminando sus efectos nocivos al hombre y al medio ambiente se le denomina tratamiento de los residuos sólidos municipales (INE, 2001).

Una de las variantes del proceso incluye la recolección, reciclaje y destrucción de todos los desechos electrónicos. Computación: CPUs, discos duros, CD ROMs, floppys, tarjetas electrónicas, procesadores, memorias, fuentes de poder, no breaks, reguladores, teclados, ratones, monitores, impresoras, cables, servidores, laptops. Telefonía: celulares, baterías, cargadores, palms, radiolocalizadores, teléfonos inalámbricos, equipos de red, equipos de comunicación, equipos de telecom. Electrónica: tarjetas electrónicas, decodificadores, consolas de videojuegos, reproductores portátiles, CDs, cables de poder, adaptadores.

Diagramas de proceso presentado por los proveedores

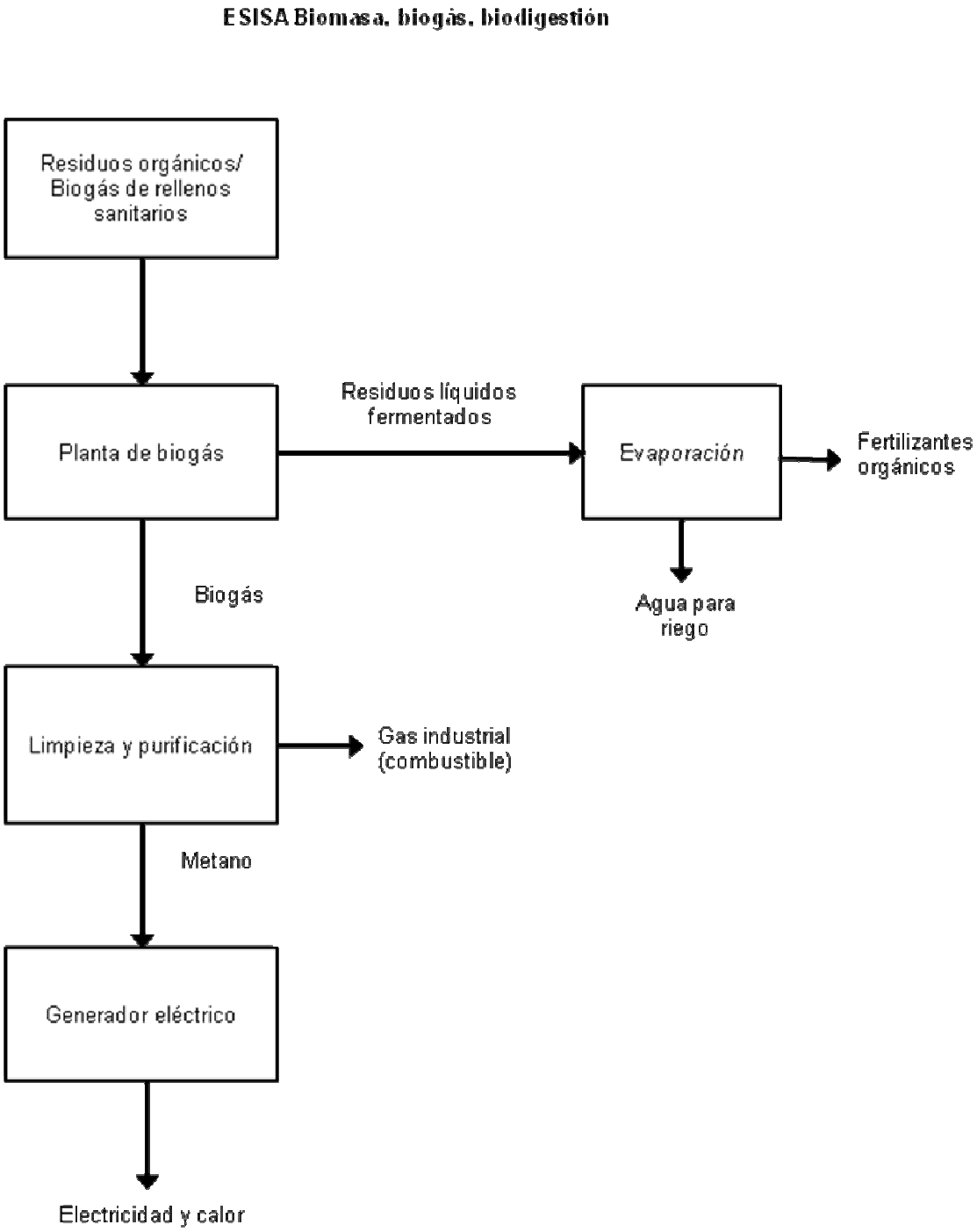


Diagrama 6. ESISA. Biomasa, biogás, biodigestión.

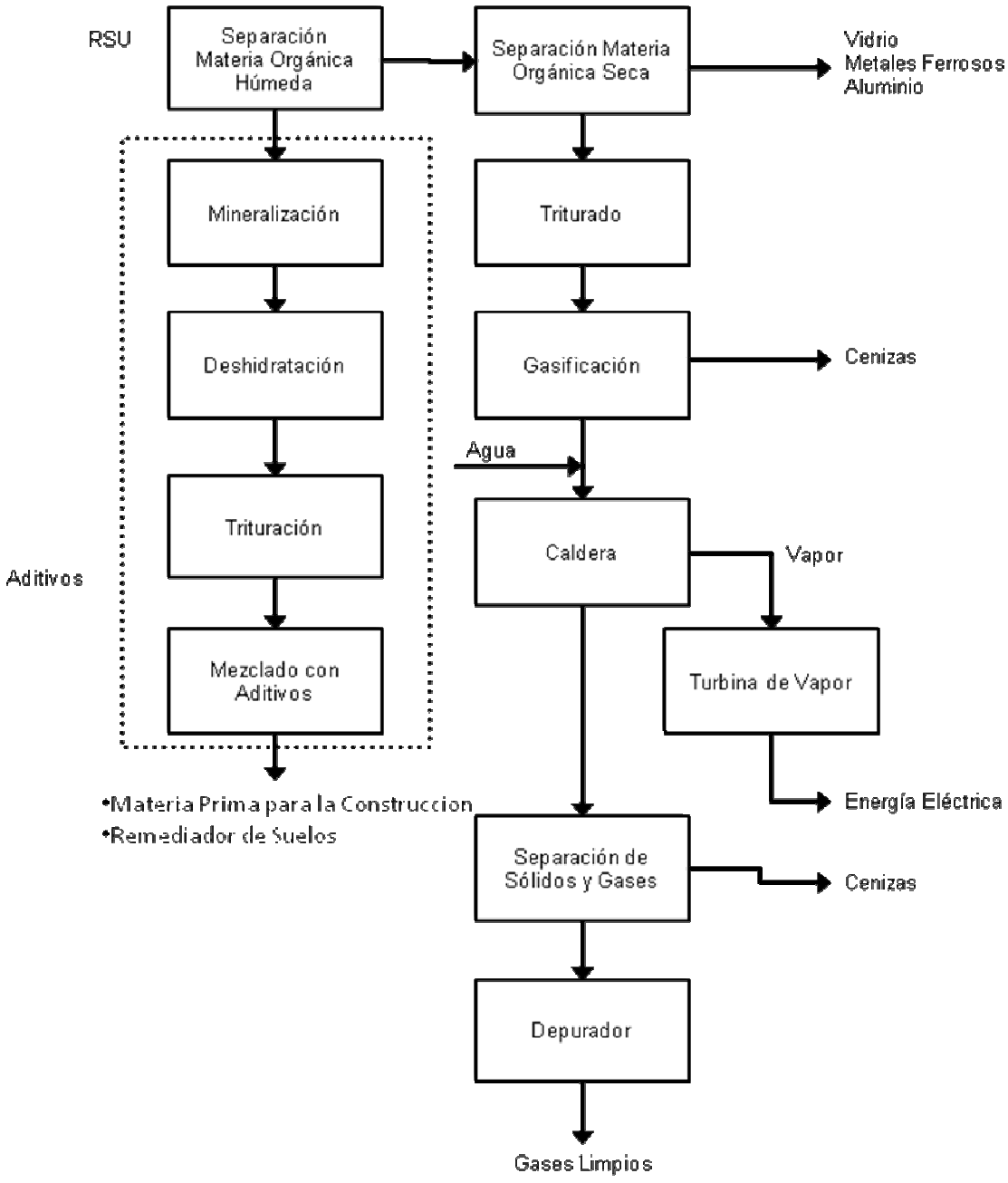


Diagrama 7. GPEC Y TECNOSILICATOS DE MÉXICO. Separación pirólisis.

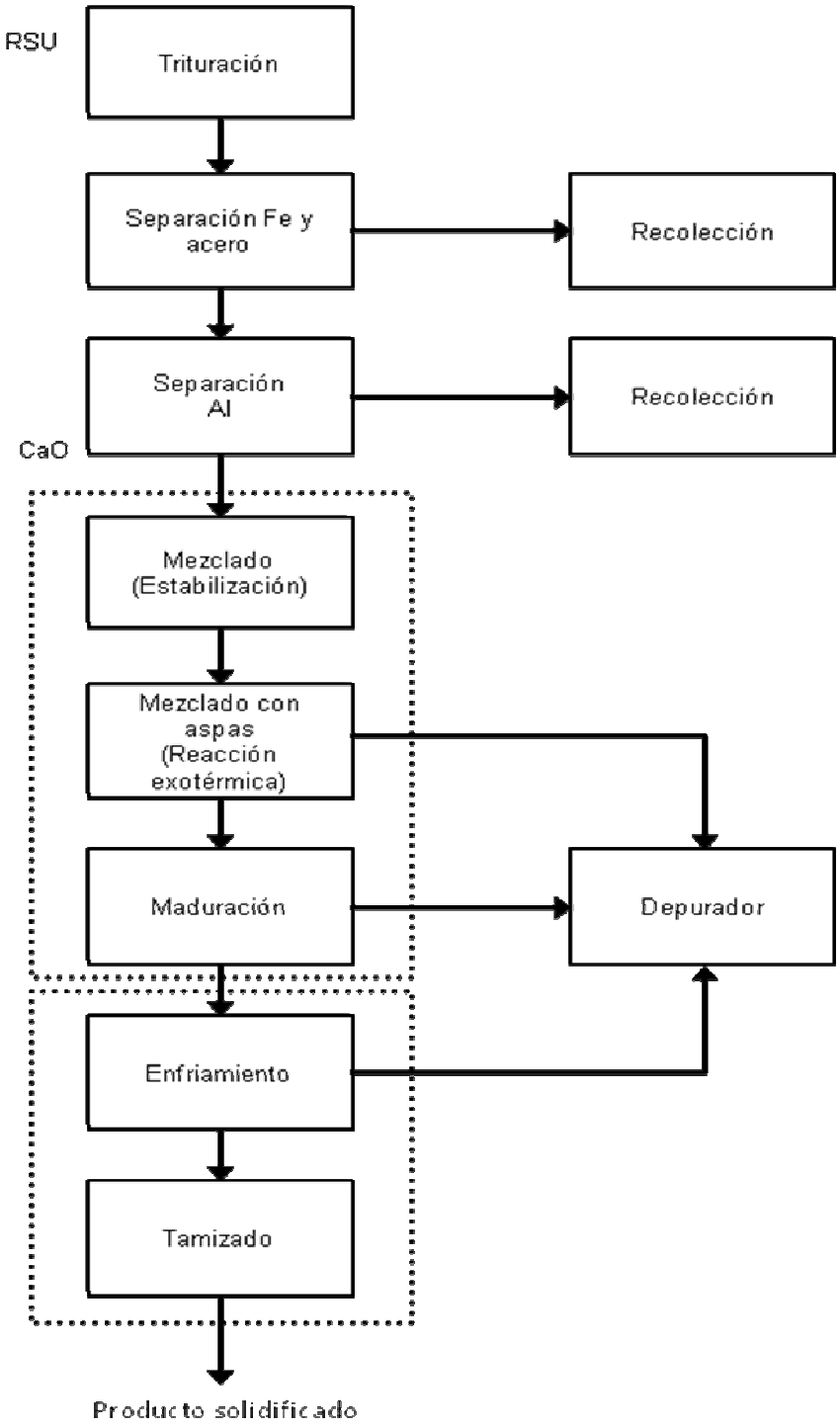


Diagrama 8. BIOSOLUCIONES ENERGÉTICAS. Desecado.

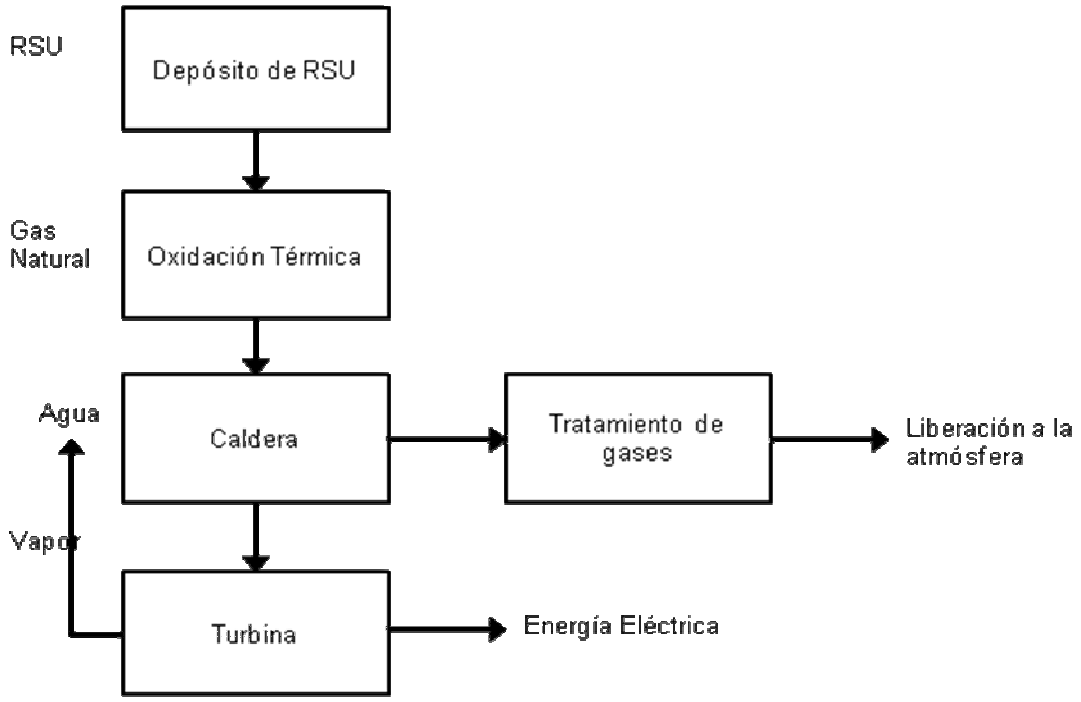


Diagrama 9. ENERGY AND ENVIRONMENTAL, INC. Oxidador térmico

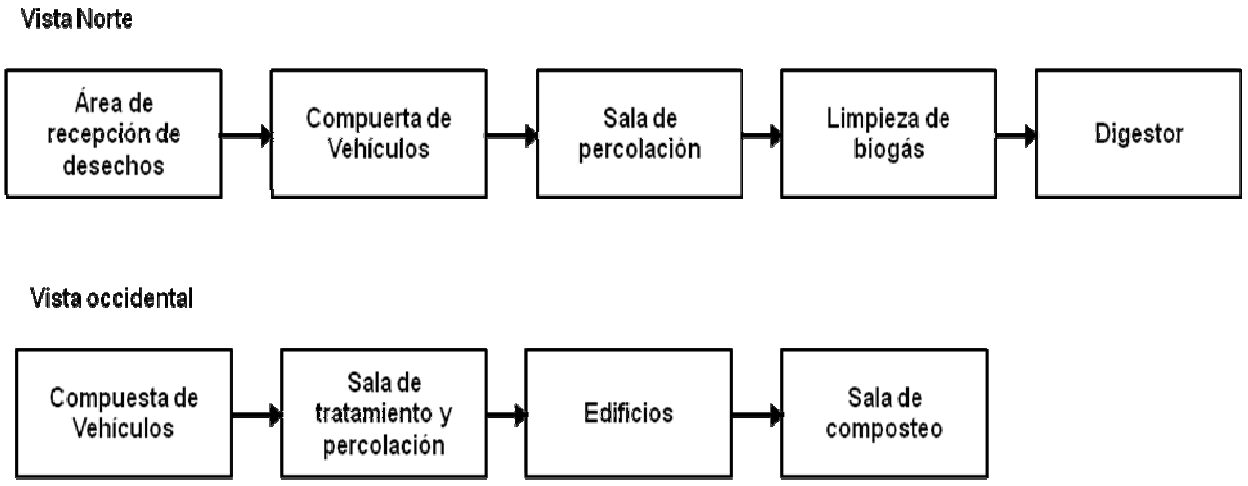


Diagrama 10. INITRASISO S. A. DE C. V. Planta de fermentación por oxidación

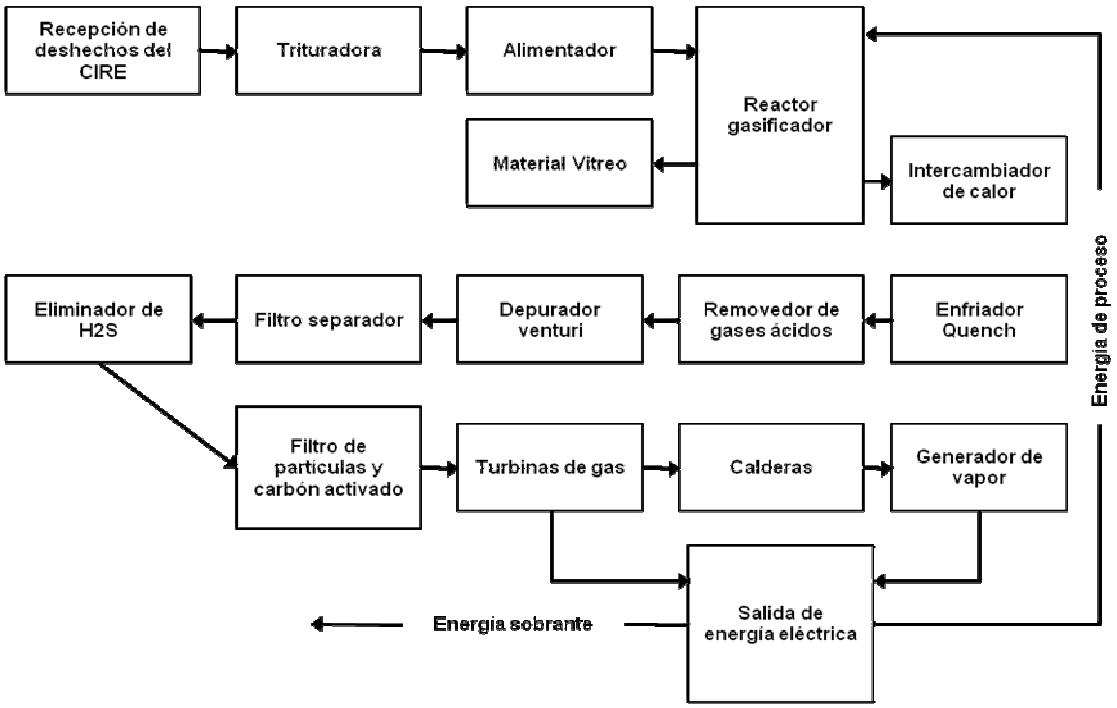


Diagrama 11. CLEENMAIN S. A. de C. V. Gasificación por plasma

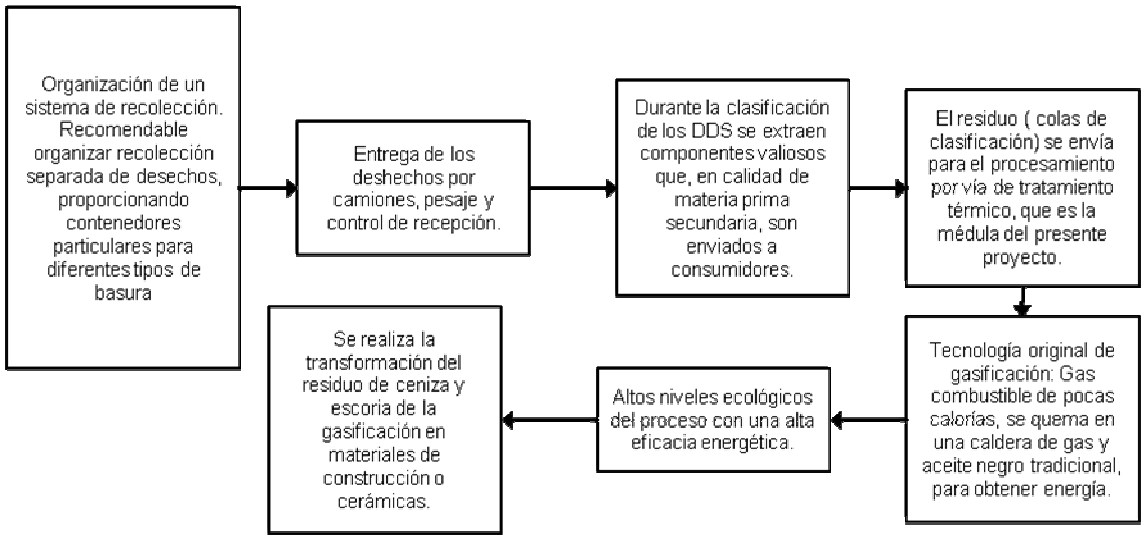


Diagrama 12. CONSTRUMEX INDUSTRIAL S. A. de C. V. Gasificación por plasma

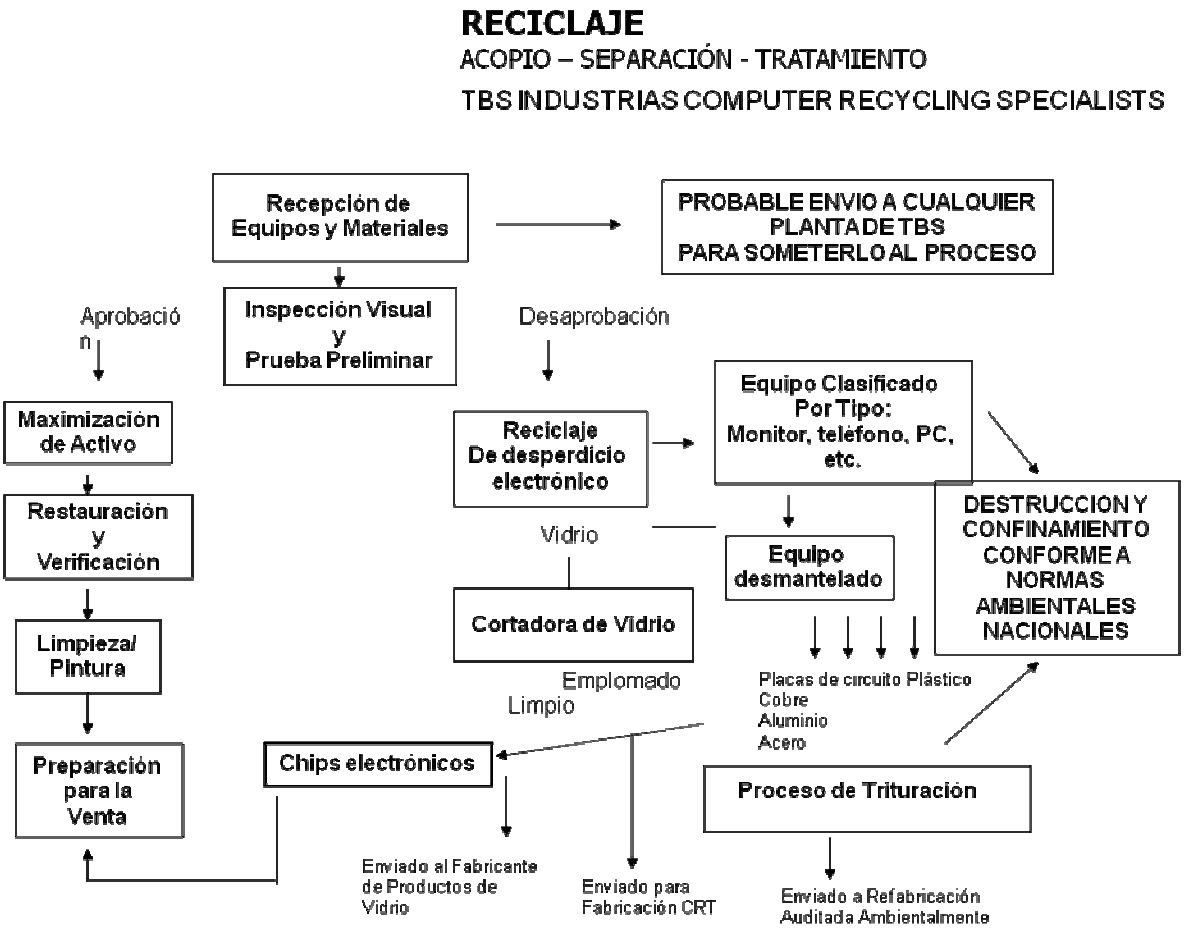
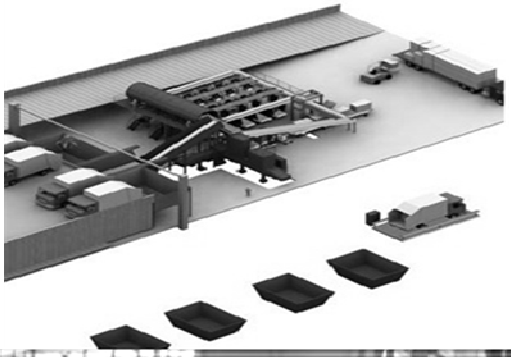


Diagrama 13. TBS INDUSTRIAS COMPUTER RECYCLING SPECIALISTS. Reciclaje

SELECCIÓN
PLANTA DE SELECCIÓN
IMABE IBERICA, S. A.

Figura 42. Selección. PLANTA DE SELECCCIÓN IMABE IBERICA, S.A.



SELECCIÓN
PLANTA DE SELECCIÓN
ECOFENIX

Figura 43. Selección. PLANTA DE SELECCIÓN ECOFENIX.

COMPACTACIÓN
ALTA COMPACTACIÓN
IMABE IBERICA, S.A.

Figura 44. Compactación. ALTA COMPACTACIÓN IMABE IBERICA, S.A.

COMPACTACIÓN
ALTA COMPACTACIÓN CON PELICULA PLASTICA
ECOFENIX

Figura 45. Compactación. ALTA COMPACTACIÓN CON PELICULA PLÁSTICA ECOFENIX.

Figura 46. Compactación. ALTA COMPACTACIÓN ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, S.A. DE C.V.

Figura 47. Compactación. ALTA COMPACTACIÓN CON PELICULA PLÁSTICA GRUPO GH

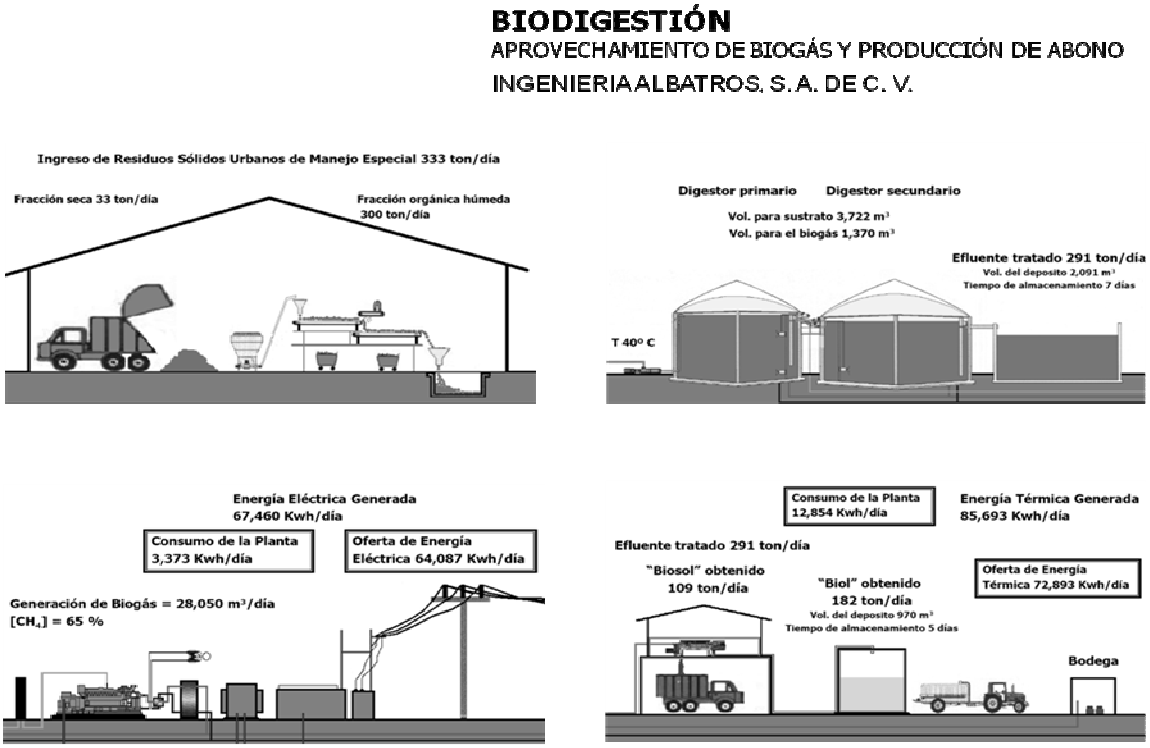


Figura 48. Biodigestión, aprovechamiento de biogás y productos de abono. INGENIERÍA ALBATROS, S.A. DE C.V.

Figura 49. Planta de Composta, planta de tratamiento de orgánicos con separación de inorgánicos. BIOSISTEMAS SUSTENTABLES S.A. DE C.V.

Figura 50. Planta de Composta, pilas estáticas. GRUPO SINDER, S.A. DE C.V.

Figura 51. Planta de Composta, mecanizada cubierta. GRUPO TAIME-WESSER.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ETANOL
BICOMBUSTIBLES
NORDECO, S. A. DE C. V.

I) Embudo de reservas
J) Reserva de ácido
K) Hidrólisis
L) Filtración
M) Reciclaje de ácido
N) Solución de azúcar
O) Levadura
P) Fermentación
Q) Reserva de CO_2
R) Centrifuga
S) Bioetanol 10%
T) Cámara de destilación
U) Bioetanol 99.7%
V) Generación de Electricidad
W) Tratamiento de agua

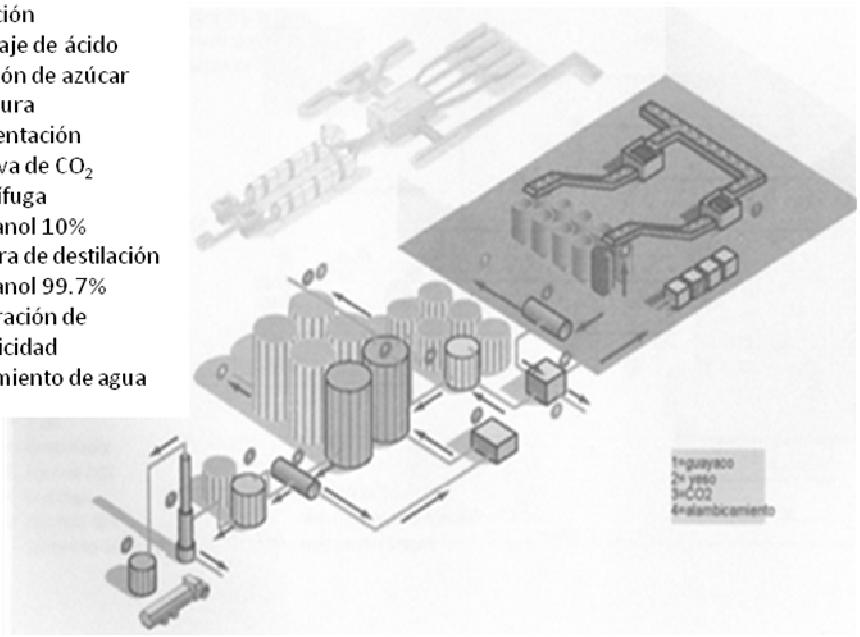


Figura 52. Planta de producción de etanol. BIOCOMBUSTIBLES NORDECO, S.A. DE C.V.

GASIFICACIÓN
PIROLISIS
RICHWAY ENVIROMENTAL TECHNOLOGIES LTP
SIMPSA INGENIERÍA, S. A. DE C. V.

Anualmente:
Procesa 330,000 tons basura;
Genera 180,000,000 kWhrs electricidad;
Recupera 3,300 tons metal;
Produce 6,000,000 ladrillos.

Figura 53. Gasificación, pirólisis. RICHWAY ENVYROMENTAL TECHNOLOGIES LTP SIMPSA INGENIERIA S.A. DE C.V.

GASIFICACIÓN
PIROLISIS
RECYCLED ENERGY CORPORATION, GRUPO SOLUCIONES TÁCTICAS, S.C.

Figura 54. Gasificación, pirolisis. RECYCLED ENERGY CORPORATION, GRUPO SOLUCIONES TÁCTICAS, S.C.

GASIFICACIÓN
VITRIFICACIÓN POR PLASMA
GRUPO USVAC, S.A. DE C.V.

Figura 55. Gasificación, vitrificación por plasma. GRUPO USVAC, S.A. DE C.V.

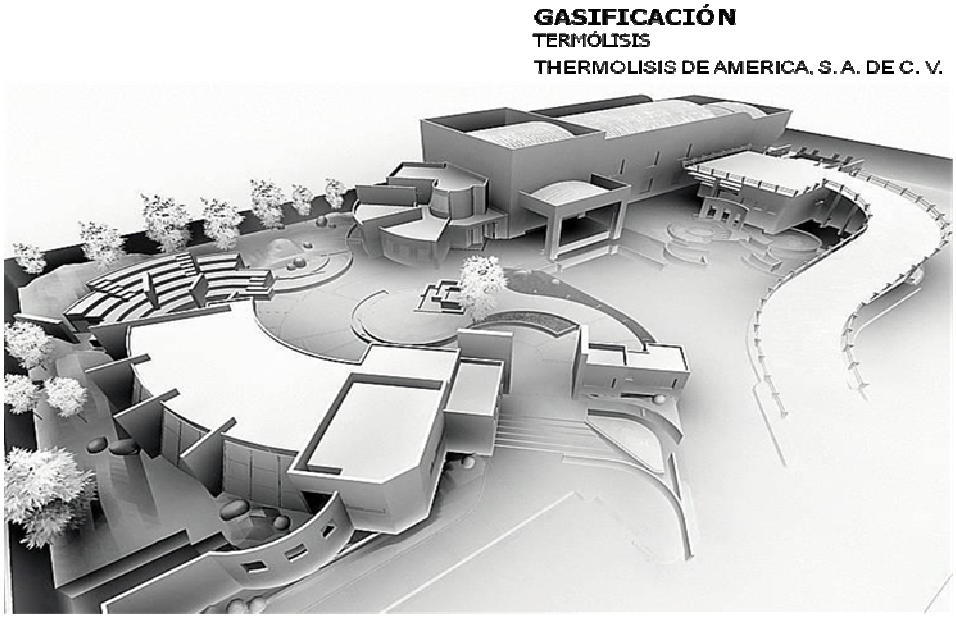


Figura 56. Gasificación, Termólisis. THERMOLISIS DE AMERICA, S.A. DE C.V.

Figura 57. Desecado, proceso térmico para estabilizar la fracción orgánica. BIOSOLUCIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES, S.A. DE C.V.

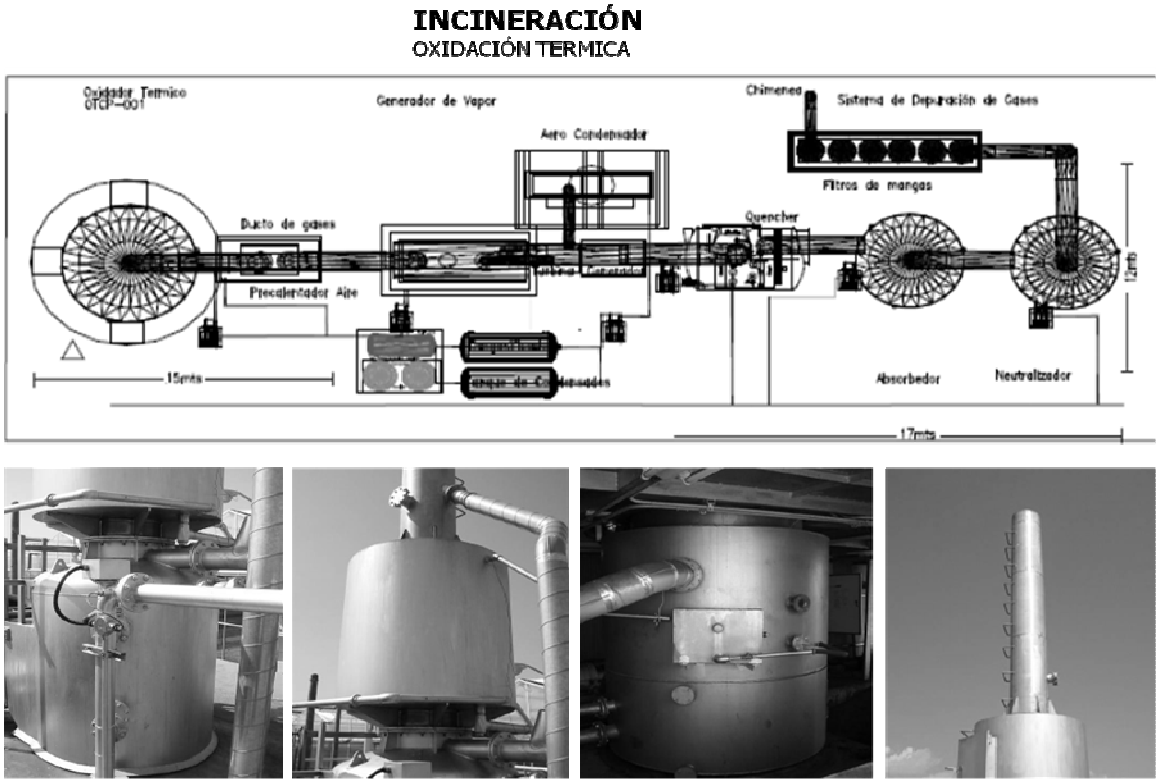


Figura 58. Incineración, oxidación térmica.

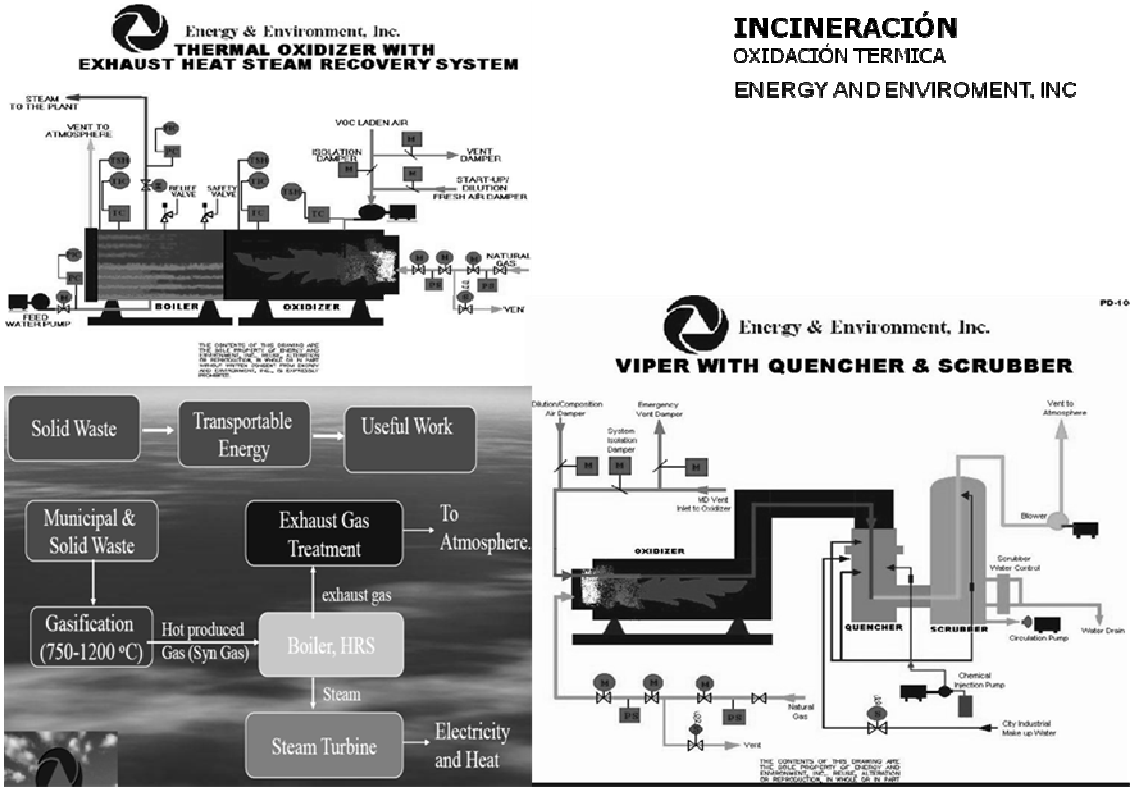


Figura 59. Incineración, oxidación térmica. ENERGY AND ENVIROMENT, INC.

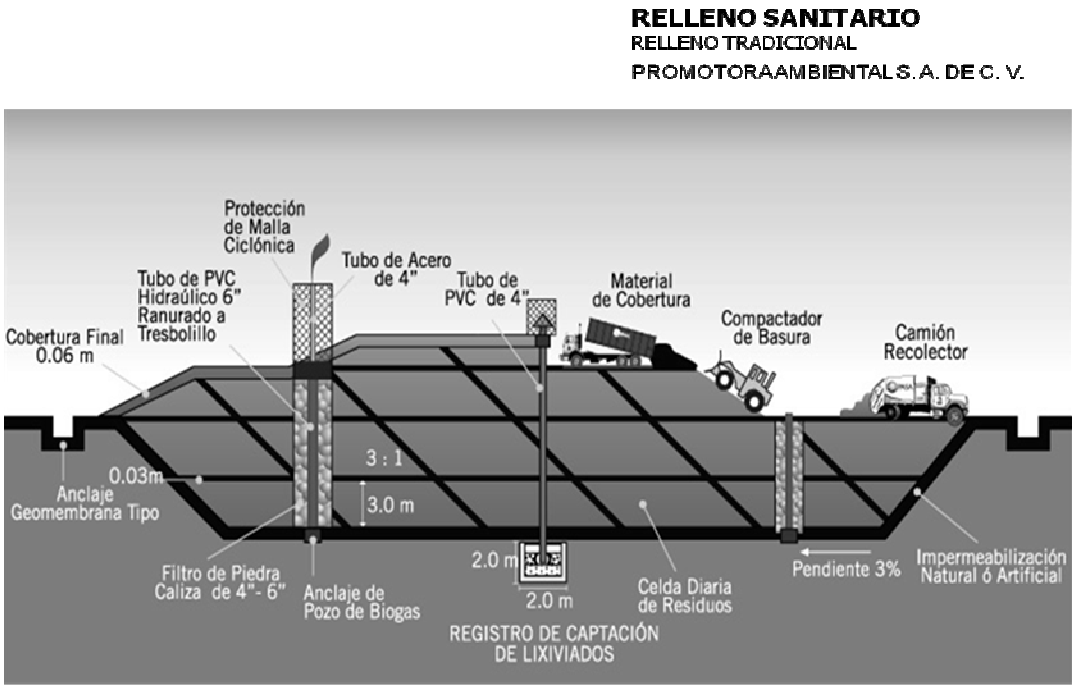


Figura 60. Relleno sanitario, relleno convencional. PROMOTORA AMBIENTAL S.A. DE C.V.

Figura 61. Relleno sanitario, Relleno convencional. PROACTIVA MEDIO AMBIENTE MÉXICO.

Figura 62. Relleno sanitario, aprovechamiento de biogás. SEISA (SISTEMA DE ENERGÍA INTERNACIONAL), S.A. DE C.V.

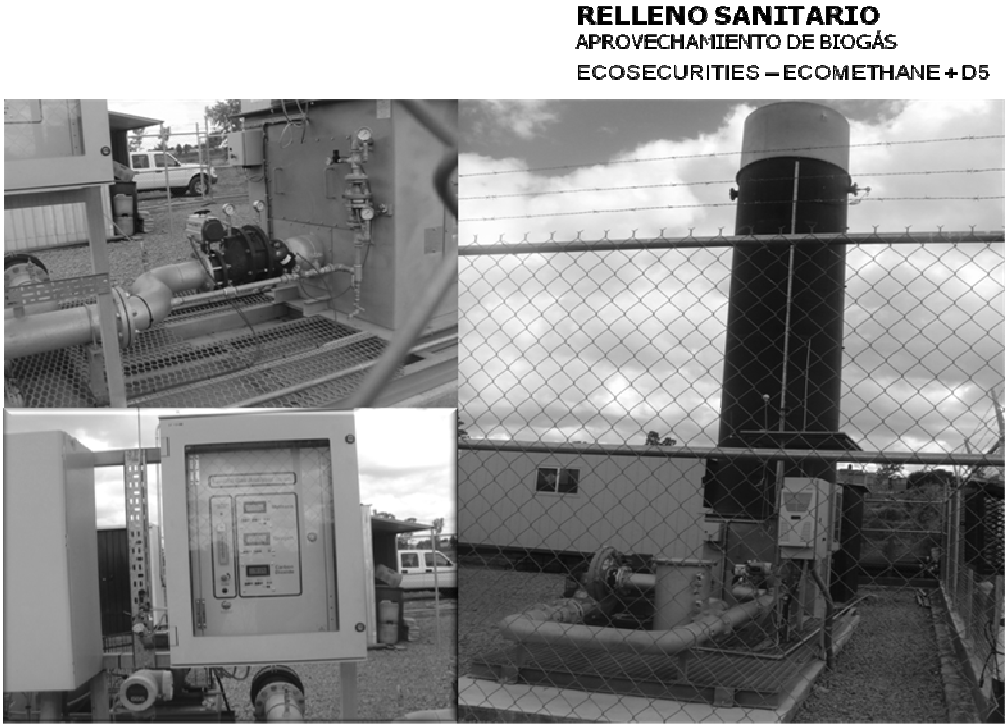


Figura 63. Relleno sanitario, aprovechamiento de Biogás. ECOSECURITIES-ECOMETHANE + D5.

MAQUINARIA
ASTILLADORAS
VERMEER EQUIPMENT DE MÉXICO

Figura 64. Maquinaria, astilladoras. VERMEER EQUIPMENT DE MÉXICO

MAQUINARIA
TRITURACIÓN
GRUPO INDUSTRIAL RUVALCAVA, SA DE CV

Figura 65. Maquinaria, trituración. GRUPO INDUSTRIAL RUVALCAVA, S.A. DE C.V.

MAQUINARIA
VOLTEADORA DE COMPOSTA
KOMPTECH

Figura 66. Maquinaria, volteadora de composta. KOMPTECH.

MAQUINARIA
TRITURACIÓN DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN MÓVIL Y FIJA
SURCO SERVICIOS URBANOS Y DE CONSTRUCCIÓN
CONCRETOS RECICLADOS

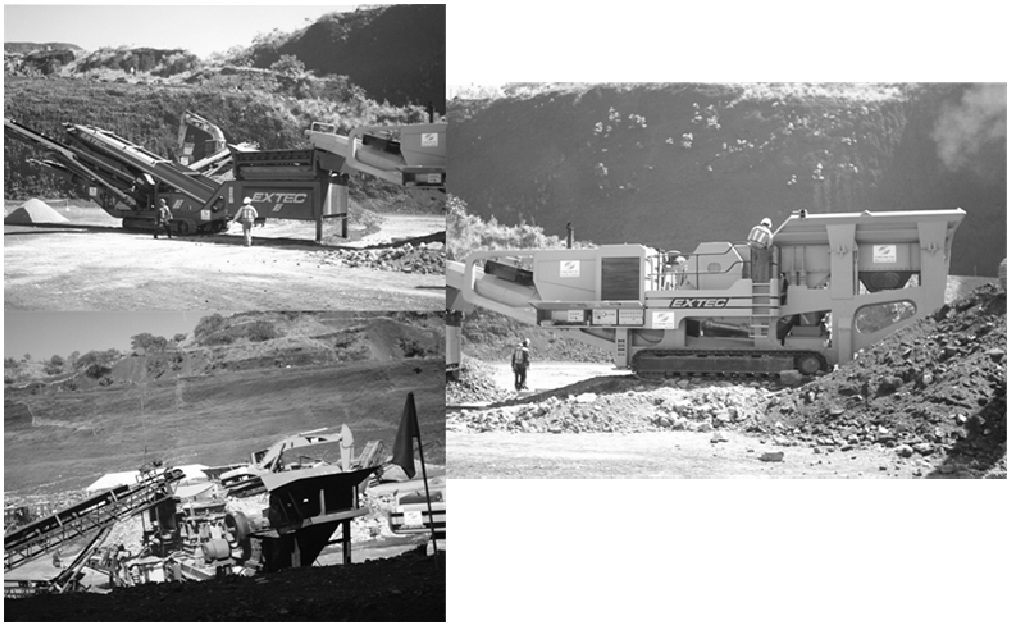


Figura 67. Maquinaria, trituración de residuos de la construcción móvil y fija. SURCO (SERVICIOS URBANOS Y DE CONSTRUCCIÓN CONCRETOS RECICLADOS).

MAQUINARIA
TRITURADORA DE BAJA VELOCIDAD
KOMPTECH

Figura 68. Maquinaria, trituradora de baja velocidad. KOMPTECH.

MAQUINARIA
CRIBADORA TIPO TAMBOR MOVIL
KOMPTECH

Figura 69. Maquinaria, cribadora tipo tambor móvil. KOMPTECH.

En el cuadro 38 se enlistan los costos de inversión que ofrecen los porveedores de tecnologías consultados, vía telefónica, páginas web y correos electrónicos.

Cuadro 38. Estimación de costos de inversión de las tecnologías, para el tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos.

TECNOLOGÍA: SELECCIÓN	
CATEGORÍA: Plantas De Selección	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de Adquisición: €1,500,000 no considera obra civil	**IMABE IBERICA S.A.**
Costo de Adquisición: US$1,300,000 no considera obra civil	**Ecofenix**
TECNOLOGÍA: COMPACTACIÓN	
CATEGORÍA: Alta Compactación	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo unitario compactador €670,000 Costo unitario alimentador de tablilla €108,000 Costo de montaje y puesta en marcha €165,000 Total €943,000	**IMABE IBERICA S.A.**
Costo unitario compactador US$750,000	**ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, SA DE CV**
CATEGORÍA: Alta Compactación Con Película Plástica	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo /módulo: $ 33, 790, 711 L.A.B. México D.F. incluye: puesta en operación, capacitación y supervisión por el fabricante. Costo de montacargas $ 500,000	**Biosoluciones Energéticas y Ambientales, S.A. de C.V.**
Costo modulo de compactación $ 22,000,000	**Ecofenix**
Costo unitario compactador US$850,000	**Grupo GH**
TECNOLOGÍA: BIODIGESTIÓN	
CATEGORÍA: Aprovechamiento de biogas y producción de abono	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo Anual por Tonelada:US$38.00	**INTRASISO, S.A. de C.V.**
Inversión: $174,000,000 Costo por tonelada $333	**INGENIERIA ALBATROS, S.A. DE C.V.**
TECNOLOGÍA: PLANTA DE COMPOSTA	
CATEGORÍA: Planta de Tratamiento de orgánicos con separación de inorgánicos	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**

Costo por tonelada tratada $140	**Biosistemas sustentables SA de CV**
CATEGORÍA: Pilas Estáticas	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo por tonelada tratada $160	**GRUPO SINDER S.A. DE C.V.**
CATEGORÍA: Mecanizada cubierta	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Inversión: € 18.028 millones Costos operación: € 3.259 millones/año Costo composta: € 9.21/ton Ingresos: € 1.785 millones/año	**Grupo Taime - Wesser**
TECNOLOGÍA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ETANOL	
CATEGORÍA: Biocombustibles	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
N/D	**Nord Eco, S.A. de C.V.**
TECNOLOGÍA: GASIFICACIÓN	
CATEGORÍAE: Separación, pirolisis	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo por tonelada tratada $140	**TM Tecnosilicatos de México S.A. de C.V.**
CATEGORÍA: Pirolisis	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Inversión: US$ 7,000,000	**Construmex Industrial S.A. de C.V.**
N/D	**Richway Environmental Technologies LTP SIMPSA Ingeniería S.A. de C.V.**
N/D	**Recycled Energy Corporation, Grupo Soluciones Tácticas, S.C.**
CATEGORÍA: Plasma	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
N/D	**CLEENMAIN SA DE CV**
CATEGORÍA: Vitrificación por Plasma	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
N/D	**Grupo Usvac, S.A. de C.V.**
CATEGORÍA: Termólisis	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de inversión: US$99,200,000 millones/módulo Costo de inversión total (2 módulos): US$160,000,000 Costo de operación por tonelada:$444.2	**Thermólisis de América, S.A. de C.V.**

Costo de operación por tonelada: US$100	**Bio Energy S.A. de C.V., Cooperación Integral de Medioambiente S.A. de C.V. (CIMSA)**
TECNOLOGÍA: DESECADO	
CATEGORÍA: Proceso térmico para estabilizar la fracción orgánica	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo por tonelada $160	**Biosoluciones Energéticas y Ambientales, S.A. de C.V.**
TECNOLOGÍA: INCINERACIÓN	
CATEGORÍA: Oxidación Térmica	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Incineración: Costos de Inversión: $132 millones Costos de inversión: $ 550,000/Ton/día No se proporcionaron costos de operación	**Waste to Energy S.A. de C.V. Environmental de México**
N/D	**Energy and Environment, Inc.**
TECNOLOGÍA: RELLENO SANITARIO	
CATEGORÍA: Relleno tradicional	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo por tonelada recibida $130-$160	**Promotora Ambiental S.A. de C.V.**
Costo por tonelada recibida $140	**PROACTIVA Medio Ambiente México**
CATEGORÍA: Aprovechamiento de Biogás	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
N/D	**SEISA (Sistemas de Energía Internacional, S.A. de C.V.)**
N/D	**Ecosecurities- Ecomethane+D5**
TECNOLOGÍA: MAQUINARIA	
CATEGORÍA: Astilladoras	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $1,1000,000	**Vermeer Equipment de Mexico**
CATEGORÍA: Compactadoras	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $250,000	**ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, SA DE CV**
CATEGORÍA: Contenedores con autocompactación	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $700,000	**IMABE IBERICA S.A.**
Costo de adquisición $600,000	**Ecofenix**
CATEGORÍA: Contenedores con sistema fijo de compactación	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $400,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Criba giratoria para segregación de residuos	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**

Costo de adquisición $10,000,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Estación de transferencia con sistema de contenedores con compactación	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $5,000,000 no incluye obra civil	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Estación de transferencia con sistema de contenedores con compactación Tecnología regranulable para los termoplásticos reciclables	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición €850,000	**Artec Advanced Recycling Tecnology**
CATEGORÍA: Pela cables	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $200,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Perforadora de botellas de Pet	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $170,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Prensa	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $230,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Prensa aplana coches	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $8,600,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Prensa continua	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $3,000,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Prensa para chatarra y metales	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $300,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Trituración	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición VB750DK €265,800 VB850DK €398,000 VB950DK €474,800	**GRUPO INDUSTRIAL RUVALCAVA, SA DE CV**
CATEGORÍA: Trituración de residuos de la construcción móvil y fija	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
$50 por tonelada recibida en planta	**SURCO servicios urbanos y de construcción** **CONCRETOS RECICLADOS**
CATEGORÍA: Trituradora	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $13,000,000	**IMABE IBERICA S.A.**
CATEGORÍA: Volteadoras de Composta	

COSTO DE REFERENCIA	EMPRESA
Costo de adquisición X53 $8,132,000	**KOMPTECH**
CATEGORÍA: Trituradora de Baja Velocidad	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición Crambo 6000 $12,026,240	**KOMPTECH**
CATEGORÍA: Cribadora de tipo Tambor Móvil	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición Maxx $4,496,730	**KOMPTECH**
CATEGORÍA: Trituración de residuos de la Construcción Móvil y Fija	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo de adquisición $16,000,000	**ZB zbrecycling**
TECNOLOGÍA: RECICLAJE	
CATEGORÍA: Acopio-separación-tratamiento	
COSTO DE REFERENCIA	**EMPRESA**
Costo cero por la entrega de materiales especificados	**IN CYCLE ELECTRONICS INC.**
Costo cero por la entrega de materiales especificados	**TBS industrias Computer recicling specialists**

4.4 Fichas técnicas de las tecnologías alternativas para el tratamiento o disposición final de RSU, que incluyen la descripción de cada tecnología considerando: la capacidad, tipos de residuos a manejar, ventajas, desventajas y costos.

En éste apartado se presentan las tecnologías alternativas para el tratamiento o disposición final de RSU aplicables en México. Las fichas técnicas que se incluyen, son las opciones tecnológicas disponibles para procesar y disponer de manera controlada los RSU, considerando los diferentes aspectos que deben tomarse en cuenta para éste fin.

Cada ficha incluye la descripción de cada tecnología, el objetivo que se persigue con cada tecnología en particular, la capacidad, las características o tipos de residuos que son factibles de tratar, el proceso que describe cada tecnología, la aplicabilidad, ventajas y desventajas, así como costos de inversión, y los proveedores en méxico que ofrecen cada tecnología. los aspectos incluidos permitirán hacer una comparación de tecnologías para, en un momento dado realizar la selección de las mismas.

Cuadro 39. Tecnología: Selección. Categoría: Planta de Selección.

1. Tecnología: Selección
1.1 **Categoría: Planta de Selección**
Descripción
La selección es el sistema que permite la separación de los materiales valorables contenidos en los residuos. Las plantas de selección son instalaciones industriales en donde se procesan los residuos como si fueran una materia prima, llevando a cabo su separación, clasificación y comercialización. En estas instalaciones se efectúa la separación de materiales, desde los residuos sólidos, que pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de otros productos (reciclaje). Las plantas más utilizadas en la actualidad son aquellas que emplean separación manual, además de separación magnética para los metales férreos. En algunos casos, estas plantas cumplen una doble función, empleándose también como centro de acopio de materiales reciclables o estaciones de transferencia.
Objetivo
Recuperación de subproductos como papel, cartón, vidrio, plástico, metales ferrosos y no ferrosos, textiles, madera, aparatos electrónicos, electrodomésticos, alimenticios y otros, evitando su confinamiento y aprovechando su comercialización.
Capacidad
De acuerdo con la información recabada de las plantas de selección instaladas en México, se tiene que la capacidad de las plantas de selección es hasta 2500 ton/día.
Características Residuos a Tratar
Residuos Sólidos Urbanos recolectados en forma mezclada o separada
Principales Componentes de una Planta
Barda perimetral Control de acceso Patio o zona de descarga Fosa o tolva de alimentación Sistema de alimentación de residuos a las bandas de separación Estación o dispositivo para el control de los residuos alimentados a las bandas y para el retiro de voluminosos y apertura de bolsas Dispositivo para la separación de residuos orgánicos por tamaño de partícula Bandas de separación Dispositivo para paro de emergencia paralelo a las bandas de separación Contenedores para la recolección y traslado de subproductos Montacargas o equipos similares Pasillos o áreas laterales a las bandas para la separación manual de subproductos Salida del rechazo Zona de acondicionamiento y almacenaje de subproductos Trampas de sólidos en las descargas de aguas residuales Zona de carga de subproductos Sistema de ventilación con filtros para atrapar partículas suspendidas, y Sistema de control de incendios.
Localización y Necesidad de Espacio
Las necesidades de terreno en las plantas separadoras dependen en gran medida del espacio para almacenar los materiales que han sido separados y de sí cumplirá otra

función como por ejemplo servir de estación de transferencia. Una planta que sirva exclusivamente para separar materiales y que reciba aproximadamente unas 500 toneladas diarias requiere entre 1.5 y 2.0 Ha de terreno.
Las plantas de selección podrán ubicarse en predios localizados fuera de la traza urbana y a una distancia mínima de 500 m de la población. Dentro de la traza urbana, sólo podrán ubicarse en zonas o parques industriales.

Proceso

La separación de residuos sólidos urbanos inicia en una primera etapa con el proceso manual en los vehículos recolectores por parte de los operadores de estos vehículos, para posteriormente continuar en la plantas de selección o centros de acopio y finalizar en los sitios de disposición final.
La entrada en el proceso son los residuos recolectados en forma mezclada o separada, donde a través de un conjunto de maquinaria y mano de obra se obtienen subproductos factibles de vender a la industria del reciclaje.
Las plantas más sencillas son operadas por una gran cantidad de segregadores. Los residuos en estas plantas son depositados en patios para su separación y luego recogidos nuevamente los sobrantes. Una primera mecanización es la instalación de bandas transportadoras, en las que se pueden instalar electro imanes, sopladores, tanques y cribas que son separadores automáticos para algunas fracciones, estos sistemas trabajan con base en algunas de las propiedades de los subproductos como densidad, color, tamaño, etc.

Aplicabilidad

Obtención de subproductos factibles de vender a la industria del reciclaje.

Referencias de aplicación de proveedor:
IMABE IBERICA S.A: Naucalpan, Estado de México.
ECOFENIX : Boca del Rio Veracruz, México

Tiempo de Vida Útil

15 años

Ventajas	**Desventajas**
Reduce la cantidad de residuos a disponer. Recuperación de productos valorizables. Elimina actividades de pepena.	Altos costos de operación. Requerimientos de superficies muy grandes. Niveles de recuperación muy bajos (máximo del 12%).

Normatividad

NOM-AA-22: Protección al Ambiente-Contaminación del suelo – Residuos sólidos Municipales-Selección y Cuantificación de Subproductos.

Costo de Inversión

Costo de Adquisición : €1,500,000 no considera obra civil	Empresa **IMABE IBERICA S.A.**
Costo de Adquisición : US$1,300,000 no considera obra civil	**Ecofenix**

Cuadro 40. Tecnología: Compactación. Categoría**:** Alta Compactación con fleje.

2. Tecnología: Compactación
2.1 Categoría: Alta Compactación con fleje
Descripción
La compactación o densificación, es una operación básica que incrementa la densidad de los materiales residuales para almacenarlos y transportarlos eficazmente, mediante la reducción de su volumen. El pre-tratamiento de alta compactación es conocido también como la tecnología del "Relleno Seco". Con este procedimiento se aumenta la cantidad de los residuos depositados en el relleno sanitario y promete reducir los problemas ambientales y un mejor manejo de la disposición final.
Objetivo
Acelerar y facilitar el control de los residuos, optimizando su disposición final y aprovechamiento energético, a través de la reducción de su volumen.
Capacidad
Se recomienda para cantidades mayores a 400 toneladas de RSU por día.
Características Residuos a Tratar
Residuos Sólidos Urbanos en general.
Principales Componentes de una Planta
Cinta de alimentación prensa de residuos, prensa embaladora de residuos, central hidráulica, cinta de evacuación de escurrimientos, salida de pacas compactadas.
Localización y Necesidad de Espacio
NO APLICA
Proceso
El mecanismo controlado de compactación con ruedas y orugas consiste en equipo altamente especializado para conseguir alta compactación in situ. Así mismo, el mecanismo de empaque, es una alternativa que opera a altas presiones. En general entre más se logre la densificación de los residuos, será mejor desde el punto de vista ambiental y económico. Algunos procesos requieren adicionar agua para facilitar la operación ya que el peso específico bruto final de los residuos compactados, depende del peso específico inicial y de la humedad. Existen en el mercado prensas embaladoras de diferentes tipos verticales y horizontales para el prensado de desperdicios de papel, cartón, plástico, corcho, entre otros materiales, que ocupan un reducido espacio y se utilizan como recipiente para mantener limpio el lugar de trabajo, siendo además de muy fácil manejo y no precisan mantenimiento.
Aplicabilidad
Aprovechamiento energético de las pacas generadas. Relleno sanitario seco. Referencias de aplicación de proveedor: MABE IBERICA S.A: Madrid, España; Algarve, Portugal; Moscú, Rusia; Planta de Selección, Santa Catarina, Estado de México, México; Planta de Selección, Aragón México D. F. ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, SA DE CV : Dubai, Emiratos Arabes Unidos Carolina, Puerto Rico, Johannesburgo, Sudáfrica, Milano, talia,

Buenos Aires, Argentina.	
Tiempo de Vida Útil	
NO APLICA	
Ventajas	**Desventajas**
Tiene alta importancia económica, por la disminución de los costos en el transporte. Incrementa la vida útil de rellenos sanitarios. Permite almacenar residuos para incinerar	Requiere de alto consumo energético, mantenimiento, complejidad de operación, ruidos, olores y emisiones atmosféricas. En el manejo de los residuos sólidos urbanos mezclados y residuos que presenten dificultad para la compactación pueden disminuir la eficiencia de la técnica. Requiere de maquinaria especial para manipular las pacas el momento de la carga y descarga. Altos costos de insumos como el fleje para las pacas. En muchas ocasiones no se alcanza el peso volumétrico que los fabricantes estipulan.
Normatividad	
Sin normatividad aplicable	
Costo de Inversión	
Costo unitario compactador €670,000 Costo unitario alimentador de tablilla €108,000 Costo de montaje y puesta en marcha €165,000 Total €943,000	Empresas MABE IBERICA S.A.
Costo unitario compactador US$750,000	ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, SA DE CV

Cuadro 41. Tecnología: Compactación. Categoría**:** Alta Compactación con Película Plástica.

2. Tecnología: Compactación	
2.2 Categoría: Alta Compactación con Película Plástica	
Descripción	
La tecnología de alta compactación con película plástica, es un variante de la tecnología de alta compactación y se refiere a que una vez compactados los RSU, son envueltos en películas plásticas especialmente diseñadas para éste fin, las cuales tienen la función de evitar los escurrimientos de los RSU hacia el subsuelo y permite el almacenamiento de las pacas con fines de incineración.	
Objetivo	
Reducir el volumen de los RSU, evitando los escurrimientos en el subsuelo.	
Capacidad	
45 toneladas por hora considerando una operación continua de 20 horas	
Características Residuos a Tratar	
RSU	
Principales Componentes de una Planta	
Cinta de alimentación prensa de residuos, prensa embaladora de residuos, máquinas de empaque, central hidráulica, cinta de evacuación de escurrimientos, salida de pacas compactadas.	
Localización y Necesidad de Espacio	
NO APLICA	
Proceso	
Una vez realizada la compactación, las pacas de los residuos se envían a las prensas embaladoras o máquinas de empaque y son envueltos en películas plásticas especialmente diseñadas para éste fin. Posteriormente son almacenadas con fines de incineración o dispuestas en el relleno sanitario.	
Aplicabilidad	
Aprovechamiento energético de las pacas de los residuos. Relleno Sanitario Seco. Referencias de aplicación de proveedor: Biosoluciones Energéticas y Ambientales, S.A. de C.V: Italia, España, Francia, Andorra, Países Bajos, Suiza. Ecofenix: Boca del Río, Veracruz, México. Grupo GH: Houston, Lake, St. Luicie EUA; Río de Janeiro Brasil; Buenos Aires, Argentina; Holanda; Korea; Canadá.	
Tiempo de Vida Útil	
NO APLICA	
Ventajas	**Desventajas**
Tiene alta importancia económica, por la disminución de los costos en el transporte.	Requiere de alto consumo energético, mantenimiento, complejidad de operación,

Incrementa la vida útil de rellenos sanitarios. Permite almacenar residuos para incinerar	ruidos, olores y emisiones atmosféricas. En el manejo de los residuos sólidos urbanos mezclados y residuos que presenten dificultad para la compactación pueden disminuir la eficiencia de la técnica. Requiere de maquinaria especial para manipular las pacas el momento de la carga y descarga. Altos costos de insumos como el fleje para las pacas y la película plástica. En muchas ocasiones no se alcanza el peso volumétrico que los fabricantes estipulan. Se requiere de equipo especial adicional de embalaje. Existe un proceso lento de degradación, lo que implica mayor tiempo en el control del sitio y monitoreo.
Evita escurrimientos en el subsuelo. Evita vectores en los sitios de disposición final.	Incremento en los costos del proceso.
Normatividad	
Sin normatividad aplicable	
Costo de Inversión	
Costo /módulo: $ 33, 790, 711 L.A.B. México D.F. incluye: puesta en operación, capacitación y supervisión por el fabricante. Costo de montacargas $ 500,000	Empresas: Biosoluciones Energéticas y Ambientales, S.A. de C.V**.**
Costo modulo de compactación $ 22,000,000	Ecofenix
Costo unitario compactador US$850,000	Grupo GH
OBSERVACIONES	
Se recomienda para cuando se requiere transportar los RSU largas distancia y cuando existen sistemas de incineración que requieren material seco para alimentar su proceso.	

Cuadro 42. Tecnología: Compactación. Categoría: Compactadoras

2. Tecnología: Compactación
2.3 Categoría: Compactadoras
Descripción
Son prensas de cámara cerrada para compactar y reducir el tamaño de los RSU, conservando su estado gracias a un fleje de plástico (poliéster) y envuelta con película de plástico.
Objetivo
Reducir a un mínimo la cantidad de vacíos presentes en las pacas de residuos y disminuir así el espacio que ocupan y la humedad que contienen.
Capacidad
50 toneladas por hora considerando una operación continua de 20 horas
Características Residuos a Tratar
RSU
Principales Componentes
Constan básicamente de un cabezal compactador, o pala prensadora, accionado hidráulicamente y un contenedor. Estos dos elementos forman un conjunto solidario muy compacto y de una gran robustez.
Localización y Necesidad de Espacio
NO APLICA
Proceso
La pala móvil prensadora es accionada por medio de un sistema hidráulico, alojado en el lugar de carga y que actúa por la zona posterior de dicha pala, la cuál describe de movimientos alternativos desplazando los residuos vertidos en el espacio de carga hacia el recinto de compactación. Por acceso de dicho movimiento de vaivén de la pala prensora, los residuos se trasladan y compactan en el interior del contenedor dispuesto. Puede contener varios procesos adicionales como la selección manual y la separación completamente automatizada hasta el encapsulamiento de las pacas con plásticos, los cuales se pueden adaptar a las necesidades locales, a la variación de la cantidad y las propiedades de los residuos municipales.
Aplicabilidad
Empleadas para prensar materiales residuales o desperdicios, especialmente basuras compactables, minimizando la repercusión de incidencias medio ambientales y sanitarias por almacenamiento de dichos residuos en el interior de contenedores cerrados, evitando que recuperen su volumen original por elasticidad, así como su contacto atmosférico directo como control de molestias por desprendimiento de malos olores. Aceleran y facilitan el control de los rellenos sanitarios a través de la reducción del volumen de los residuos por su alta compactación. Si el área donde están instaladas las prensas empacadoras esta cerrada, se requiere de

un sistema de ventilación y contra incendio, así como un sistema de agua para el lavado periódico de los equipos. Referencias de aplicación de proveedor: ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, SA DE CV: Plantas de selección de bordo Poniente, D.F., México	
Tiempo de Vida Util	
NO APLICA	
Ventajas	**Desventajas**
Reduce los costos de manipuleo y transporte de materiales. Permite su almacenamiento y venta posterior de pacas de residuos específicos.	Alto costo de inversión. Origina escurrimientos de líquido, proveniente de la fracción orgánica de los residuos. Los residuos requieren ser separados meticulosamente.
Normatividad	
Sin normatividad aplicable.	
Costo de Inversión	
COSTO DE REFERENCIA Costo de adquisición $250,000	EMPRESA ACTION WASTE & RECYCLING SYSTEMS, SA DE CV

Cuadro 43. Tecnología: Compactación. Categoría: Estación de Transferencia con Sistema de Contenedores con Compactación.

2. Tecnología: Compactación
2.4 Categoría: Estación de Transferencia con Sistema de Contenedores con Compactación
Descripción
Una estación de transferencia es un conjunto de medios e instalaciones que permiten, de una manera estructurada y razonada, la descarga de los residuos recolectores de residuos sólidos urbanos que se utilizan en la recogida domiciliaria, la compactación de los residuos, la carga de los residuos compactados en contenedores cerrados, y su manipulación, traslado y vaciado en vertederos o centros de eliminación.
Objetivo
Reducir los costos de transporte de los residuos sobre grandes distancias, incrementando a su vez la cantidad de residuos transportados.
Capacidad
Los trailers de transferencia generalmente transportan una carga útil aproximada de 20 toneladas de residuos, y reciben un promedio de cinco a seis vehículos recolectores.
Características Residuos a Tratar
RSU
Principales Componentes
Entrada con zona buffer Balanza Plataforma de recepción Pozo de almacenamiento Equipo para mover residuos Equipos de compactación, generalmente compactadores estacionarios Sistema de captación y tratamiento de aguas
Localización y Necesidad de Espacio
La ubicación de la estación de transferencia, debe de estar lo más cerca posible del centro de las zonas de recolección, a fin de disminuir la suma de recorridos de las rutas de recolección hasta la estación.
Proceso
Los camiones recolectores descargan en la estación de transferencia y continúan con la recolección mientras que los residuos son introducidos y compactados en el interior de unos contenedores, que una vez llenos son transportados por camiones portacontenedores a la planta de tratamiento o vertedero. La compactación se realiza por medio de compactadores estacionarios o por equipos montados en el vehículo de transferencia. En el primer caso, la basura es colocada en el vehículo por la parte posterior de su caja, que tiene una puerta operada manual o hidráulicamente. Esta caja está acoplada a la prensa compactadora por medio de garras mecánicas.
Aplicabilidad

Transportar los desechos a gran distancia a rellenos sanitarios, plantas de incineración de basuras, instalaciones de compostaje y de reciclaje, etc.	
Tiempo de Vida Util	
NO APLICA	
Ventajas	**Desventajas**
Optimización de la recolección y transporte de los RSU. Disminución de los costos globales de transporte y de horas improductivas de mano de obra empleada en la recolección. Reducción del tiempo improductivo de los vehículos de recolección en su recorrido al sitio de disposición final. Aumento de la vida útil y disminución en los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores. Al compactar se evita la dispersión de residuos en su traslado al relleno sanitario.	Se requiere de mantenimiento con un alto costo del sistema hidráulico. Si falla el sistema no hay sistema alterno de operación.
Normatividad	
Sin normatividad aplicable	
Costo de Inversión	
COSTO DE REFERENCIA Costo de adquisición $5,000,000 no incluye obra civil	EMPRESA IMABE IBERICA S.A.

Cuadro 44. Tecnología: Triturado. Categoría: Astilladoras

4. Tecnología: Triturado
4.1 Categoría: Astilladoras
Descripción
Las astilladoras son equipos especializados para la obtención de biomasa con fines energéticos, pueden clasificarse de acuerdo a: su instalación, mecanismo de astillado, la forma de alimentación de la materia prima y la salida de astilla.
Objetivo
Obtener biomasa de los residuos sólidos urbanos con la finalidad de reducir su volumen y facilitar su aprovechamiento energético.
Capacidad
Dependiendo de la sección del cilindro, del caudal de la bomba hidráulica y de la presión máxima del sistema hidráulico, se define la capacidad de trabajo y la fuerza máxima de la astilladora. La fuerza aplicada puede variar entre 5 y 30 toneladas, pero se estima que se necesitan más de 10 toneladas en las astilladoras de tipo industrial. En un modelo con capacidad de empuje entre 10 y 12 toneladas es recomendable que el depósito de aceite hidráulico disponga, al menos, de 25 litros de capacidad. El retorno automático, en el momento en el que se alcanza el fin de carrera con el pistón, incrementa la capacidad de trabajo de la astilladora.
Características Residuos a Tratar
Residuos de poda
Principales Componentes
Las astilladoras de cuña, están formadas por un bastidor longitudinal sobre el que se posiciona el tronco o la rama que se quiere astillar, con un apoyo fijo en uno de los extremos y desplazable en el otro; el apoyo desplazable se mueve por la acción de un cilindro hidráulico. Se pueden establecer dos grupos en función de la posición que ocupa el tronco al ser astillado: horizontales y verticales. En las astilladoras de cuña: Para alimentar el cilindro empujador se utiliza un circuito hidráulico cuya bomba está accionada por la toma de fuerza, o por un motor térmico o eléctrico, aunque hay equipos diseñados para ser utilizados con el sistema hidráulico de un tractor. En las astilladoras de tornillo: El astillado es menos preciso que con las de cuña, por la propia concepción de estas máquinas. Son adecuadas para astillar tocones de poca longitud (parte de tronco que queda unida a la raíz cuando se ha cortado el árbol).
Localización y Necesidad de Espacio
NO APLICA
Proceso

En el caso de los bastidores en posición horizontal, la máquina se puede alimentar con cargadores o elevadores laterales que actúan con el principio del plano inclinado. En los bastidores verticales se necesita la alimentación manual.
El apoyo plano se encuentra en el lado del cilindro de empuje, mientras que en el opuesto está la cuña, que puede ser simple o doble en forma de cruz. De esta manera la leña astillada tiende a separarse del cuerpo de la máquina.
En las astilladoras de bastidor vertical el cilindro de empuje se sitúa en la parte de arriba y actúa sobre el elemento en cuña, mientras que el apoyo inferior es el plano. El apoyo inferior se puede ajustar, mediante pasadores, a distintos niveles, para adaptar la máquina a la longitud de los troncos o residuos a tratar.
Para fijar la posición, se colocan unos apoyos laterales que debe presionar el operador de la máquina, simultáneamente con un pedal, que pone en acción el cilindro empujador; si se deja de accionar el pedal, o un elemento equivalente, cesa la acción de empuje como medida de seguridad.
Las astilladoras de tornillo pueden ser mucho más simples. Son apropiadas para astillar grandes tocones de pequeña longitud (parte de tronco que queda unida a la raíz cuando se ha cortado el árbol), gracias a su baja demanda de potencia; se utiliza una plataforma de apoyo que ayuda a retener el tronco, e impide que gire durante la operación.
Son equipos potencialmente muy peligrosos, ya que al entrar el tornillo en el tronco éste tiende a girar a la vez que estalla, lo que puede dar lugar a la proyección de las astillas.

Aplicabilidad

Las astilladoras actúan sobre grandes bloques de madera para convertirlos en elementos más manejables, aprovechando la fisuración natural de troncos, ramas y raíces. Y pueden utilizarse para minimizar el volumen de los residuos de poda y facilitar su posterior tratamiento. Es conveniente que la cuña sea de acero extra duro, e intercambiable, lo que permite sustituirla cuando se desgasta, a la vez que utilizar tipos de cuñas diferentes, adaptadas a las características de los residuos que se está astillando.
Referencias de aplicación de proveedores:
VERMEER EQUIPMENT DE MEXICO: Planta de composta Bordo Poniente, D.F., México
KOMPTECH: Estados Unidos de América

Tiempo de Vida Util

NO APLICA

Ventajas	**Desventajas**
Reduce significativamente el volumen de los residuos de la poda. Facilitan el transporte de los residuos de la poda. Facilita la acción térmica o biológica en un proceso posterior de tratamiento o conversión de residuos. La astilla se incorpora a las pilas de composta como material de soporte.	Altos costos de mantenimiento para la maquinaria. Altos costos de inversión. Se requiere de equipo de protección debido a la proyección de astillas.

Normatividad

Sin normatividad aplicable

Costo de Inversión

COSTO DE REFERENCIA Costo de adquisición $1,1000,000	EMPRESA Vermeer Equipment de Mexico

Cuadro 45. Tecnología: Planta de Composta (tratamiento biológico aerobio). Categoría: Pila estática

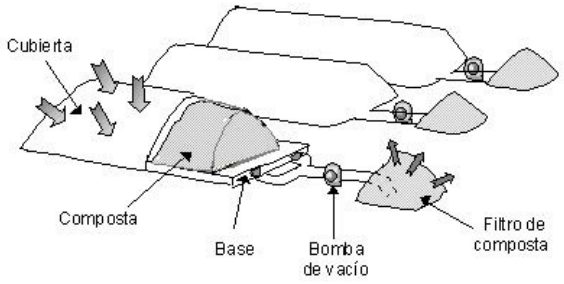
5. Tecnología: Planta de Composta (tratamiento biológico aerobio)
5.1 Categoría: Pila estática
Descripción
Estas plantas permiten reciclar los residuos orgánicos de origen municipal, comercial, industrial o agrícola, obteniendo un subproducto conocido como composta. La composta es el producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos. Es un material inodoro y estable que no representa riesgo sanitario para el medio ambiente natural y social. El proceso por el cual se elabora composta se ha denominado "compostaje". Las tecnologías para el compostaje son variadas y los productos finales también varían en su composición, color, textura, etc., según los residuos y el proceso que les dio origen. El sistema de pila estática aireada consiste en una red de tuberías de escape o aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica procesada de los residuos sólidos. Las alturas de las pilas son de 2 a 2.5 m. A menudo se coloca encima de la pila recientemente formada una capa de compost cribado para el control de olores. A cada pila se proporciona un inyector de aire individual para un control de la aireación y así también proporcionar el oxigeno necesario para la conversión biológica.
Objetivo
Reducir el volumen de los residuos y recuperar la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos para la obtención de composta.
Capacidad
La planta de composta de Bordo Poniente en México, recibe 120 ton/día de biomasa, y se producen 30 ton/día de composta (25% del ingreso).
Características Residuos a Tratar
Residuos de origen orgánico de tres tipos: provenientes de jardín, de ferias, de casa (cocina). Restos de podas, hojas y otros residuos de jardín se obtiene el compost de mejor calidad.
Principales Componentes de una Planta
Control de ingreso y pesaje Área o unidad de recepción de residuos y almacenamiento temporal Área o Unidad de separación de materiales reciclables o reutilizables, sólo en el caso de que no haya programas de separación previos. Área o bodega de materiales recuperados Área o Unidad de compostaje y maduración del material orgánico putrescible Sistema de tubos perforados, bomba de vacío, filtro de composta. Áreas de almacenamiento del producto final Áreas de almacenamiento temporal del material no compostable o de rechazo Áreas de Oficina, bodegas, talleres y comodidades para el personal Laboratorios Unidades de control de emisiones (olores, líquidos, material particulado)
Localización y Necesidad de Espacio
Referente a la localización se requiere de estudios técnicos orientados a determinar su viabilidad en la región de interés, para evitar problemas con el mercado de la composta.

Tomando en cuenta los datos de la planta de composta de bordo poniente en México, se tiene un requerimiento de espacio de 12000 m^2.

Proceso

Se depositan los residuos orgánicos en las áreas de recepción, posteriormente se realiza la separación de los materiales reciclables y se almacenan. Teniendo la fracción orgánica, se mezcla con un 50% de residuos de poda triturados, aquí los microorganismos (bacterias, hongos, virus) provenientes de los restos de seres vivos animales y vegetales, comienzan a trabajar con la ayuda del oxígeno y el proceso aeróbico comienza alcanzando temperaturas de hasta 70°C, muy importante porque en altas temperaturas es donde mueren los patógenos (pasterización), con rotación y volteo manual cada 15 días al cabo de tres 3 meses se obtiene un abono bioestabilizado (composta).

Las biopilas estáticas no necesitan mezclarse mecánicamente, ya que la aireación y homogeneización del calor en la composta se lleva a cabo por medio de un sistema de inyección (compresor) o extracción (vacío) de aire, mediante tubos colocados en la base alineados paralelamente a lo largo de la pila.



De acuerdo con las características del proceso de composteo, en la etapa inicial es necesaria una aireación eficiente (alto flujo de aire), debido a que en esta etapa existe una acelerada actividad microbiana. Este aumento en la actividad microbiana provoca un aumento en la demanda de oxígeno y un rápido aumento en la generación de calor metabólico, produciéndose temperaturas que se elevan hasta 50-60 °C. Sin embargo, generalmente durante el composteo de suelos contaminados adicionados con agentes de volumen, el estado termofílico usualmente no se logra, por lo tanto, la temperatura no excede a los 45 °C.

Después de un cierto tiempo la actividad microbiana disminuye, debido a que los componentes fácilmente biodegradables son consumidos. En esta etapa el requerimiento de oxígeno y la temperatura disminuyen gradualmente, por lo que la composta requiere una menor aireación. Se puede emplear un programa analógico que regule automáticamente la velocidad de flujo del aire en función de la temperatura que se registra en la composta.

Una vez que la pila se enfría y la temperatura dentro de ésta se aproxima a la temperatura ambiente, el periodo de composteo activo puede considerarse completo. Otras características que indican el éxito de un proceso de composteo, son el cambio en la textura y el olor de la pila en la etapa final. Al inicio del proceso se generan olores fuertes y desagradables, mientras que en la etapa final éstos desaparecen y el olor es parecido al de

tierra de jardín.
Finalmente la pila debe cubrirse con un material inerte (grava, aserrín, polietileno de baja densidad, entre otros).
Este proceso requiere de oxígeno (aeróbico) y agua en cantidad suficiente; genera cierta cantidad de calor (proceso exotérmico), bióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua. Los organismos implicados en el proceso son un conjunto de bacterias, hongos y microfauna.
Para asegurar la calidad agrícola y comercial del compost o de la composta resultante, debe controlarse el contenido de nutrientes y materias orgánicas, así como también la presencia de sustancias indeseables, en el material de partida.
Acondicionamiento de un área que sirva de base para la biopila, cuya dimensión dependerá de la cantidad de suelo a tratar.
Excavación del suelo contaminado. Se recomienda que antes de realizar esta actividad se lleve a cabo un estudio del sitio para conocer las características del suelo y del contaminante a tratar.
Acondicionamiento de la biopila. En esta fase, deben adicionarse los agentes de volumen, así como los nutrientes y agua necesarios. En algunos casos se recomienda la adición de microorganismos con capacidades metabólicas para degradar los contaminantes.
Instalación del sistema de aireación. En el caso particular de las pilas estáticas es necesario que antes de formar la pila, se instale el sistema de aireación sobre la base.

Aplicabilidad

Obtención de composta.
Generación de bonos de carbono.

El uso principal del compost sigue siendo el de enmienda o fertilizante en procesos agrícolas. Es también destacable la utilización de compost como sustratos para el cultivo en maceta.

Referencias de aplicación de proveedor:
BIOSISTEMAS SUSTENTABLES S.A. DE C.V: Nicolás Romero, Estado de México

GRUPO SINDER S.A. DE C.V: Delegación Miguel Hidalgo México D,F

Tiempo de Vida Útil

15 años

Ventajas	**Desventajas**
Permite la reutilización y reciclaje de un alto porcentaje de los residuos orgánicos. Disminuye volúmenes de residuos en rellenos sanitarios El proceso genera un producto que permite acondicionar suelos Potencial transformación de suelos estériles (arcillosos, arenosos) en suelos productivos Ayuda a disminuir emisiones de metano en rellenos sanitarios. Bajo costo de operación. No se requiere personal altamente calificado.	Se requiere de Estudios técnicos enfocados a evaluar la factibilidad y viabilidad en la región de interés. Potenciales problemas de generación de olores y lixiviados ante una mala operación. El proceso es sensible a la contaminación por presencia de materiales como plásticos y metales, por lo que es necesaria una separación cuidadosa. Se requiere de espacios muy grandes. Si no se lleva a cabo un programa de operación eficiente, habría una reducción en la operación de la planta.

Normatividad	
NTEA-006-SMA-RS-2006. Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos, publicada en el Periódico Oficial "Gaceta del Gobierno" del Estado de México el 9 de octubre del 2006.	
Costo de Inversión	
Costo por tonelada tratada $140 Costo por tonelada tratada $160	Empresa: Biosistemas sustentables SA de CV GRUPO SINDER S.A. DE C.V.

Cuadro 46. Tecnología: Planta de Composta. Categoría: Mecanizada Cubierta

5. Tecnología: Planta de Composta
5.2 Categoría: Mecanizada Cubierta
Descripción
Es una tecnología de pretratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos y de manejo especial. Combina la clasificación y tratamiento mecánico y el tratamiento biológico (aerobio y anaerobio) de la parte orgánica de los residuos. El tratamiento mecánico-biológico mejora las propiedades de los residuos, convirtiéndolos en material semi-inerte, mediante una amplia fase de estabilización antes de su disposición final.
Objetivo
Eliminar las contaminaciones tanto a la atmósfera (biogás) como al subsuelo (lixiviados). Reducir el volumen de los residuos.
Capacidad
320 toneladas día
Características Residuos a Tratar
RSU
Principales Componentes de una Planta
Control de ingreso y pesaje. Área de recepción de residuos. Equipo de trituración, compactación, separación. Sistema de tratamiento de lixiviados y gases. Unidades de control de emisiones. Cintas transportadoras. Área de material reciclado y producto final.
Localización y Necesidad de Espacio
Una planta de este tipo puede emplear el mismo espacio que un relleno sanitario.
Proceso
La fase mecánica es para acondicionar los residuos, los cuales son tratados en un tromel de homogenización. En este tromel se rompen las bolsas plásticas para que las bacterias tengan un mejor acceso y se agrega agua para la bioreacción. Generalmente se recurre a la compactación, trituración y clasificación de los residuos. Los fragmentos de valor caloríficos altos como plásticos son removidos para la recuperación de energía, y otros materiales son separados para el reciclaje. La fase biológica se refiere a la bioreacción aeróbica. En la bioreacción aeróbica (con oxigeno) la parte orgánica de los residuos se degrada con microorganismos aeróbicos, produciendo dióxido de carbono y vapor. Por el tipo de microorganismos la contaminación de los lixiviados es mínima. Este tipo de tratamiento biológico no tiene emisiones de biogás. Instalaciones para la captura y quema de biogás no son necesarias. Los lixiviados se capturan y almacenan para su reutilización en el tratamiento. En la bioreacción anaeróbica (sin oxigeno) la parte orgánica de los residuos se degrada con microorganismos anaeróbicos, produciendo biogás. Por el tipo de microorganismos la producción de biogás y lixiviados altamente contaminados son similares a los de un relleno

sanitario tradicional sin tratamiento alguno.	
Aplicabilidad	
Estabilización de la fracción orgánica para su disposición final. Aprovechamiento como composta. Aprovechamiento de biogás para la generación de energía (bonos de carbono). Referencias de aplicación de proveedor: GRUPO TAIME – WESSER: Alemania, España y Holanda.	
Tiempo de Vida Útil	
Mayor a 20 años	
Ventajas	**Desventajas**
El tratamiento mecánico facilita el aprovechamiento de los residuos. El tratamiento biológico reduce el volumen de los residuos. Requiere de espacios menores. Se puede construir en zonas industriales o urbanas.	Alto costo de inversión. Requiere mano de obra especializada.
Normatividad	
Sin normatividad aplicable	
Costo de Inversión	
Inversión: € 18.028 millones Costos operación: € 3.259 millones/año Costo composta: € 9.21/ton Ingresos: € 1.785 millones/año	Empresa: Grupo Taime - Wesser
Observaciones	
Se recomienda para ciudades con poco espacio.	

Cuadro 47. Tecnología: Biodigestión (tratamiento biológico anaerobio). Categoría: Digestión Anaerobia.

6. Tecnología: Biodigestión (tratamiento biológico anaerobio)
6.1 Categoría: Digestión anaerobia.
Descripción
Proceso de Fermentación-Oxidación desarrollada por medio de digestores y calor la fermentación de los Residuos Sólidos Municipales, sin enviar contaminantes al Medio Ambiente; eliminando la emisión de humos, olores, etc. Comercialmente se considera un proceso completamente limpio.
Objetivo
Generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de biogás. Producir la estabilización de la fracción orgánica contenida en los RSU, obteniendo como resultado del proceso un lodo digerido que puede ser utilizado como acondicionador agrícola.
Capacidad
NO APLICA
Características Residuos a Tratar
Fracción orgánica presente en RSU. Se necesita que estos sean previamente separados. También puede procesar lodos y residuos agrícolas.
Principales Componentes de una Planta
Sistema de control y acceso Sistema de pesaje Oficina administrativa Instalaciones para el personal Bodegas y talleres Patio de descarga Depósito de acopio Planta separadora Trituradora y sistema de alimentación del digestor Digestor Anaeróbico Depósito de lodo Sistema de alimentación de lodo Sistemas de salida de los efluentes del digestor Deshidratación del material sólido Almacenamiento Gasómetro para biogás
Localización y Necesidad de Espacio
Debe considerarse como una instalación de tipo industrial. Considerando los componentes clásicos de una planta de este tipo, se estima que para una instalación con capacidad para 1000 ton/día son necesarias entre 4 a 6 Ha.
Proceso
En esta planta, los RSU que entren, serán canalizados a un proceso de pretratamiento donde se seleccionarán los productos a recuperar, los rechazos y la materia válida para la digestión anaerobia. Luego se realizará un proceso de biometanización de esta materia para extraer biogás, con el cual se autoabastecerá la planta en sus necesidades energéticas, vendiendo el sobrante a la red eléctrica. El material digerido se someterá a

un proceso de maduración y afino de donde se sacará composta para ser comercializada y otra serie de residuos.	
Aplicabilidad	
Generación de energía eléctrica y producción de abono. Referencias de aplicación de proveedor: INTRASISO, S.A. de C.V: Estados Unidos de América INGENIERIA ALBATROS, S.A. DE C.V: Thonburi, Tailandia	
Tiempo de Vida Útil	
NO APLICA	
Ventajas	**Desventajas**
Reduce el volumen de residuos que va a disposición final. Producción de energía a partir de generación de metano Lodo generado puede usarse como mejorador de suelo.	Sólo trata la materia orgánica con pureza del 100% (sin presencia de inorgánicos). Tecnología más cara que el compostaje. Si falla el sistema no hay alternativa inmediata.
Normatividad	
Sin normatividad aplicable	
Costo de Inversión	
Costo Anual por Tonelada:US$38.00	Empresa: INTRASISO, S.A. de C.V.
Inversión: $174,000,000 Costo por tonelada $333	INGENIERIA ALBATROS, S.A. DE C.V.

Cuadro 48. Tecnología: Incineración. Categoría: Oxidación Térmica.

7. Tecnología: Incineración
7.1 Categoría: Oxidación Térmica
Descripción
La incineración es cualquier proceso para reducir el volumen y descomponer o cambiarla composición física, química o descomponer o cambiar la composición física, química o biológica de un residuo sólido, líquido o gaseoso, mediante oxidación térmica, en la cual todos los factores de combustión, como la temperatura, el tiempo de retención y la turbulencia, pueden ser controlados, a fin de alcanzar la eficiencia, eficacia y los parámetros ambientales previamente establecidos. La oxidación térmica, es uno de los métodos de control de emisiones más utilizado cuando la concentración de vapores orgánicos es generalmente 50% menor al límite inferior de explosividad.
Objetivo
Disminuir el volumen de los residuos pudiendo eventualmente generarse energía eléctrica mediante un aprovechamiento del calor o vapor producido por el sistema.
Capacidad
NO APLICA
Características Residuos a Tratar
Fracción orgánica de residuos sólidos domiciliarios, industriales o peligrosos. Dependiendo del poder calorífico que tengan los residuos domiciliarios es necesario un secado previo para llevar a cabo el proceso de incineración. Algunos sistemas requieren que los residuos sean acondicionados previamente (triturados, peletizados).
Principales Componentes de una Planta
Unidad de Recepción, pesaje y almacenamiento de los residuos Unidad de Pre-tratamiento o acondicionamiento de los residuos (Trituración, secado) Sistema de Alimentación(Por gravedad, mecánico o tornillo) Cámara de Combustión (Horno Rotatorio, Parrillas, Lecho Fluidizado) Cámara de Post Combustión Unidad de Extracción de cenizas y escorias Unidad de Refrigeración y Tratamiento de gases
Localización y Necesidad de Espacio
La localización de este tipo de plantas está restringida a áreas de tipo industrial. Una planta con capacidad para 100 ton de residuos al día requiere entre 1 y 2 Ha de terreno, mientras que una de 300ton/día necesitará entre 2 y 3 Há
Proceso
El sistema consiste en una cámara (recubierta en su interior por material refractario) en la que se encuentran algunos quemadores, los cuales son utilizados para calentar la corriente gaseosa hasta la temperatura necesaria para la oxidación de los compuestos, generalmente entre 700°C y 1,000°C. En algunos casos una porción del gas a tratar se utiliza en dichos quemadores para proporcionar el oxígeno necesario para la combustión. El combustible utilizado puede ser gas natural, propano o butano y su consumo puede ser disminuido mediante la utilización de sistemas de recuperación o generación de calor. El proceso de oxidación térmica es generalmente rápido (ocurre en menos de un segundo) aunque puede variar dependiendo de la temperatura y de las condiciones de mezclado en

cámara.
Aplicabilidad
1. Bonos de carbono 2. Indicar poder calorífico estimado de los gases generados y forma de aprovechamiento 3. Ingresos estimados por la venta de energía eléctrica 4. Ingresos obtenidos por la venta de agua caliente y/o vapor de agua Referencias de aplicación de proveedor: WASTE TO ENERGY ENVIRONMENTAL DE MÉXICO S.A. DE C.V: Japón, Toluca México. ENERGY AND ENVIRONMENT, INC: Europa, Asia, Latino América.
Tiempo de Vida Útil
NO APLICA
Potenciales Impactos Ambientales
Emisiones gaseosas (funcionamiento de planta) Ruidos (asociados al transporte de los residuos y no al funcionamiento propio de la planta) Emisiones Líquidas Residuo Sólido (cenizas)

Ventajas	**Desventajas**
Reduce el peso y volumen de los residuos (aprox.90% volumen) La reducción de los residuos es inmediata Es posible generar energía en forma de calor, agua caliente o electricidad. Cenizas residuales pueden ser recicladas como material de construcción Disminuye la cantidad de residuos que van a relleno sanitario	Altos costos de Capital Necesidad de efectuar una separación para reducir la materia orgánica a procesar. Algunos materiales requieren un secado previo para ser incinerados, como es el caso de los residuos sólidos domiciliarios. Emisiones de contaminantes al aire Desaprobación del público por emisiones producidas. Hay pérdida de subproductos valorizables.

Normatividad
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos. NOM-098-SEMARNAT-2002: Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
Costo de Inversión

Incineración: Costos de Inversión: $132 millones Costos de inversión: $ 550,000/Ton/día No se proporcionaron costos de operación	Empresa: **Waste to Energy S.A. de C.V. Environmental de México**

Cuadro 49. Tecnología: Gasificación (tratamiento térmico). Categoría: Plasma (Arco de plasma).

8. Tecnología: Gasificación (tratamiento térmico)
8.1 Categoría: Plasma (Arco de plasma)
Descripción
La gasificación es el proceso de descomposición de la materia orgánica a altas temperaturas en presencia de un agente gasificante, normalmente oxígeno, aire o vapor de agua. El producto es un gas combustible llamado gas de síntesis, un producto que puede ser empleado para producir combustibles, productos químicos o energía. El plasma es un gas que conduce la electricidad. Este plasma se puede producir mediante arcos eléctricos, antorchas de plasma y descargas de radio frecuencia. Se aplica para calentar, fundir y para lograr la síntesis de nuevos materiales. La gasificación por plasma es una tecnología avanzada y un proceso que constituye la eliminación de residuos sólidos y la conversión a productos comercialmente utilizables. El arco de plasma funciona como una secadora de cabello, donde los arcos eléctricos actúan como un elemento de calefacción y el aire empujado a través de este elemento se calientan alcanzando temperaturas mayores de 5000 °C. La llama que sale del arco se conoce como pluma de plasma. El arco de plasma puede ser utilizado en condiciones anóxicas (sin presencia de oxígeno) para la gasificación de los residuos y la creación de un gas de síntesis a partir de componentes orgánicos. También se puede utilizar para calentar los residuos inorgánicos provocando su fusión o vitrificación de cenizas a un material cristalino, también conocido como escoria.
Objetivo
Convertir un combustible sólido (biomasa, coque, carbón mineral) en un gas de alto valor energético. Reducir el volumen de los residuos convirtiéndolos en productos comercialmente utilizables.
Capacidad
NO APLICA
Características Residuos a Tratar
El proceso de gasificación es aplicable para una alimentación como la biomasa, carbón o basura. Los desechos deben ser secados hasta un nivel de humedad aceptable y procesados hasta lograr un tamaño y consistencia uniformes. Con este tipo de tecnología se procesan RSU, comerciales, madera, residuos industriales, líquidos orgánicos, llantas de hule. Excepto metal, vidrio, concreto. Residuos sólidos urbanos con una humedad no mayor al 20%, excepto vidrios y metales
Principales Componentes de una Planta
Unidad de Recepción y Separación de Residuos Unidad de Preprocesamiento (trituración, secado de residuos) Unidad de Gasificación Unidad de Limpieza del Gas Combustible(Syngas) Unidad de Recirculación Unidad de Combustión
Localización y Necesidad de Espacio

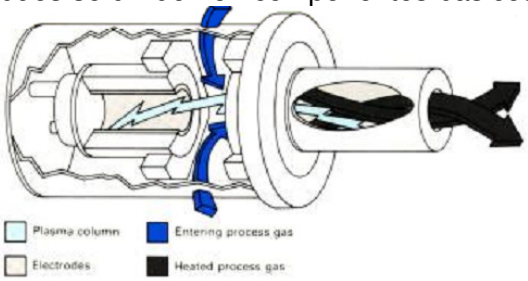
Se debe localizar en zonas de actividad industrial exclusiva. El espacio requerido por las plantas en operación (piloto/demostrativas para residuos domiciliarios), está entre las 2 y 3 Ha.

Proceso

La gasificación es un proceso que ocurre en un ambiente con oxígeno controlado y da lugar a una reacción química diferente. El proceso de gasificación consta de tres etapas básicas: el secado y la gasificación.
Las reacciones de gasificación se inician cerca del fondo del reactor termoquímico donde se alimenta el combustible. Los rangos de las temperaturas son 700-1500℃, dependiendo del tipo de alimentación y la calidad del gas de síntesis deseada. El gas producido en el reactor sale por parte superior y posteriormente es enfriado y purificado dependiendo los requerimientos de uso futuro. Un agente gasificante es aquel que una vez que entra en contacto con la materia prima (biocombustible) reacciona y produce un gas de síntesis. Dependiendo de la especificación del gas producto de la gasificación se introducen: oxígeno, aire, vapor o dióxido de carbono, generalmente por la parte baja del reactor.
Los subproductos del proceso de gasificación son:
Gas combustible: un gas combustible limpio, que puede ser filtrado para eliminar las impurezas, éste gas suele utilizarse para generar electricidad. Parte de este gas también se utiliza para alimentar el proceso térmico.
Sólidos (escoria): un subproducto que puede incluir también un flujo de líquido, con potencial uso en la industria de la construcción.

Este es un proceso no-incinerativo, térmico que utiliza temperaturas extremadamente altas en un entorno de ausencia de oxígeno para descomponer completamente el material de desecho de entrada, en moléculas muy simples.
Es un proceso térmico que tiene lugar en un entorno de falta de oxígeno. Mediante la aplicación de calor intenso a los materiales en la presencia de cantidades pequeñas y controladas de oxígeno, los residuos se descomponen en moléculas más simple y luego se recombinan en un gas rico en energía de síntesis. Este proceso es muy superior a las emisiones de la incineración, porque no se liberan en la atmósfera y el gas de síntesis producido es rico en energía y es un combustible eficiente para la creación de energía eléctrica con motores de gas o turbinas de gas.
En general, la gasificación ocurre entre los 4000 ℃ (Zona de Plasma) y los 1700 ºC (Temperatura máxima de salida del gas de síntesis).

La corriente eléctrica de alta tensión se pasa entre dos electrodos espaciados entre sí, creando un arco eléctrico. Un gas inerte pasa a presión a través del arco, alcanzando temperaturas de 13,900 ℃ en la columna del arco. La temperatura cerca de la antorcha oscila entre los 2,800 y 4,400 ℃. A estas temperaturas, la mayoría de los tipos de residuos se dividen en componentes básicos elementales en forma gaseosa.



El reactor funciona a una presión ligeramente negativa, lo que significa que el sistema de

alimentación se completa con un sistema de eliminación de gases y sólidos. Dependiendo de la entrada de los residuos los productos pueden ser removidos como gas de síntesis que puede ser refinado en diversos combustibles en una fase posterior.

Aplicabilidad

Generación de energía eléctrica.
Obtención de combustibles y productos químicos.
Escoria con potencial uso en la industria de la construcción.
Aprovechamiento de bonos de carbono.

Referencias de aplicación de proveedor:
TM TECNOSILICATOS DE MÉXICO S.A. DE C.V.: Alemania.

El producto principal del proceso es un gas, conocido como gas de síntesis, que puede utilizarse, entre otros, para la producción de energía, hidrógeno y en un producto inerte de material vítreo, conocido como escoria.
Aprovechamiento de bonos de carbono.

Referencias de aplicación de proveedor:

CLEENMAIN SA DE CV: Japón

Tiempo de Vida Útil

NO APLICA

Ventajas	**Desventajas**
Admite sólidos y líquidos. Las emisiones y la toxicidad de lixiviados es mucho menor comparada con la incineración. Mejora la calidad de vida de los trabajadores del medio. Residuos finales utilizables. No hay alquitranes o furanos. Residuos finales utilizables. Generación de un gas combustible (syngas) y alcohol combustible (etanol), con los que se puede producir energía. Disminuye la cantidad de residuos que van a relleno sanitario. El gas producido puede usarse para los mismos propósitos que el gas natural. Produce calor y vapor con aprovechamiento en generación de energía eléctrica. Produce un combustible relativamente libre de impurezas.	Altos costos de inversión Requiere de energía para operar Requiere de sistema de depuración de emisiones que incrementan los costos de inversión. Se requiere de un pretratamiento de los residuos de vidrio y metales que se pueden incluir, ya que restan eficiencia al proceso. Producción de alquitranes. El gas producido debe ser tratado para remover los contaminantes antes de ser combustionado. Cuando hay residuos inorgánicos, el costo de inversión en los sistemas de limpieza del gas, se incrementan.

Normatividad

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos.
NOM-098-SEMARNAT-2002: Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.

Costo de Inversión	
N/D	Empresa: TM Tecnosilicatos de México S.A. de C.V.

Cuadro 50. Tecnología: Gasificación (tratamiento térmico). Categoría: Vitrificación por Plasma.

8. Tecnología: Gasificación (tratamiento térmico)	
8.2 Categoría: Vitrificación por Plasma	
Descripción	
La vitrificación es el proceso en el que los componentes inorgánicos tales como los silicatos se funden en un líquido viscoso que atrapa metales pesados en una matriz sólida, una vez solidificado.	
Objetivo	
Estabilizar y reducir los residuos a materiales inertes y con valor agregado.	
Capacidad	
NO APLICA	
Características Residuos a Tratar	
Puede procesar cualquier tipo de desecho incluyendo líquidos.	
Principales Componentes de una Planta	
Alimentación eléctrica Reactor intercambiador de calor Sistema de depuración de gases Sistema de alimentación y recirculación de agua Sistema de medición y control	
Localización y Necesidad de Espacio	
NO HAY DATOS AL RESPECTO	
Proceso	
El proceso de vitrificación convierte los componentes inorgánicos en una roca sólida que no se filtrará y por lo tanto puede ser utilizado como material de construcción. La vitrificación de gasificación de plasma (PGV) es la forma más eficaz de disociar por completo todos los componentes (orgánicos e inorgánicos) en sus componentes elementales para la recuperación y el reciclado. El sistema consiste principalmente en un reactor de plasma que puede albergar una o más antorchas de plasma de arco. Al pasar una corriente entre el ánodo y el cátodo de la antorcha de plasma y al mismo tiempo paso de aire en el espacio anular de la antorcha, un entorno de temperatura extremadamente alta, se crea un rango de temperatura de 5,000 ℃ y 10,000 ℃.	
Aplicabilidad	
Fabricación de productos abrasivos, como aislante (lana mineral) o relleno de las bases de carreteras Referencias de aplicación de proveedor: GRUPO USVAC, S.A. DE C.V: España	
Tiempo de Vida Útil	
NO APLICA	
Ventajas	**Desventajas**
No hay alquitranes o furanos. No requiere de pretratamiento de los	Requiere de energía para operar. Requiere de sistema de depuración de

residuos. Admite sólidos y líquidos. Mejora la calidad de vida de los trabajadores del medio. Residuos finales utilizables. Eliminación de residuos confinables.	emisiones que incrementan los costos de inversión.
Normatividad	
Sin normatividad aplicable considerando que no es una tecnología incinerativa.	
Costo de Inversión	
N/D	Empresa: Grupo Usvac, S.A. de C.V.

Cuadro 51. Tecnología: Pirólisis (tratamiento térmico). Categoría: Separación por pirólisis.

9. Tecnología: Pirólisis (tratamiento térmico)
9.1 Categoría: Separación por pirólisis
Descripción
La pirólisis es un proceso alternativo a la incineración que consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno u otros agentes gasificantes.
Objetivo
Convertir un combustible sólido (biomasa, coque, carbón mineral) en un gas o líquido que puede ser usado como combustible.
Capacidad
NO APLICA
Características Residuos a Tratar
Este tipo de plantas opera con los siguientes tipos de residuos: Lodos deshidratados Plásticos Triturados Residuos Agrícolas Residuos Municipales de origen orgánico seleccionados: residuos de cocina, pulpa de papel y residuos de jardines Molienda de los residuos sólidos urbanos y secado durante 24 horas a 110°C
Principales Componentes de una Planta
Los principales componentes de una planta de pirólisis son: Unidad de Recepción de Residuos Unidad de Preprocesamiento y Selección de residuos Reactor de Pirólisis Sistema de Recirculación Unidad de limpieza o lavado de líquido combustible (combustible pirólisis) Sistema de Combustión y Generación de Energía (Vapor o Electricidad)
Localización y Necesidad de Espacio
Se considera una localización similar que para las plantas incineradoras es decir, en zonas destinadas exclusivamente a la actividad industrial. El espacio requerido es de 2 a 4 hectáreas, aunque estos valores corresponden a plantas piloto ya que no existen plantas con capacidad industrial en operación.
Proceso
La pirólisis es una serie de complejas reacciones químicas, que se inician cuando un material es calentado (entre 400°C – 800°C), en ausencia de oxígeno para producir una mezcla de vapor (condensable o no condensable) y residuos sólidos. El calor rompe las moléculas del residuo, convirtiéndolo en líquido o gases, que pueden ser usados como combustibles. En el proceso se obtienen tres grupos de productos que dependen de las propiedades del residuo tratado, la temperatura, el tiempo y presión de operación. El primer grupo es el hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos (gas de síntesis). El segundo son

líquidos hidrocarburazos (alquitranes y aceites) que tienen un elevado potencial energético. Y el tercero son los residuos sólidos carbonosos (RSC) que contienen el carbono fijo y los inertes del combustible. Este residuo contiene potencial energético pudiendo utilizarse para la producción de carbón activo. Cada uno de estos productos aparece a temperaturas distintas 150 a 900°C. Una variante de la pirólisis es la llamada pirólisis flash, que se realiza a través de un rápido aumento de la temperatura hasta los 1000°C. Reproduce la gasificación total de los residuos orgánicos tratados.
Aplicabilidad
Bonos de carbono Ingresos estimados por la venta de energía eléctrica Ingresos obtenidos por la venta de agua caliente y/o vapor de agua Referencia de aplicación de proveedor: CONSTRUMEX INDUSTRIAL S.A. DE C.V: Ojo caliente Zacatecas, Jiquilpan Michoacán. RICHWAY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES LTP SIMPSA INGENIERÍA S.A. DE C.V: China RECYCLED ENERGY CORPORATION, GRUPO SOLUCIONES TÁCTICAS, S.C: Japón
Tiempo de Vida Útil
NO APLICA

Ventajas	**Desventajas**
Potencial uso de residuos para generar combustibles y energía eléctrica. Disminución de la cantidad de residuos que van a relleno sanitario.	Cenizas con potenciales características de residuo peligroso. Tecnología no desarrollada para Residuos Domiciliarios Plantas existentes sólo a escala piloto o de demostración.

Normatividad
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos. NOM-098-SEMARNAT-2002: Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.

Costo de Inversión	
Inversión: US$ 7,000,000	Empresa: Construmex Industrial S.A. de C.V.
N/D	Richway Environmental Technologies LTP SIMPSA Ingeniería S.A. de C.V.
N/D	Recycled Energy Corporation, Grupo Soluciones Tácticas, S.C.

Cuadro 52. Tecnología: Pirólisis. Categoría: Termólisis.

9. Tecnología: Pirólisis
9.2 Categoría: Termólisis
Descripción
Es una forma de reciclaje terciario que consiste en la descomposición térmica o termólisis, aplicada comúnmente en el reciclaje de los polímeros; si éste se lleva a cabo en ausencia de aire, se llama pirólisis, si la descomposición térmica se lleva a cabo con una concentración limitada de oxígeno, el proceso se llama gasificación. La Termólisis o Fusión es un sistema basado en el concepto de valoración energética de los residuos sólidos; incluyen instalaciones que transforman en 99% todos los polímeros que producimos (urbanos, industriales) en gas LP, combustible diesel y carbón industrial que puede ser utilizado para alimentar la instalación propiamente dicha, producir energía y/o ser utilizada en vehículos de combustión interna; además de estos productos se produce una materia inerte (granulados que pueden utilizarse en la construcción).
Objetivo
Aprovechar el valor energético de los residuos.
Capacidad
NO APLICA
Características Residuos a Tratar
RSU
Principales Componentes de una Planta
Localización y Necesidad de Espacio
Las instalaciones son modulares y sus dimensiones se adaptan a las necesidades del usuario, estas plantas pueden ser ubicadas dentro del casco urbano ya que no producen emisiones como olores, ruidos y humos, por lo tanto, se optimiza la recolección de residuos reduciendo así los costos de la misma.
Proceso
Los residuos sólidos se colocan en un compactador que los reduce hasta sólo un diez por ciento de su volumen original (una densidad de 2,000 kg/m3), sin separación ni tratamiento previo. Con una fuerza de compresión de 1,000 toneladas los residuos se forman en tapones impermeables al gas y se introducen a presión en un canal de extracción de gases para luego ser sometidos a un proceso de calentamiento a temperaturas que alcanzan los 2,000 ℃, que permite separar los componentes orgánicos e inorgánicos para obtener, primordialmente, gas y materias primas minerales. Estas condiciones permiten simular las condiciones del centro de la tierra para producir una fusión, en la cual, ningún tipo de material comúnmente hallado en los residuos pasa inalterado. El gas de síntesis se somete a limpieza total en varias etapas, recuperándose sales industriales, azufre y agua pura. El gas puede ser utilizado para generar energía, así de cada tonelada de basura se obtienen más de 400 Kw. El proceso no permite la reformación de compuestos orgánicos, la formación de óxido de azufre - ozono por las características que este sistema particular posee, sin que para esto se requieran filtros de control. Entre los metales y minerales resultantes del proceso, se destaca un granulado mineral que, mezclado con asfalto, se puede usar en la pavimentación de calles. Todos

son reutilizables y quedan nuevamente a disposición de la industria metalúrgica. Del tratamiento de una tonelada de basura, con la utilización de 500 kg. de oxígeno, se obtiene los siguientes elementos, sin la necesidad de tratamientos posteriores: 890 kg de gas de síntesis (poder calorífico: 7,2 a 8,6 mj/m3). 350 kg de agua (utilizable como refrigerante). 230 kg de granulados minerales para la construcción. 29 kg de granulados metálicos para la metalurgia. 10 kg de sales (cloruro de sodio calidad industrial) 3 kg de metales pesados concentrados. 2 kg de azufre de calidad industrial	
Aplicabilidad	
Generación de energía. Referencias de aplicación de proveedor: BIO ENERGY S.A. DE C.V., COOPERACIÓN INTEGRAL DE MEDIOAMBIENTE S.A. DE C.V. (CIMSA): Alemania.	
Tiempo de Vida Útil	
NO APLICA	
Ventajas	**Desventajas**
No se presenta un impacto ambiental significativo. No produce olores ni ruido. Demanda baja disponibilidad de espacio. Los productos que genera pueden ser reutilizados en la industria. Menor costo de tratamiento por tonelada. No produce sustancias dañinas (dioxinas, furanos y metales pesados) en altas concentraciones. Garantiza la destrucción total de dioxinas y otros compuestos orgánicos sin producir cenizas, escorias o polvos de filtración.	Fundamentalmente elevados costos de adquisición y mantenimiento
Normatividad	
Disposiciones de la LGPGIR y su Reglamento Aplicables a la Incineración. La NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes, en su introducción –referida textualmente a continuación- establece claramente que sus disposiciones aplican a los incineradores de todo tipo de residuos y que, en tanto que fuentes potenciales de liberación al ambiente de dioxinas y furanos, están sujetos al cumplimiento de las obligaciones que derivan del Convenio de Estocolmo.	
Costo de Inversión	
Costo de inversión: US$99,200,000 millones/módulo Costo de inversión total (2 módulos): US$160,000,000 Costo de operación por tonelada:$444.2	Empresa: **Thermólisis de América, S.A. de C.V.**

Cuadro 53. Tecnología: Relleno Sanitario. Categoría: Relleno Covencional.

10. Tecnología: Relleno Sanitario
10.1 Categoría: Relleno convencional
Descripción
Un relleno sanitario es una obra de infraestructura que aplica métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los Residuos Sólidos Urbanos, con el fin de controlar a través de la compactación e infraestructuras adicionales, los impactos ambientales. Los rellenos sanitarios sin tratamiento también se conocen como tradicionales, de estos sobresale el Relleno Sanitario Manual que reduce las medidas de protección cuando existe un ingreso pequeño de residuos.
Objetivo
Confinar los residuos sólidos urbanos en el suelo, en condiciones controladas, con el fin de minimizar los efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud de la población.
Capacidad
Más de 10 ton/día
Características Residuos a Tratar
RSU
Principales Componentes
Los rellenos sanitarios tienen estructuras que protegen el agua subterránea y superficial, el suelo, la atmósfera y las actividades humanas cercanas. La Norma NOM-083-SEMARNAT-2003, describe ampliamente las especificaciones para los rellenos sanitarios y sus componentes, como son: Impermeabilización: Esta es una de las restricciones más importantes, ya que garantiza la protección del agua subterránea. El valor mínimo del coeficiente de conductividad hidráulica es de 1x10-7 cm/s, que equivale a que el agua se tarde en atravesar la barrera impermeable 31.7 años. Esto se puede lograr de forma natural o artificial. Control de los residuos en la disposición: Con caseta de control y báscula se controla la recepción de residuos, y en el frente de trabajo se supervisa que no se depositen residuos peligrosos. También se exige un grado de compactación mínimo según la clasificación del relleno. Cobertura: Representa el sello por encima de los residuos. Este debe de aplicarse diario ya que con esto se disminuye la creación de vectores (moscas, ratas, etc.) además de disminuir la cantidad de agua atmosférica (lluvia y otras precipitaciones) que se pone en contacto con los residuos. Control de aguas pluviales y lixiviado: Con el desarrollo de obras se evita el ingreso de agua pluvial al relleno sanitario y la salida de agua contaminada fuera de este. En ocasiones se incluye una planta de tratamiento de lixiviados. Control de biogás: Son obras que permiten el flujo de biogás de forma controlada; si no existe aprovechamiento de este se tiene que realizar la conversión a bióxido de carbono que es menos impactante que el metano. Barrera de amortiguamiento: Es una distancia mínima de 10 m a la redonda del límite del

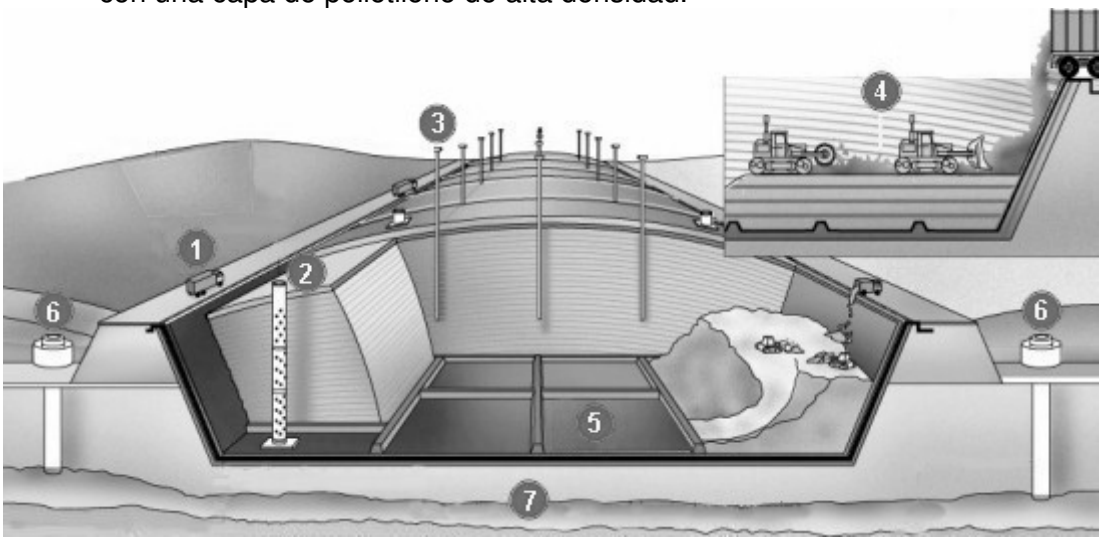
predio de los rellenos, donde se debe dejar un espacio libre de residuos y acondicionado con diferentes obras que permitan limitar los impactos: esto es, que los contaminantes se queden dentro del relleno.

Otras instalaciones: caminos interiores/exteriores, subestación eléctrica, área de administración y servicio, caseta de vigilancia, caseta de pesaje, almacén y patio de maniobras, laboratorio, área de emergencia, estacionamiento, pozos de monitoreo.

Localización y Necesidad de Espacio

Localización:
La selección del sitio requiere de estudios previos: La primera precaución para instalar un relleno sanitario, es en un sitio donde los riesgos de afectación ambiental sean mínimos. Considerando los puntos de vista ambiental, de construcción, de operación, económico y de aceptación social.
Para ello es recomendable que el proceso de selección se realice a través de reuniones de consulta pública en donde participen todos los grupos sociales interesados en el tema, incluyendo a la autoridad estatal
Espacio para:

1) Forma de llenado: El área se divide en módulos. Los camiones circulan por terraplenes hasta el módulo que se está llenando.
2) Eliminación de gases: La descomposición de basura produce gases, principalmente metano, que se eliminan por venteo.
3) Extracción de líquidos: Deben ser retirados para recibir tratamiento.
4) Cobertura de los desechos: La basura debe ser tapada cada día con una capa de tierra compactada de 20 cm.
5) Modulo limitado por una pared de arcilla.
6) Pozos de control de napas: Permiten tomar muestras aguas arriba y aguas abajo, según el escurrimiento de las napas.
7) Impermeabilización: El relleno debe estar perfectamente aislado para evitar que la filtración de líquidos contamine las napas. Para eso la base del relleno se cubre con una capa de polietileno de alta densidad.



Consideraciones:
Altura de la celda 1.8 - 3.3 m.
Espesor capas compactadas de residuos 0,40 - 0,75 m
Espesor capa de recubrimiento diario 0,15 - 0,30 m

Espesor final de cobertura 0.6 - 1.0 m.
Altura del relleno hasta 12 m.

Proceso

Con esta tecnología se coloca la basura en celdas o en capas compactadas, cubiertas con tierra arcillosa, utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogeneización y compactación. Antes de llenar el sitio de esta manera, se prepara el suelo del futuro relleno para evitar a lo máximo la infiltración de líquidos lixiviados en el suelo. Es posible usar una geomembrana, que es una lámina de plástico de alta densidad que funciona como una olla, o se compacta el suelo existente que debe de ser de tipo arcilla o tepetate lo que cuenta con un factor alto de protección y una baja permeabilidad. Al mismo tiempo se construyen obras adyacentes de control y monitoreo como pozos de venteo, de observación del agua subterránea e instalaciones para la recolección y tratamiento de los lixiviados.

Una vez que el terreno está asignado y los componentes principales del relleno sanitario están construidos y la operación autorizada, los RSU de la población se colectan registrando cada descarga y la disposición se realiza de acuerdo a un manual de operación, que contiene lo más sustancial de la operación del relleno sanitario.

Los residuos sólidos son descargados y desplazados por un buldózer hacia la celda en construcción, la basura se esparce en forma homogénea en capas delgadas de máximo 30-40 cm y se compacta. El tractor compactador debe pasar de 2 a 4 veces, en bandas paralelas a manera de compactar toda el área de residuos extendidos hasta obtener una superficie uniforme. Esta operación se repite sobre cada capa hasta obtener la altura recomendada de la celda.

Una vez terminada la celda diaria, se cubre con una capa de tierra de 10 a 15 cm, se compacta siguiendo el mismo procedimiento con la basura a manera de cubrir entera y uniformemente los residuos para impedir la dispersión de materiales ligeros y evitar la proliferación de fauna nociva.

Se debe esperar de 2 a 3 meses para construir nuevas celdas sobre las anteriores para favorecer la descomposición aeróbica, la cual es más productiva que la anaeróbica y para acelerar el asentamiento del relleno, proporcionado un mejor soporte para la construcción de una celda superior.

Con el paso del tiempo el residuo sólido se descompone, una parte se transforma en gas, otra en líquido y sobra el material semi-inerte. El suelo de la cobertura y la humedad penetran en los espacios vacíos que se generan en los residuos, condensando el relleno a una densidad especifica de 0.7 a 0.8 t/m^3 provocando asentamientos. Después de dos años el proceso de generación de asentamientos se reduce y prácticamente desaparece a los cinco años.

Aplicabilidad

Los rellenos sanitarios son aplicables a la mayoría de los residuos sólidos de naturaleza urbana, industrial o peligrosa, con las debidas precauciones inherentes a su naturaleza.

Ciertos tipos de residuos sólidos requieren un tratamiento especial en su disposición, como son los animales muertos, llantas, colchones, escombros, residuos de matadero y de hospital. Otros pueden aprovecharse ventajosamente dentro del relleno y deben separarse.

Aprovechamiento de biogás.

Se debe tener en cuenta los recursos financieros y técnicos adecuados para su planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

Visualizar las dimensiones requeridas del terreno para construir un relleno sanitario en función de la cantidad de residuos sólidos urbanos generados por la población en

domicilios, comercios e industria local y la cantidad de éstos que se depositarán en el sitio.
Realización de estudios y análisis geológicos, hidrológicos, topográficos, geotécnicos, de generación y composición de los residuos, biogás y lixiviados.
Adicionalmente, se tienen que realizar las siguientes operaciones y medidas, las cuales se deben continuar por lo menos hasta 25 años después de la clausura del relleno sanitario:
Captación, extracción y tratamiento de biogás
Monitoreo de biogás
Captación, tratamiento y disposición final del lixiviado
Monitoreo de lixiviado
Captación de aguas pluviales
Monitoreo de acuíferos

Referencias de aplicación de proveedores:
• Promotora Ambiental S.A. de C.V.: Cuernavaca, México; León, México; Guadalajara, México; Culiacán, México; Villahermosa, México; Torreón, México
• PROACTIVA Medio Ambiente México: Tlalnepantla, México; Naucalpan, México; Querétaro, México; Jalapa, México; Córdoba, México; Tuxtla Gutiérrez, México; Mérida, México

Tiempo de Vida Util

El período mínimo de vida útil del relleno sanitario en el terreno seleccionado debe ser mayor o igual a 5 años para poblaciones menores de 20 000 habitantes y para poblaciones mayores de 20 000 habitantes debe ser hasta y/o mayor de 10 años.

Ventajas	**Desventajas**
Tiene bajo costo de operación. Hay presencia a nivel nacional para su aplicación (diseño, construcción y operación).Se evita la contaminación del suelo, aire y agua provocada por la mala disposición de la basura en los tiraderos a cielo abierto. Se mejoran las condiciones de salud de la población, al eliminar posibles fuentes de infección transmitidas por fauna nociva. Se disminuyen los riesgos de incendio y explosiones en los tiraderos existentes. Se mejoran las condiciones de la localidad (paisaje), lo que puede hacerla más atractiva para la inversión y para los turistas.	Los rellenos sanitarios ubicados en áreas urbanas pueden provocar oposición pública extrema. Se pueden contaminar aguas y otros recursos, si no se toman las medidas de manejo ambiental adecuadas. El metano, un gas explosivo, y otros gases de la descomposición de los residuos pueden convertirse en un peligro o molestia e interferir con el uso del relleno sanitario terminado. Los espacios requeridos en áreas urbanos son difícil de conseguir.

Normatividad

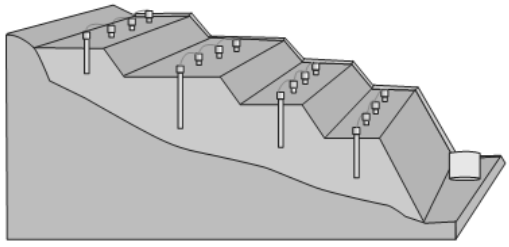
NOM-083-SEMARNAT-2003: Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Costo de Inversión

COSTO DE REFERENCIA DE OPERACIÓN DEL SECTOR PÚBLICO CON UN ALTO VOLÚMEN DE RESIDUOS TIPO A (NOM-	EMPRESA Promotora Ambiental S.A. de C.V. PROACTIVA Medio Ambiente México

083-SEMARNAT-2003) $81.00	

Cuadro 54. Tecnología: Relleno Sanitario. Categoría: Aprovechamiento de Biogás.

10. Tecnología: Relleno Sanitario
10.2 Categoría: Aprovechamiento De Biogás
Descripción
El aprovechamiento de biogás es un sistema de recuperación en un relleno sanitario convencional o metanogénico, complementado con equipo para producir energía. El biogás es una mezcla de gases, principalmente el bióxido de carbono CO2 y el metano CH4 que es el principal combustible. Para su aprovechamiento son posibles dos opciones: la combustión del biogás y la depuración del metano. El primer caso es el más empleado, sin embargo la limpieza del metano para convertirlo en gas natural puede ser una opción real si el relleno o la planta están ceca de una zona industrial.
Objetivo
La producción del biogás en rellenos sanitarios permitiendo su aprovechamiento y transformación en energía.
Capacidad
Características Residuos a Tratar
Es necesario que los residuos depositados incluyan materia orgánica y que las condiciones de su descomposición puedan llegar a ser anaeróbicas.
Principales Componentes
Una vez generado el biogás, su obtención se lleva a cabo mediante sistemas de desgasificación, los cuales se componen de tres elementos principales: sistema de captación de gases, conducción y control, y transporte. Sistema de biogás: pozos de extracción, tuberías colectoras, de conducción y control, bombas de vacío, condensación y filtrado, alimentación a motogeneradores y quemado de excedentes. Generación de energía eléctrica: motogeneradores modulares, equipos de control, transformadores eléctricos, subestación eléctrica. Otras instalaciones: depósitos, tanques.
Localización y Necesidad de Espacio
La localización y necesidad de espacio está en función de la zona del relleno sanitario en el que se aprovechará el biogás. En cada relleno sanitario varía la tasa de generación de biogás, la permeabilidad al paso del mismo y la profundidad. Para el aprovechamiento del biogás es necesaria la creación de pozos y colectores que permiten su captación. Aunque el espaciado entre pozos es muy variable, se considera habitual, un radio de influencia de 20 m. 

Obras Previas a la Instalación

Generación inducida de los gases a través de las celdas en el relleno sanitario: se puede dividir en 5 fases.
Fase inicial (I): Es la fase inmediata al vertido y es aeróbica. En ella predomina el N_2 y hay una
creciente formación de CO_2 a la vez que disminuye el oxígeno. Tiene una duración aproximada de 15 días.
Fase de transición (II): Se produce la transición a las condiciones anaeróbicas, reduciéndose los sulfatos y los nitratos.
Fase ácida (III): Es la primera fase anaeróbica y se caracteriza por la ausencia de aire. Se produce la formación de ácidos de fermentación y al final de la misma se alcanza la mayor concentración de CO_2. Su duración es de aproximadamente 2 meses.
Fase metanogénica (IV): Constituye la segunda fase anaeróbica donde se produce la formación del metano (CH_4). Se estima que tiene una duración de 2 años.
Fase de maduración (V): Sería la fase final, en la cual la materia orgánica es ya de naturaleza escasamente biodegradable y existe una clara disminución en la producción de los gases en el vertedero. Tiene una duración entre 10 y 30 años

Requerimientos para su Aplicación

Descomposición anaeróbica de los residuos para la producción de biogás.

Proceso

La captación de gases se realiza mediante una red de pozos verticales y/o zanjas horizontales, distribuidos por toda la superficie del relleno sanitario.
Una vez realizados los pozos se introducen en ellos unas tuberías (normalmente de polietileno) ranuradas en un 20-30% de su longitud, con objeto de que penetre el gas, y una parte ciega en lo más alto. El espacio anular existente entre la tubería y la pared del pozo se suele rellenar con material que en ningún caso será de tipo calcáreo, ya que sería disuelto por el conjunto biogás-condensados-lixiviados. En los últimos metros, para evitar la entrada de oxígeno al pozo, se rellena con un material aislante, incluyendo algún tipo de material de separación entre ambas capas, como puede ser una junta de plástico, caucho, etc., con el objetivo de impedir la entrada de oxígeno a los conductos de transporte de biogás.
Una vez captado el gas hay que trasladarlo desde la superficie de los pozos hasta los colectores, para ello, se disponen una serie de tuberías, habitualmente de polietileno. En este tramo se ubican las válvulas de medición y control de los caudales aportados por cada pozo.
Existen básicamente dos métodos de control de biogás: automático y manual. El primero consiste en dotar al sistema de analizadores de metano y oxígeno, caudalímetros y tomas de presión que, de forma automática, envían los datos a un autómata central que reacciona regulando de una forma u otra las válvulas instaladas. El sistema manual se basa en la instalación en cada pozo de válvulas de regulación y puntos de toma de muestras manuales, de modo que un operario una o dos veces por semana comprueba el estado de todos los pozos y, en consecuencia, regula las válvulas. El sistema manual, resulta bastante adecuado, ya que las variaciones de caudal y presión en los pozos se producen de forma lenta y progresiva y casi nunca repentina.
Por último, el transporte de gases hasta la estación de aspiración se realiza mediante colectores de mayor diámetro a los que se conectan los ramales de conducción.

Aplicabilidad

Su aprovechamiento directo para iluminación y uso directo para la cocción de alimentos. Su uso para la quema directa, mediante convenios con empresas dedicadas a la comercialización de los denominados “bonos de carbono”, mediante el desarrollo de proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica y calórica, generación de vapor (cogeneración), uso como gas combustible, uso como gas de síntesis para generar otros gases o compuestos químicos. Referencias de aplicación de proveedores: SEISA (Sistemas de Energía Internacional, S.A. de C.V.): Monterrey, D.F. México, Canadá Ecosecurities- Ecomethane+D5: Aguascalientes, México; Tecamac, México
Tiempo de Vida Util
El biogás de vertedero se está formando durante un gran número de años, la duración total de las 5 fases de su formación puede llegar a ser de 25 años, lo que hace que el combustible obtenido en un vertedero pueda tener unas características variables en el tiempo

Ventajas	**Desventajas**
Generación de productos con un amplio mercado potencial: electricidad y calor. Aprovechamiento como bonos de carbono. No se emiten contaminantes de CO_2 y metano.	Se requiere invertir en el sistema de captación de biogás. Se requiere de métodos para la eliminación del ácido sulfhídrico y siloxanos. Se requiere de métodos de purificación. Se requiere de técnicos altamente especializados.

Normatividad
Sin normatividad establecida al aprovechamiento de biogás.

Costo de Inversión	
COSTO DE REFERENCIA Sin costos de referencia	EMPRESA SEISA (Sistemas de Energía Internacional, S.A. de C.V.) Ecosecurities- Ecomethane+D5

Cuadro 55. Tecnología: Reciclaje. Categoría: Acopio-Separación-Tratamiento.

11. Tecnología: Reciclaje
11.1 Categoría: Acopio-Separación-Tratamiento
Descripción
El reciclaje es un proceso que permite la recuperación, reutilización, valorización, transformación y elaboración de un material, a través del aprovechamiento total o parcial de los residuos, ya sea para el mismo uso o para sacar algún provecho de los mismos. Para el acopio de los residuos electrónicos, se cuenta con centros que son los interlocutores entre los recolectores y la industria. En estos centros de acopio se realiza una segunda clasificación, acumulando grandes cantidades que hacen factible el transporte a bajos costos. Al proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos que procura obtener beneficios sanitarios o económicos, reduciendo o eliminando sus efectos nocivos al hombre y al medio ambiente se le denomina tratamiento de los residuos sólidos municipales.
Objetivo
Efectuar la separación de materiales, desde los residuos sólidos urbanos, que pueden ser utilizados como materia prima para la elaboración de otros productos.
Capacidad
NO APLICA
Características Residuos a Tratar
Residuos sólidos urbanos provenientes de recolección convencional o selectiva.
Principales Componentes
Sistema de control de acceso Sistema de pesaje Patio de descarga de camiones recolectores Depósito de acopio Sistema de cintas transportadoras Regulador de residuos sobre la cinta Equipos para el almacenamiento temporal y transporte del material recuperado Electroimán Bodega para el material recuperado Sistema de manejo de emisiones líquidas Sistema de manejo de emisiones gaseosas Sistema de salida de los residuos no separados
Localización y Necesidad de Espacio
Las necesidades de terreno en las plantas separadoras y recicladoras dependen en gran medida del espacio para almacenar los materiales que han sido separados y de sí cumplirá otra función como por ejemplo servir de estación de transferencia. Una planta que sirva exclusivamente para separar materiales y que reciba aproximadamente unas 500 toneladas diarias requiere entre 1.5 y 2.0 Ha de terreno.
Proceso

El proceso comienza con la separación en la fuente (o lugar de origen), o la selección de materiales que son intervenidos por recicladores organizados; viene luego el procesamiento primario que consiste en la recolección selectiva hacia centros de acopio, donde la clasificación de los materiales es un asunto técnico para el que se ofrecen soluciones múltiples. Existen pequeños centros de acopio dedicados sólo a comprar y vender materiales, mientras que otros manejan la infraestructura y equipamiento adecuado acorde con el propósito final del reciclaje. Uno de los más adecuados es una banda sin fin que transporta los materiales, y operarios especializados en seleccionar cada material situado a los lados extraen los materiales: unos papeles, otros plásticos, otros vidrios, etc. Electroimanes separan los metales ferrosos. Incluso los papeles mismos y los plásticos deben cumplir según sus condiciones y sus estados otra serie de selecciones. Los materiales acopiados pueden ser vendidos por cada municipio, y para todos ellos hay un mercado amplio. O bien la entidad puede asumir por si misma el papel de reciclador, lo cual se traduciría en utilidades de mayores montos, desarrollando microempresas.
Posteriormente los residuos son procesados para obtener otros productos finales, o materias primas o secundarias para la industria.
Se requiere de equipamiento que dependerá del propósito del proceso, del tipo de material y de la tecnología existente para el tratamiento, tales como: clasificadores, trituradoras, molinos, peletizadoras, filtros, embaladoras, compactadas, etcétera. Para la reducción de tamaño se utilizan comúnmente trituradores y molinos. El equipo requerido depende del proceso integral y del tipo de material que lo requiera. Existen en el mercado equipos para los diferentes materiales, vidrio, plásticos, metales, etc. En los pequeños centros de acopio el equipo es sustituido por mano de obra provista por el mismo grupo organizado de recicladores.

Aplicabilidad

Los materiales a los que regularmente se aplica el reciclaje son: Papel (periódico, mezclado, papel archivo, blanco, Kraff), cartón (ondulado), vidrio, plásticos (polietilentereftalato PET/1, polietileno de alta densidad PEHD/2, polietileno de baja densidad PELD, Polipropileno PP, poliestireno PS, plásticos mezclados y multilaminados), telas y textiles, metales (férreos y no férreos), residuos de construcción y demolición, madera, y en éste caso específico se habla de residuos electrónicos.

Referencias de aplicación de proveedores:
IN CYCLE ELECTRONICS INC: San Luis Potosi, México; Austin, Texas EUA.
TBS INDUSTRIAS COMPUTER RECICLING SPECIALISTS: EUA, México, Guatemala.

Tiempo de Vida Util

NO APLICA

Ventajas	**Desventajas**
Recuperación de componentes altamente valorables. Reduce el volumen total de residuos que va a disposición final. Crea nuevas fuentes de trabajo para la recuperación de los componentes.	No existen empresas cercanas para el acopio de éstos materiales, por lo que es necesario su traslado a grandes distancias lo que implica un costo adicional. No hay sitios de recuperación específicos.

Normatividad

Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal y su reglamento.

Costo de Inversión

COSTO DE REFERENCIA Costo cero por la entrega de materiales especificados Costo cero por la entrega de materiales especificados	EMPRESA IN CYCLE ELECTRONICS INC. TBS industrias Computer recicling specialists

4.5 Evaluación técnica, económica, ambiental y social de cada tecnología identificada y descrita.

Esta evaluación se centra en la selección de la mejor alternativa tecnológica para el tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos, a través de la aplicación del método de jerarquización analítica "Análisis Jerárquico Multicriterio".

4.5.1 Alternativas tecnológicas.

En el cuadro 56, se observan las alternativas tecnológicas identificadas y descritas en los capítulos anteriores para el pre-tratamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos. En el capítulo 4.4 de fichas técnicas del presente estudio, se encuentra información detallada relacionada con los aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales de las tecnologías referenciadas en el cuadro 56.

Cuadro 56. Alternativas tecnológicas de pre-tratamiento, tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos.

Etapa	Tecnología	Categoría
Pre-tratamiento	*Selección	Planta selección
	*Compactación	Alta compactación con fleje
		Alta compactación con película plástica
	*Secado	Desecado térmico
	*Triturado	Astilladoras
		Trituradoras de residuos sólidos urbanos
Tratamiento	Planta de composta (tratamiento biológico aerobio)	Pila estática
		Vermicompostaje
		Mecanizada cubierta
	Biodigestión (tratamiento biológico anaerobio)	Digestión anaerobia
	Incineración (tratamiento térmico)	Incineración (oxidación térmica)
	Gasificación (tratamiento térmico)	Gasificación
		Plasma
		Vitrificación por plasma
	Pirólisis (tratamiento térmico)	Pirólisis (termólisis)
		Plasma
		Vitrificación por plasma
Disposición final	Relleno sanitario	Relleno convencional
		Relleno seco
		Relleno mecánico-biológico
		Relleno metanogénico

Fuente: Propia del autor.

* Estos sistemas son de acondicionamiento de los residuos sólidos, por lo cual no serán considerados dentro de la evaluación de tecnologías.

4.5.2. Listado de variables técnicas, económicas, ambientales y sociales representativas, que caracterizan el sistema de las tecnologías de pre-tratamiento, tratamiento y disposición final.

En el cuadro 57, se observa el listado de variables identificadas. Este listado se formo a partir de una lluvia de ideas de personal del instituto de ingeniería responsable de este estudio.

Cuadro 57. Listado de variables representativas que caracterizan las alternativas tecnológicas, referenciadas en el cuadro 56.

VARIABLES TÉCNICAS	**1**	Capacidad de tratamiento de la tecnología (Volumen de residuos/día)
	2	Composición de residuos que ingresan al proceso (orgánicos, Inorgánicos)
	3	Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso (humedad, peso volumétrico, poder calorífico)
	4	Área requerida para instalación de tecnología.
	5	Distancia de tecnología con respecto a los puntos de recolección
	6	Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología (porcentaje de rechazo)
	7	Aprovechamiento de los residuos valorizables
	8	Periodo de vida útil
	9	Eficiencia del proceso
	10	Madurez de la tecnología
	11	Flexibilidad de la tecnología
	12	Condiciones atmosféricas favorables
	13	Necesidades de mantenimiento
	14	Tiempo de transformación de los residuos
VARIABLES AMBIENTALES	**15**	Generación y/o proliferación de fauna nociva
	16	Generación de agentes patógenos
	17	Daños a la salud
	18	Emanación de olores desagradables
	19	Contaminación atmosférica
	20	Contaminación acústica
	21	Contaminación acuática
	22	Afectación de suelos
	23	Daño potencial ante fallas del sistema
	24	Cumplimiento de la normatividad
	25	Subproductos generados aprovechables
VARIABLES SOCIALES	**26**	Distancia de amortiguamiento a la zona urbana
	27	Generación de empleo e inclusión
	28	Afectación a la estética
	29	Desvalorización de las propiedades linderas

	30	Aceptación de la ciudadanía
	31	Nivel de capacitación (mano de obra calificada)

Cuadro 57 continuación.

VARIABLES ECONÓMICAS	32	Costos de inversión
	33	Costos de operación
	34	Costos de mantenimiento
	35	Tipping fee

4.5.3. Aplicación de Matriz de Impacto Cruzado (MIC).

Con el fin de establecer los criterios de evaluación para la selección de la mejor alternativa tecnológica, se realizo un análisis estructural de las variables listadas en el cuadro 57, a partir de una matriz de impacto cruzado, identificando las variables estratégicas y el grado de correlación que existe entre estas, tal como se muestra en el cuadro anexo 59. Los resultados obtenidos del análisis estructural de variables se observan en el cuadro 58.

Cuadro 58. Análisis estructural de variables.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE VARIABLES				
VARIABLES			Dependencia	Influencia
			Eje X	Eje y
VARIABLES TÉCNICAS	1	Capacidad de tratamiento de la tecnología (Volumen de residuos/día)	12	25
	2	Composición de residuos que ingresan al proceso (orgánicos, Inorgánicos)	5	36
	3	Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso (humedad, peso volumétrico, poder calorífico)	9	24
	4	Área requerida para instalación de tecnología	12	21
	5	Distancia de tecnología con respecto a los puntos de recolección	6	0
	6	Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología (porcentaje de rechazo)	2	23
	7	Aprovechamiento de los residuos valorizables	4	9
	8	Periodo de vida útil	3	11
	9	Eficiencia del proceso	18	22
	10	Madurez de la tecnología	0	5
	11	Flexibilidad de la tecnología	3	10
	12	Condiciones atmosféricas favorables	1	6
	13	Necesidades de mantenimiento	31	57

	14	Tiempo de transformación de los residuos	17	6

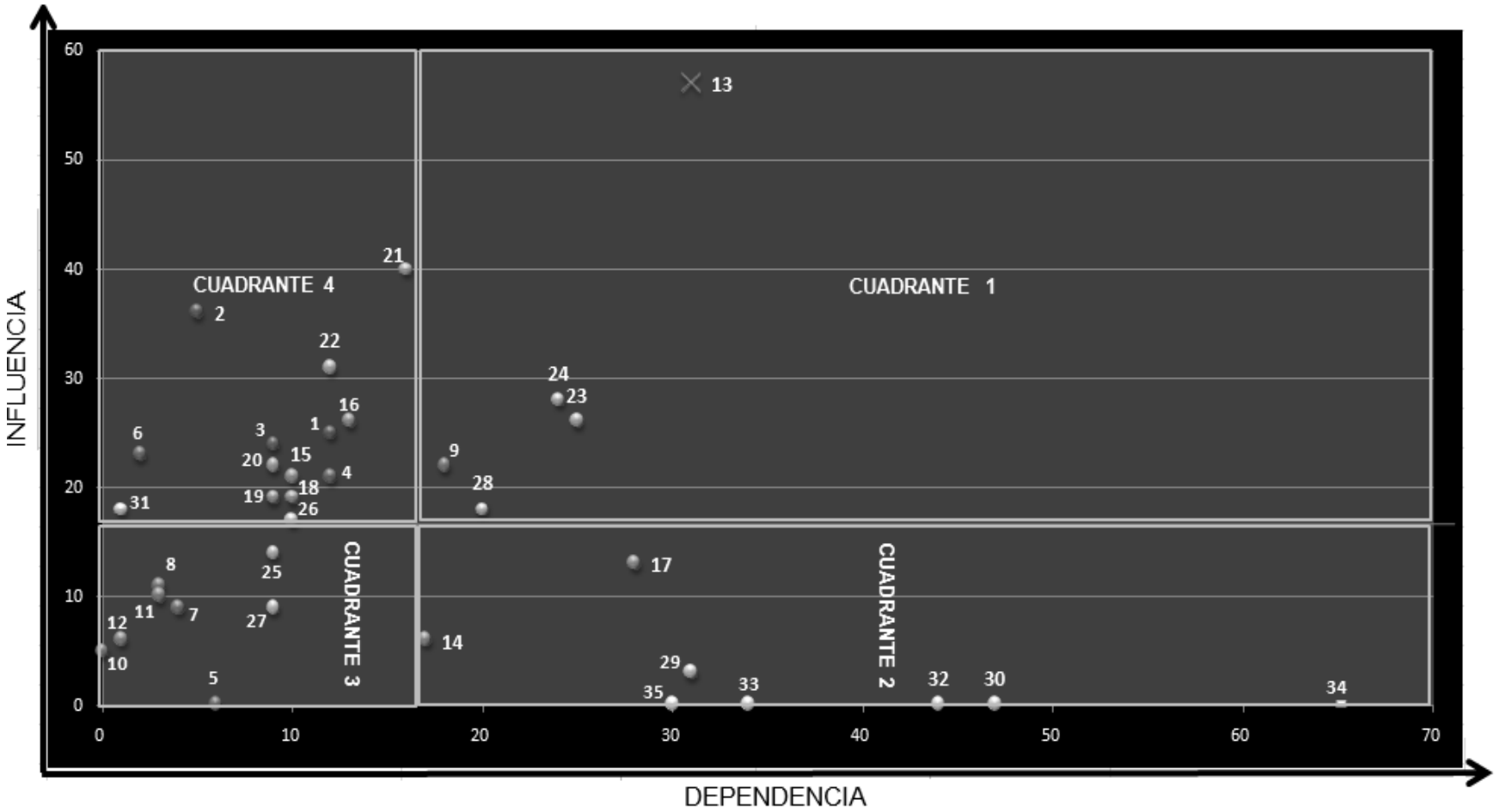
Cuadro 58 continuación…

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE VARIABLES				
VARIABLES			**Dependencia**	**Influencia**
			Eje X	**Eje y**
VARIABLES AMBIENTALES	**15**	Generación y/o proliferación de fauna nociva	10	21
	16	Generación de agentes patógenos	13	26
	17	Daños a la salud	28	13
	18	Emanación de olores desagradables	10	19
	19	Contaminación atmosférica	9	19
	20	Contaminación acústica	9	22
	21	Contaminación acuática	16	40
	22	Afectación de suelos	12	31
	23	Daño potencial ante fallas del sistema	25	26
	24	Cumplimiento de la normatividad	24	28
	25	Subproductos generados aprovechables	9	14
VARIABLES SOCIALES	**26**	Distancia de amortiguamiento a la zona urbana	10	17
	27	Generación de empleo e inclusión	9	9
	28	Afectación a la estética	20	18
	29	Desvalorización de las propiedades linderas	31	3
	30	Aceptación de la ciudadanía	47	0
	31	Nivel de capacitación (mano de obra calificada)	1	18
VARIABLES ECONÓMICAS	**32**	Costos de inversión	44	0
	33	Costos de operación	34	0
	34	Costos de mantenimiento	65	0
	35	Tipping fee	30	0
TOTAL			**579**	**579**
Promedio de actividad			**16.54**	

Promedio de actividad = (Total) / (numero de variables) = (579) / (35)
Promedio de actividad = 16.54

Teniendo los datos correspondientes de dependencia (eje “X”) e influencia (eje “Y), se procedió a realizar la gráfica de análisis estructural de variables, a través de la

cual, se identifican los criterios de evaluación, lo cuales se encuentran ubicados en el cuadrante 4 de la gráfica 17.



Gráfica 17. Análisis estructural de variables.

Cuadro 59. Matriz de Impacto Cruzado

MATRIZ DE IMPACTO CRUZADO (MIC) VARIABLES TÉCNICAS, AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICAS.	VARIABLES TÉCNICAS	1 Capacidad de tratamiento de la tecnología (Volumen de residuos/día)	2 Composición de residuos que ingresan al proceso (orgánicos, inorgánicos)	3 Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso (humedad, peso volumétrico, poder calorífico)	4 Área requerida para instalación de tecnología	5 Distancia de Instalación tecnológica con respecto a los puntos de recolección	6 Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología (porcentaje de rechazo)	7 Aprovechamiento de los residuos valorizables	8 Periodo de vida útil	9 Eficiencia del proceso	10 Madurez de la tecnología	11 Flexibilidad de la tecnología	12 Condiciones atmosféricas favorables	13 Necesidades de mantenimiento	14 Tiempo de transformación de los residuos	VARIABLES AMBIENTALES	15 Generación y/o proliferación de fauna nociva	16 Generación de agentes patógenos	17 Daños a la salud	18 Emanación de olores desagradables	19 Contaminación atmosférica	20 Contaminación acústica	21 Contaminación acuática	22 Afectación de suelos	23 Daño potencial al medio ambiente ante fallas del sistema	24 Cumplimiento de la normatividad	25 Subproductos generados aprovechables	VARIABLES SOCIALES	26 Distancia de amortiguamiento a la zona urbana	27 Generación de empleo e inclusión	28 Afectación a la estética	29 Desvalorización de las propiedades linderas	30 Aceptación de la ciudadanía	31 Nivel de capacitación (mano de obra calificada)	VARIABLES ECONÓMICAS	32 Costos de inversión	33 Costos de operación	34 Costos de mantenimiento	35 Tipping fee	TOTAL
VARIABLES TÉCNICAS																																							
Capacidad de tratamiento de la tecnología (Volumen de residuos/día)	1		3	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3		0	1	0	0	0	0		3	3	3	3	25
Composición de residuos que ingresan al proceso (orgánicos, Inorgánicos)	2	3		3	3	0	2	3	0	3	0	3	0	0	3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0		3	3	3	3	36
Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso (humedad, peso volumétrico, poder calorífico)	3	0	0		3	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3		0	0	0	0	0	0		3	3	3	3	24
Área requerida para instalación de tecnología	4	3	0	0		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	3	0		3	3	3	3	21
Distancia de tecnología con respecto a los puntos de recolección	5	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología (porcentaje de rechazo)	6	0	0	0	3	0		0	0	0	0	0	0	0	0		1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0		0	0	0	0	0	0		3	3	3	3	23
Aprovechamiento de los residuos valorizables	7	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0		2	2	2	2	9
Periodo de vida útil	8	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	2	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		3	0	3	3	11
Eficiencia del proceso	9	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	3		2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	3	22
Madurez de la tecnología	10	0	0	0	0	0	0	0	0	3		0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	2	0		0	0	0	0	5
Flexibilidad de la tecnología	11	0	2	3	0	0	0	0	0	2	0		1	0	2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	10
Condiciones atmosféricas favorables	12	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0		0	3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	6
Necesidades de mantenimiento	13	3	0	0	0	0	0	1	3	3	0	0	0		3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0		0	2	1	2	2	1		0	2	3	1	57
Tiempo de transformación de los residuos	14	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2		0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	6
VARIABLES AMBIENTALES																																								0
Generación y/o proliferación de fauna nociva	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0			3	3	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	3	3	3	0		0	0	3	0	21
Generación de agentes patógenos	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		0		3	0	0	0	3	0	3	3	0		0	0	2	3	3	0		0	0	3	0	26
Daños a la salud	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0		1	0	0	3	3	0		0	0	3	0	13
Emanación de olores desagradables	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		0	0	0		0	0	0	0	3	0	0		1	0	3	3	3	0		0	0	3	0	19
Contaminación atmosférica	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		0	0	3	0		0	0	0	3	3	0		1	0	0	0	0	0		3	0	3	0	19
Contaminación acústica	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0		0	0	3	0	0		0	0	1	2	0		1	0	1	3	3	0		3	0	3	0	22
Contaminación acuática	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		3	3	3	3	0	0		3	3	3	0		1	0	3	3	3	0		3	0	3	0	40
Afectación de suelos	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		0	0	3	0	0	0	3		3	3	0		1	0	3	3	3	0		3	0	3	0	31
Daño potencial al medio ambiente ante fallas del sistema	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		1	1	1	1	1	1	1	0		3	0		1	0	3	3	3	0		0	0	3	0	26
Cumplimiento de la normatividad	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	3	3	3	3	0		0		3	0	0	0	1	0		3	3	3	3	28
Subproductos generados aprovechables	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0	1	0	0	1	0		3	3	3	3	14
VARIABLES SOCIALES																																								0
Distancia de amortiguamiento a la zona urbana	26	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	3	0	0	0	0	0	3	3	0			0	1	2	2	0		0	0	0	0	17
Generación de empleo e inclusión	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0		0	0	3	0		0	3	3	0	9
Afectación a la estética	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0		3	3	0		3	3	3	0	18
Desvalorización de las propiedades linderas	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0		3	0		0	0	0	0	3
Aceptación de la ciudadanía	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0		0		0	0	0	0	0
Nivel de capacitación (mano de obra calificada)	31	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	3	0	0	3			3	3	3	0	18
VARIABLES ECONÓMICAS																																								0
Costos de inversión	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0			0	0	0	0
Costos de operación	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0		0	0	0
Costos de mantenimiento	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0		0	0
Tipping fee	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	0	0		0
TOTAL		12	5	9	12	6	2	4	3	18	0	3	1	31	17		10	13	28	10	9	9	16	12	25	24	9		10	9	20	31	47	1		44	34	65	30	

De acuerdo a la metodología, las variables que se encuentran ubicadas en el cuadrante 4 (alta influencia – baja dependencia), contienen las causas claves a atacar.

Siendo así, como resultado del método se tiene que los criterios de evaluación para la selección de la mejor tecnología, son los siguientes (Cuadro 60):

Cuadro 60. Criterios establecidos para la selección de la mejor alternativa tecnológica.

CRITERIOS TÉCNICOS	1. Capacidad de tratamiento de la tecnología (Volumen de residuos/día).
	2. Composición de residuos que ingresan al proceso. (Orgánicos, Inorgánicos).
	3. Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso. (humedad, peso volumétrico, poder calorífico).
	4. Área requerida para instalación de tecnología.
	5. Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología (porcentaje de rechazo)
CRITERIOS AMBIENTALES	6. Generación y/o proliferación de fauna nociva.
	7. Generación de agentes patógenos.
	8. Emanación de olores desagradables.
	9. Contaminación atmosférica.
	10. Contaminación acústica.
	11. Contaminación acuática.
	12. Afectación de suelos.
CRITERIOS SOCIALES	13. Distancia de amortiguamiento a la zona urbana.
	14. Nivel de capacitación (mano de obra calificada).

Fuente: Propia del autor.

Las variables económicas no calificaron como criterios de evaluación en la Matriz de Impacto Cruzado, ya que este tipo de variables, son de alta dependencia – baja influencia. Sin embargo, en el Análisis Jerárquico Multicriterio, se consideró con el fin de ligar los criterios ambientales, sociales y técnicos al costo neto de la tecnología.

4.5.4. Aplicación de Análisis Jerárquico Multicriterio**.**

Como se menciono anteriormente, el Análisis Jerárquico Multicriterio se realizó a través del uso del Software "Expert choice".

Con el fin de fundamentar los pesos asignados en este software, para la comparación relativa de la preferencia de las tecnologías con respecto a cada uno de los criterios de evaluación, se llevo a cabo la identificación de los efectos técnicos, sociales y ambientales asociados con las tecnologías de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos.

4.5.4.1 *Identificación de impactos o efectos.*

Los valores que se emplearon para la identificación de efectos técnicos, ambientales y sociales van de *-5* (efecto muy adverso) a *+5* (efecto muy benéfico), de acuerdo a los siguientes criterios.

Criterios técnicos.

- *Capacidad de tratamiento de la tecnología.* Está relacionado con la capacidad de la tecnología para procesar una determinada cantidad de residuos sólidos urbanos en un tiempo determinado. En la evaluación, se tomó la capacidad de tratamiento como criterio de referencia para que exista una igualdad en escala de las tecnologías evaluadas, siendo esta de 600 ton/día. Por lo tanto, este criterio no aparece en el "Análisis Jerárquico Multicriterio".

- *Composición de residuos que ingresan al proceso.* La composición de los residuos sólidos urbanos usualmente se presenta en porcentaje en peso, en base seca o base húmeda, de materia orgánica e inorgánica. Con este criterio se evalúo principalmente la flexibilidad de la tecnología para aceptar al ingreso de su proceso cierta composición de residuos sólidos urbanos, es decir, la calidad requerida de residuos sólidos en porcentaje de orgánicos e inorgánicos para su ingreso al sistema. Siendo así, se expresa el porcentaje de residuos orgánicos, inorgánicos o mezclados que acepta la tecnología.

- *Pirólisis y Gasificación.* Estas tecnologías aceptan en su proceso residuos sólidos urbanos mezclados excepto vidrio y metal.

- *Planta de composta (mecanizada cubierta).* Está tecnología acepta en su proceso residuos sólidos urbanos mezclados con una composición de residuos orgánicos mínimo del 85%.
- *Planta de composta (pila estática) y Vermicomposta.* Estás tecnologías aceptan en su proceso residuos sólidos urbanos mezclados con una composición de residuos orgánicos mínimo del 99.5%.

- *Digestión anaerobia.* Está tecnología acepta en su proceso únicamente residuos sólidos urbanos orgánicos.

• *Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso.* Las características físicas y químicas de los residuos, son de gran importancia para la selección de alternativas tecnológicas. Los más importantes para el diseño y correcto funcionamiento de estos sistemas, son el porcentaje de humedad, poder calorífico, y peso volumétrico. De esta manera, este criterio, evalúa el requerimiento de parámetros fisicoquímicos del sistema tecnológico para lograr un funcionamiento eficiente, y se lleva a cabo su calificación en función de la flexibilidad de la tecnología para aceptar cambios en los parámetros fisicoquímicos de los residuos que ingresan al sistema.

- *Incineración.* Esta tecnología requiere que los residuos que ingresan al proceso tengan una humedad superior al 3% y no mayor al 25%. El poder calorífico (PCi) debe ser mayor o igual a 1600 Kcal/kg.

- *Pirólisis, Gasificación, Pirólisis y vitrificación por plasma, y Gasificación y vitrificación por plasma.* Estas tecnologías requieren que los residuos que ingresan al proceso tengan una humedad menor o igual al 20%. El poder calorífico (PCi) debe ser mayor o igual a 1500 Kcal/kg.

- *Relleno convencional, Relleno seco, Relleno mecánico-biológico, y Relleno metanogénico.* En estas tecnologías, este criterio no es una limitante.

• *Área requerida para instalación de tecnología*. El área requerida para instalación de la tecnología de tratamiento o disposición final, incluye el área necesaria para el sistema de recepción, almacenamiento y pre-tratamiento de los residuos; las instalaciones del proceso y para otras infraestructuras como edificio de oficinas, viales, parqueadero, áreas verdes, entre otras.

A continuación (cuadro 61), se estima el área aproximada en hectáreas requerida para la instalación de las tecnologías con una capacidad de tratamiento de 600 ton/día.

Cuadro 61. Área de instalación de tecnologías.

Planta de composta (pila estática)	24 hectáreas
Planta de composta (mecanizada cubierta).	6 hectáreas
Vermicompostaje.	7 hectáreas
Digestión anaerobia	4 hectáreas
Incineración.	3.5 hectáreas
Pirólisis.	2.3 hectáreas
Gasificación.	2.7 hectáreas
Pirólisis y vitrificación por plasma.	2.5 hectáreas
Gasificación y vitrificación por plasma.	3 hectáreas
Relleno convencional.	29 hectáreas
Relleno seco.	29 hectáreas
Relleno mecánico-biológico.	130 hectáreas
Relleno metanogénico.	29 hectáreas

Fuente: Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU)

- *Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología.* Este criterio hace referencia a si existe o no la necesidad de realizar algún tipo de tratamiento alterno o de disposición final de los residuos que se generan en el proceso de la tecnología y a aquellos residuos que no pueden ingresar en el sistema y ser procesados. Este criterio se representa a partir de los porcentajes de rechazo de residuos en el proceso.

- *Planta de composta (pila de composta) y Vermicompostaje.* Estás tecnologías requieren de un tratamiento alterno o disposición final del 0.5% de los residuos sólidos urbanos inorgánicos de rechazo en el proceso, y del porcentaje de residuos inorgánicos que no pueden ser ingresados al proceso.
- *Planta de composta (mecanizada cubierta).* Está tecnología requiere de un tratamiento alterno o disposición final del 15% de residuos sólidos urbanos inorgánicos de rechazo en el proceso, y del porcentaje de residuos inorgánicos que no pueden ser ingresados al proceso.
- *Digestión anaerobia.* Está tecnología no genera ningún tipo de rechazo que requiera de un tratamiento alterno o disposición final fuera del proceso de la misma tecnología. Pero si se requiere de tratamiento alterno o disposición final del 100% de residuos inorgánicos que no pueden ser procesados por esta tecnología.
- *Incineración.* Está tecnología requiere de un tratamiento alterno o disposición final de los subproductos generados en el proceso (≥5%).
- *Pirólisis y Gasificación.* Estás tecnologías requieren de un tratamiento alterno o disposición final de los subproductos generados en el proceso (≥4%).
- *Relleno convencional, Relleno seco, Relleno mecánico-biológico, Relleno metanogénico, Pirólisis y vitrificación por plasma, y Gasificación y vitrificación por plasma.* Estás tecnologías no generan ningún tipo de rechazo que requiera de un tratamiento alterno o disposición final fuera del proceso de la misma tecnología.

Criterios sociales y ambientales

Para el caso de los impactos socio-ambientales se realizo una matriz de identificación de impactos (cuadro 62), a partir de las siguientes calificaciones.

Generación y/o proliferación de fauna nociva

(0), No existe generación o proliferación de vectores

(-1), Generación y proliferación controlable

(-3), Generación y proliferación difícil de controlar

(-5), Proliferación y migración no controlable

Emanación de olores desagradables

(0), No se produce olor desagradable

(-2), Olor moderadamente perceptible

(-4), Olor desagradable perceptible

(-5), Olor nauseabundo

Contaminación acuática

(0), Las descargas contaminantes son despreciables
(-1), El sistema cuenta con tratamiento de lixiviado y/o agua contaminada (sanitarias o aceitosas).
(-3), El volumen de las descargas generadas es mínimo
(-5), El sistema descarga directamente lixiviado y agua contaminada (sanitarias o aceitosas).

Distancia de amortiguamiento a la zona urbana

(0), No se requiere distancia de amortiguamiento
(-1), Distancia de amortiguamiento dentro de la zona urbana.
(-3), Requiere ser ubicada fuera de la zona urbana en un radio ≥ 0.1 km y < 1 km
(-5), Requiere ser ubicada fuera de la zona urbana en un radio ≥ 1 km

Contaminación atmosférica

(0), Las emisiones son despreciables

(-2), El impacto es moderado y local

(-3), El impacto es moderado y regional

(-4), El impacto es irreversible con afectación local

(-5), El impacto es irreversible con afectación global

Generación de agentes patógenos

(0), No existen agentes patógenos
(-1), Generación de agentes patógenos controlable
(-3), Generación de patógenos difícil de controlar
(-5), Generación de patógenos no controlable

Contaminación acústica

(0), Generación de ruido sin molestia o afectación.
(-1), Generación de ruido dentro de las instalaciones
(-3), Afectación por ruido dentro de las instalaciones
(-5), Afectación por ruido en las inmediaciones

Afectación de suelos

(0), Sin afectación al suelo
(-1), Afectación al suelo con leve impacto y controlable
(-3), Afectación al suelo con impacto moderado difícil de controlar
(-5), Afectación al suelo no controlable e irreversible

Nivel de capacitación (mano de obra calificada)

(0), No se requiere mano de obra calificada
(-1), Se requiere poca mano de obra calificada
(-3), Se requiere mano de obra altamente calificada

(-5), Únicamente mano de obra calificada

Cuadro 62. Matriz de identificación de impactos socio-ambientales.

CRITERIOS / ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS			Planta de compostaje (pila estática)	Planta de compostaje (mecanizada cubierta)	Vermicompostaje	Digestión anaerobia	Incineración	Pirólisis	Pirólisis y vitrificación por plasma	Gasificación	Gasificación y vitrificación por plasma	Relleno convencional	Relleno seco	Relleno mecánico-biológico	Relleno metanogénico
CRITERIOS AMBIENTALES	6	Generación y/o proliferación de fauna nociva	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-3	-3	-3	-3
	7	Generación de agentes patógenos	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-3	-3	-3	-3
	8	Emanación de olores desagradables	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-4	-4	-4	-4
	9	Contaminación atmosférica	-2	0	0	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-2	-3
	10	Contaminación acústica	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	11	Contaminación acuática	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
	12	Afectación de suelos	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
CRITERIOS SOCIALES	13	Distancia de amortiguamiento a la zona urbana	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-3	-3
	14	Nivel de capacitación (mano de obra calificada)	-1	-1	-1	-1	-3	-3	-3	-3	-3	-1	-1	-1	-1

4.5.4.2 *Selección de alternativa tecnológica.*

Se asignaron los pesos correspondientes a la comparación relativa de la preferencia entre tecnologías con respecto a cada uno de los criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Evaluación de Alternativas tecnológicas considerando criterios técnicos

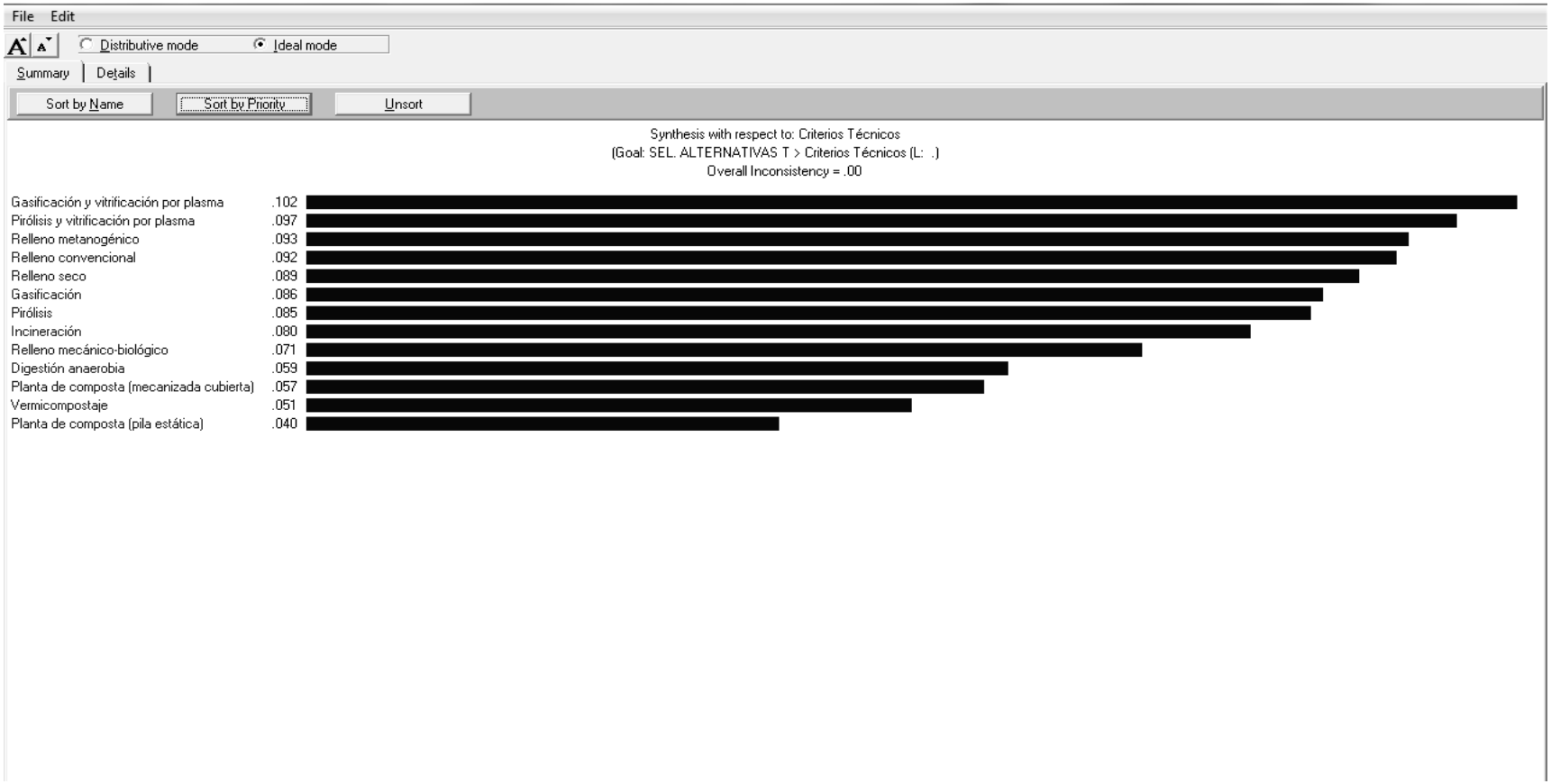
Tal como se observa en la gráfica 18, los datos arrojados por el Software, indican que la Gasificación y vitrificación por plasma (0.102), y la Pirolisis y vitrificación por plasma (0.097) son las tecnologías más idóneas desde el punto de vista técnico para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos.

Esto debido a que estas tecnologías tienen la capacidad de aceptar cualquier tipo de residuo solido urbano sin tener complicaciones en su operación, aunque se requieren ciertas condiciones en los parámetros fisicoquímicos de los residuos sólidos para hacer eficiente el proceso. Las instalaciones de las tecnologías de Gasificación y vitrificación por plasma, y Pirólisis y vitrificación por plasma requieren menor área que los rellenos sanitarios convencionales, lo que los hace muy eficaces en regiones que tiene escasez de terreno.

Los sistemas de tratamiento calificados en tercero, cuarto y quinto lugar, son el relleno metanogénico (0.093), relleno convencional (0.092) y relleno seco (0.089) respectivamente. Aunque estas tecnologías requieren de mayor área para instalación con respecto a las tecnologías de compostaje (pila estática) (0.040), compostaje (mecanizada cubierta) (0.057), Vermicompostaje (0.051), y Digestión anaerobia (0.059), estas otras requieren de un alto nivel de separación de residuos sólidos orgánicos (85% para mecanizada cubierta, 100% de orgánicos para Digestión anaerobia y mayor a 99.5% en las restantes). Además, el relleno metanogénico, convencional y seco tienen un 0% de rechazo de residuos sólidos, es decir que no requieren de un tratamiento alterno.

Las tecnologías Pirólisis y vitrificación por plasma y Gasificación y vitrificación por plasma tienen la capacidad de tratar el 100% de los residuos sólidos urbanos al igual que los Rellenos sanitarios convencionales, metanogénico, seco y mecánico-biológico, mientras la Gasificación (0.086) y la Pirólisis (0.085) requieren la separación del vidrio y el metal, por ello calificaron en sexto y séptimo lugar.

EL relleno mecánico-biológico (0.071), requiere de un área casi 5 veces mayor que la de un relleno convencional, por lo que no logró obtener una calificación más alta.



Gráfica 18. Resultados del análisis de alternativas tecnológicas que se han calificado considerando criterios técnicos de los resultados y experiencias de implementación a la fecha.

Criterios técnicos: 1. Composición de residuos que ingresan al proceso, 2. Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso, 3. Área requerida para instalación de tecnología, 4.Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología.

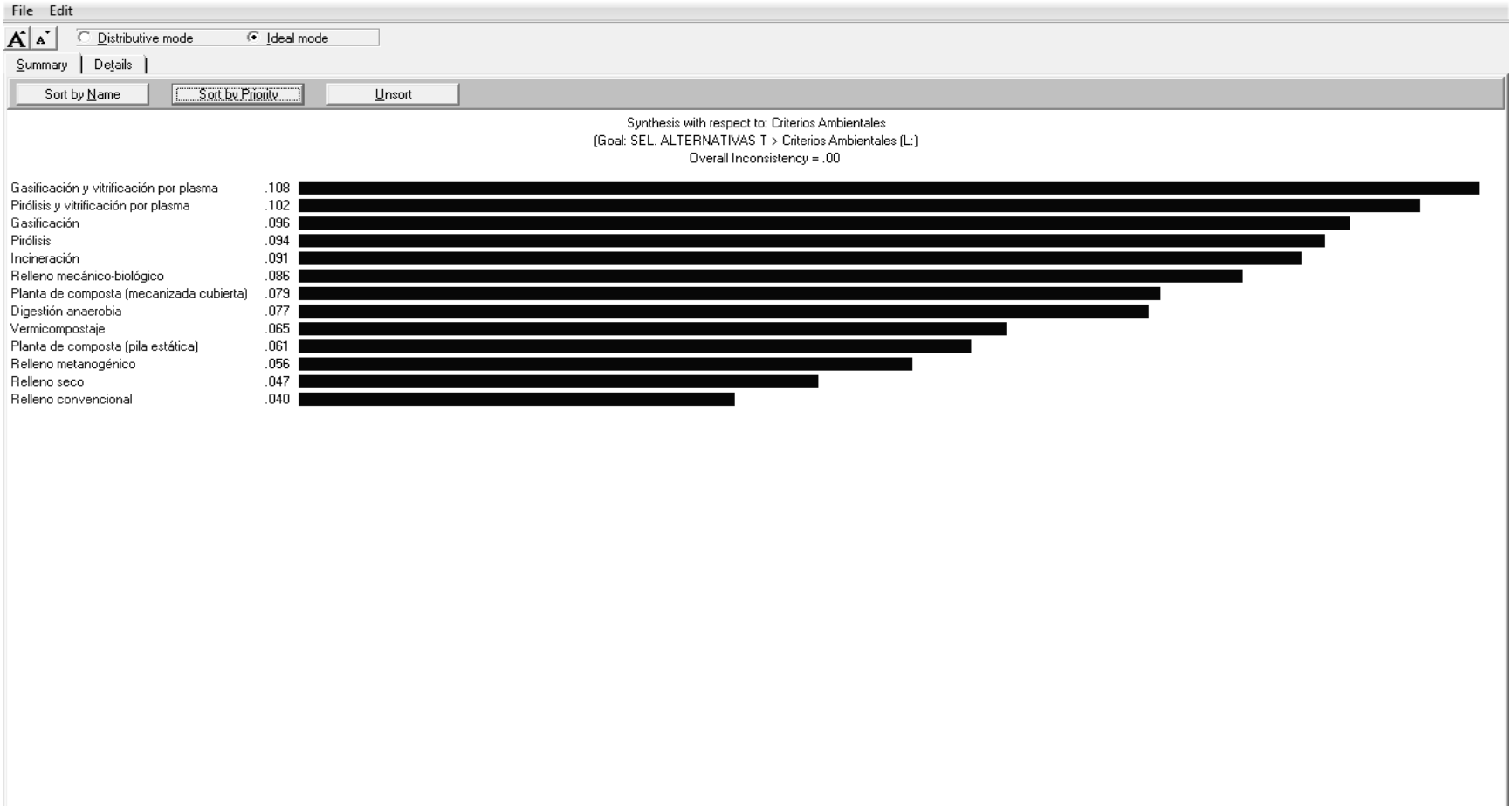
Tal como se observa en la gráfica 19, los datos arrojados por el Software, indican que las tecnologías de Pirólisis y vitrificación por plasma (0.102), y la Gasificación y vitrificación por plasma (0.108) son las tecnologías más idóneas o de mayor preferencia desde el punto de vista ambiental. Ya que en comparación con las demás, esta presenta menos efectos adversos al medio ambiente, considerando los bajos impactos por contaminación acuática, afectación de suelo, y principalmente contaminación atmosférica (acceso al mercado de bonos de carbono), emanación de olores desagradables, contaminación acústica, generación de agentes patógenos y generación de fauna nociva.

En los resultados obtenidos, la Gasificación (0.096) y la Pirólisis (0.094) califican en tercer y cuarto lugar, ya que las temperaturas que se manejan en estas tecnologías no exceden los 2000°C, y la zona de disociación molecular comienza a partir de los 2700°C, por lo que no se llega hasta los niveles térmicos necesarios para producir la disociación molecular de la materia. Esto implica que parte de estas moléculas no disociadas queden en el reactor en forma de cenizas (en el caso de la Incineración) o en forma de alquitranes y compuestos pesados (en el caso de la Pirólisis), y otra parte se volatilice dando lugar a compuestos orgánicos volátiles (VOC) y/o semivolátiles como las dioxinas y los furanos. Mientras en el caso de la tecnología de Gasificación y vitrificación por plasma y la Pirólisis y vitrificación por plasma, los residuos son sometidos a temperaturas aproximadas de 5000°C.

Los rellenos convencionales tienen muchos problemas con el control de las basuras, debido a los subproductos contaminantes que se generan en el proceso de descomposición, principalmente porque en este proceso se reciben los residuos tal como llegan; por ello, actualmente se han creado nuevos sistema de relleno como el relleno seco (0.047) y mecánico-biológico (0.086), en el primero se realiza un acondicionamiento previo de los residuos (eliminación de humedad) y en el segundo un aprovechamiento de la fracción orgánica y de los residuos valorizables por su potencial reciclable. Por esta razón el relleno mecánico-biológico califica en sexto lugar, mientras el relleno seco se encuentra de penúltimo en la calificación, ya que la eliminación de humedad teóricamente solo ayuda en reducir el espacio, porque a nivel ambiental de todas formas lo que se hace es prolongar la inevitable generación de subproductos contaminantes.

El Relleno sanitario metanogénico (0.056), Relleno seco (0.047), y Relleno convencional (0.040), se encuentra en último lugar debido a lo difícil que es controlar la generación de fauna nociva y patógena, y un control no tan eficiente de los lixiviados y de la emisión de gases efecto invernadero. En las tecnologías de Planta de composta (pila estática) (0.061), Vermicompostaje (0.065) y Planta de composta (mecanizada cubierta) (0.079), principalmente en las dos primeras, existe generación de fauna nociva y en algunos casos de patógenos. Existe en menor

grado que el Relleno sanitario, contaminación por lixiviado, y además requiere de mucha maquinaria que funciona con combustible fósil.



Gráfica 19. Resultados del análisis de alternativas tecnológicas que se han calificado considerando criterios ambientales de los resultados y experiencias de implementación a la fecha.

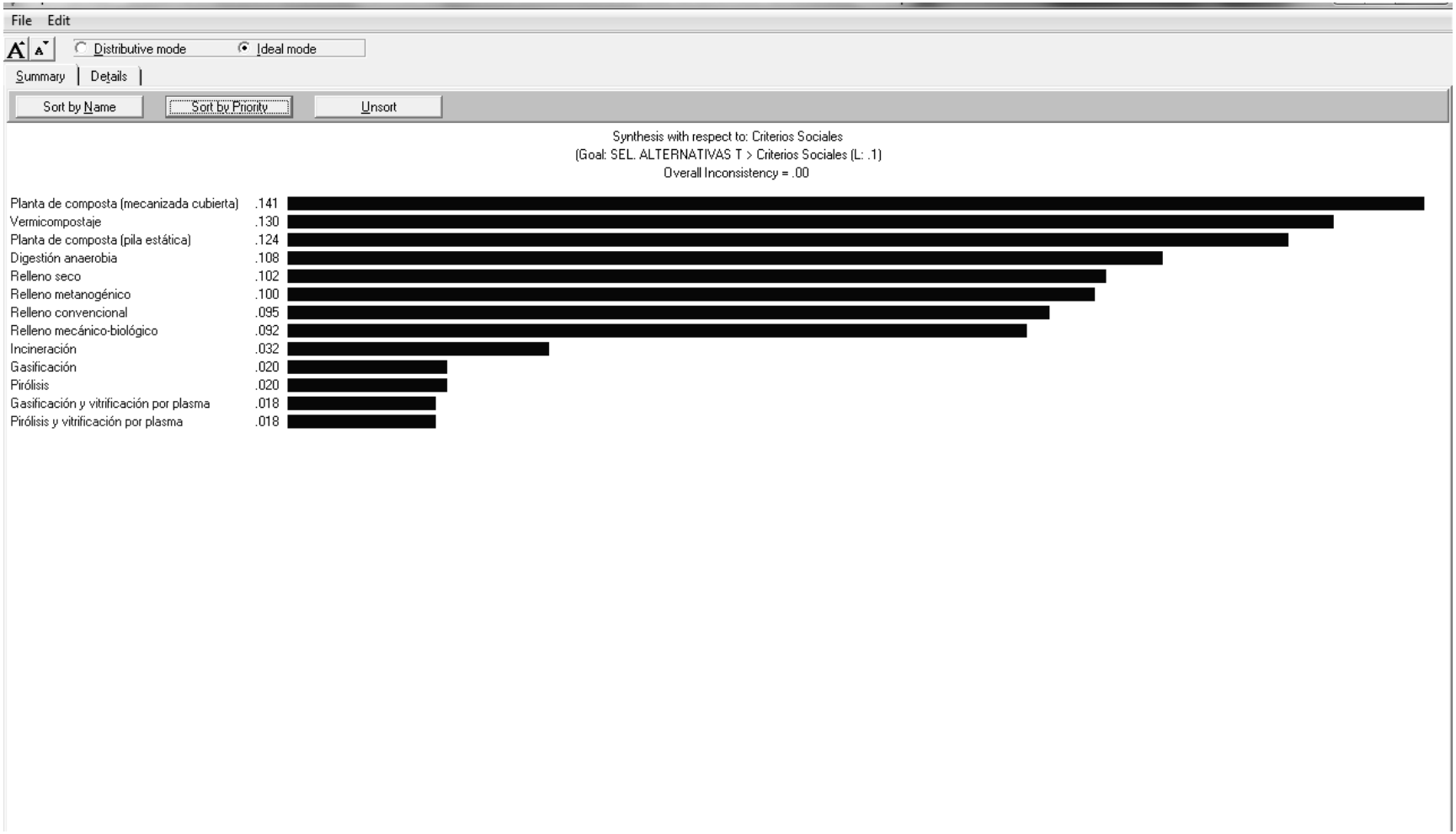
Criterios ambientales: 1. Generación y/o proliferación de fauna nociva, 2. Generación de agentes patógenos, 3. Emanación de olores desagradables, 4. Contaminación acústica, 5. Contaminación acuática, 6. Afectación de suelos, 7. Contaminación atmosférica.

Tal como se observa en la gráfica 20, los datos arrojados por el Software, indican que la tecnología de Planta de composta (mecanizada cubierta) (0.141), Vermicompostaje (0.130) y Planta de composta (pila estática) (0.124), son las mejor calificadas en cuanto a los criterios sociales.

La gran ventaja que tiene la Planta de composta (mecanizada cubierta), es que aunque necesita personal calificado, también necesita personal no calificado y lo mejor es que por ser cerrada puede ser ubicada dentro de la zona urbana, teniendo mejor aceptación y generación de fuentes de empleo. Mientras la Digestión anaerobia, requiere principalmente de personal calificado.

El Relleno seco (0.102), Relleno metanogénico (0.100), Relleno convencional (0.095), y Relleno mecánico-biológico (0.092) requieren ser ubicados fuera de la zona urbana, sin embargo, no se necesita personal altamente calificado como las tecnologías térmicas, lo que permite la generación de empleo y mejor aceptación de la población.

Las tecnologías de Incineración (0.032), Gasificación (0.020), Pirólisis (0.020), Gasificación y vitrificación por plasma (.018), y la Pirólisis y vitrificación por plasma (.018), aunque pueden estar ubicadas con una distancia de amortiguamiento dentro de la zona urbana, requieren de personal altamente calificado, lo que no permite una mejor integración con la población, provocando menos aceptación.



Gráfica 20. Resultados del análisis de alternativas tecnológicas que se han calificado considerando criterios sociales de los resultados y experiencias de implementación a la fecha.

Criterios sociales: 1. Distancia de amortiguamiento a la zona urbana, 2. Nivel de capacitación (mano de obra calificada).

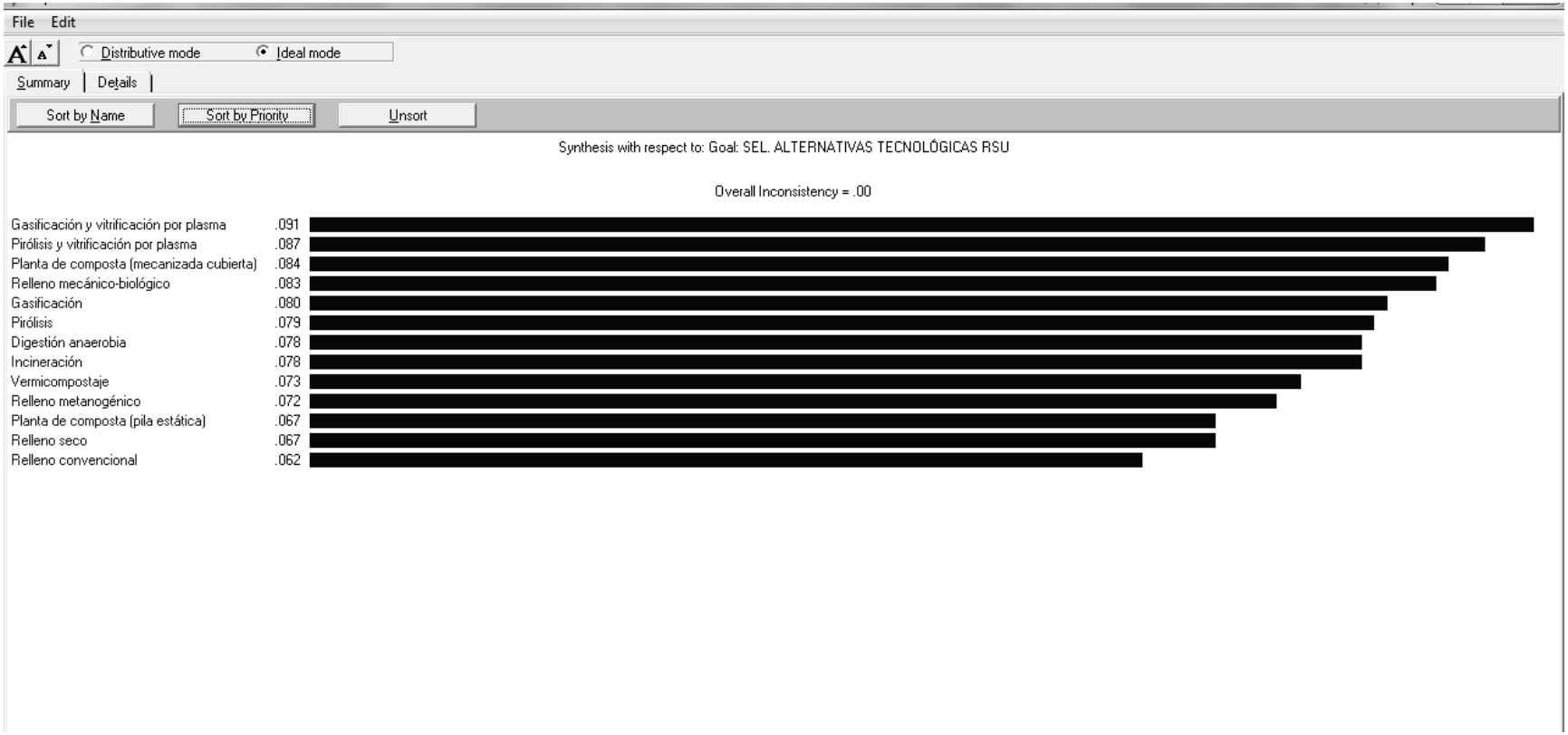
Evaluación de alternativas tecnológicas ligando los criterios técnicos, ambientales y sociales.

Tal como se observa en la gráfica 21, las tecnologías Gasificación y vitrificación por plasma (0.091), y la Pirólisis y vitrificación por plasma (0.87), son las que tienen mejor calificación. El hecho de que estas tecnologías califiquen en primer lugar se debe principalmente por su importancia en la calificación de los criterios ambientales, agregando además de que requiere poco espacio, tiene la capacidad de tratar 100% de residuos orgánicos e inorgánicos, no requiere de un tratamiento alterno de los residuos, y puede ser ubicado dentro de la zona urbana lo que reduce distancia con relación a los puntos de recolección. Mientras, la tecnología de Gasificación (0.080), Pirolisis (0.079), Digestión anaerobia (0.078) e Incineración (0.078), calificaron en quinto, sexto, séptimo y octavo lugar respectivamente. Aunque la Pirolisis y la Digestión anaerobia tienen el mismo resultado.

El Relleno sanitario convencional (0.062), Relleno seco (0.067), y Relleno metanogénico (0.072), califican en último lugar, porque a pesar de que esta tecnología tiene la capacidad de ingresar en su proceso el 100% de los residuos sin requerir un tratamiento alterno de los residuos sólidos urbanos, y además de no requerir personal altamente calificado; su calificación frente a los criterios ambientales es muy baja, por lo difícil y poco confiable del control de los subproductos contaminantes que se generan en el proceso, principalmente el lixiviado y la emisión de gases efecto invernadero, entre otros ya mencionados.

En el caso particular del relleno mecánico-biológico (0.083), al reducir el contenido de residuos orgánicos que se disponen finalmente en relleno, se disminuye en gran manera la generación de subproductos contaminantes resultado del proceso de descomposición de la basura al ser enterrada. Lo cual, permite un mejor control y cuidado del medio ambiente, por ello tiene mejor calificación que los demás rellenos mencionados. La principal desventaja que tiene, es que requiere grandes extensiones de terreno para su instalación, sin embargo en esta planta no solo se realiza el aprovechamiento de los residuos orgánicos, sino también de los inorgánicos valorizables.

La Planta de composta (pila estática) (0.067), y el Vermicompostaje (0.073) requieren de extensas áreas, y presentan algunos problemas con el control de la contaminación. Solo tienen la capacidad de tratar residuos orgánicos y requieren de un nivel de separación de los residuos muy alto (mayor o igual al 99.5% de orgánicos), por lo que se encuentran en los últimos lugares. A diferencia, la Planta de composta (mecanizada cubierta) (0.084), tiene condiciones de instalación de mejor control ambiental, y tiene la capacidad de recibir los residuos mezclados con un nivel de separación de 85% de orgánicos.



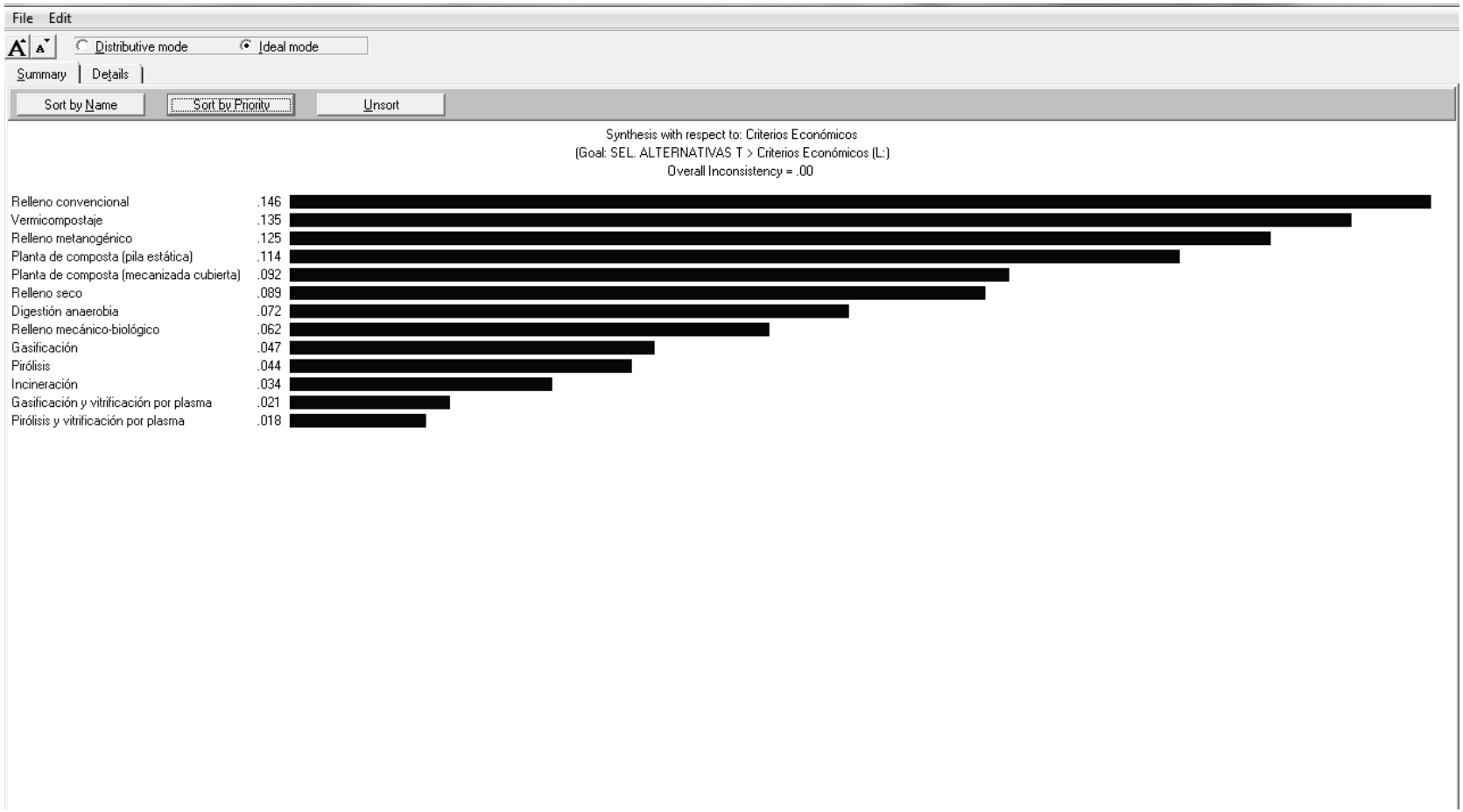
Gráfica 21. Resultados del análisis de alternativas tecnológicas que se han calificado considerando criterios técnicos, ambientales y sociales de los resultados y experiencias de implementación a la fecha.

Criterios técnicos: 1. Composición de residuos que ingresan al proceso, 2. Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso, 3. Área requerida para instalación de tecnología, 4.Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología. Criterios ambientales: 1. Generación y/o proliferación de fauna nociva, 2. Generación de agentes patógenos, 3. Emanación de olores desagradables, 4. Contaminación acústica, 5. Contaminación acuática, 6. Afectación de suelos, 7. Contaminación atmosférica. Criterios sociales: 1. Distancia de amortiguamiento a la zona urbana, 2. Nivel de capacitación (mano de obra calificada).

Tal como se observa en la gráfica 22, los datos arrojados por el Software, indican que las tecnologías Relleno sanitario convencional (.146), Vermicompostaje (0.135), Relleno metanogénico (0.125), y Planta de composta (pila estática) (0.114), son las mejor calificadas en cuanto a los criterios económicos.

La Pirólisis (0.044), Gasificación (0.047), Relleno mecánico-biológico (0.062), Digestión anaerobia (0.072), Relleno seco (0.089) y Planta de composta (mecanizada cubierta) (0.092), aunque menos costosas que la incineración, la gasificación y vitrificación por plasma, y la pirólisis y vitrificación por plasma, también se observa que tienen costos muy elevados comparados con los de las tecnologías de Relleno convencional, Vermicompostaje, Relleno metanogénico, y Planta de composta (pila estática).

Mientras las tecnologías de Incineración (0.034), Gasificación y vitrificación por plasma (0.021), y la Pirólisis y vitrificación por plasma (0.018) aparecen en último lugar como las tecnologías más costosas.



Gráfica 22. Resultados del análisis de alternativas tecnológicas que se han calificado considerando criterios económicos de los resultados y experiencias de implementación a la fecha.

Criterio económico: *Costo neto.*

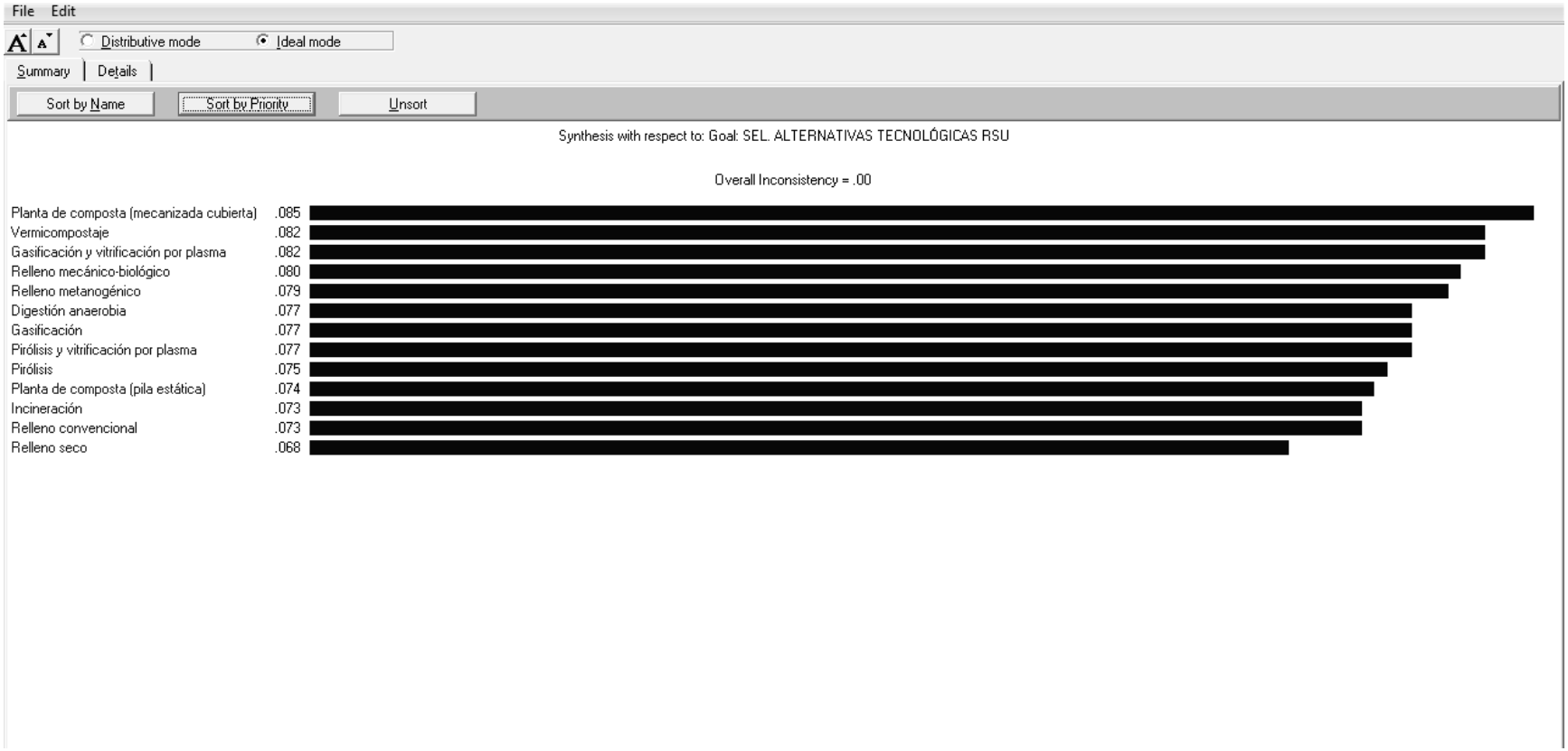
Evaluación de alternativas tecnológicas ligando los criterios técnicos, ambientales y sociales al costo neto de las tecnologías

Tal como se observa en la gráfica 23, los datos arrojados por el Software, indican que la tecnología de Planta de composta (mecanizada cubierta) (0.085), es la mejor calificada en cuanto a la evaluación, ligando los criterios técnicos, ambientales y sociales al costo neto de las tecnologías.

El segundo, tercero, cuarto y quinto lugar lo ocupan las tecnologías de Vermicompostaje (0.82), Gasificación y vitrificación por plasma (0.82), Relleno mecánico-biológico (0.080), y Relleno metanogénico (0.079).

Las tecnologías de Digestión anaerobia (0.077), Gasificación (0.077), Pirólisis y vitrificación por plasma (0.077), y Pirólisis (0.075), califican en sexto, séptimo, octavo y noveno lugar respectivamente.

Las tecnologías que calificaron en último lugar son la Planta de composta (Pila estática) (0.074), Incineración (0.073), Relleno convencional (0.073), y Relleno seco (0.068).



Gráfica 23. Resultados del análisis de alternativas tecnológicas que se han calificado considerando criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos de los resultados y experiencias de implementación a la fecha.

Criterios técnicos: 1. Composición de residuos que ingresan al proceso, 2. Parámetros fisicoquímicos de residuos que ingresan al proceso, 3. Área requerida para instalación de tecnología, 4.Necesidad de tratamiento o disposición final del rechazo de la tecnología. Criterios ambientales: 1. Generación y/o proliferación de fauna nociva, 2. Generación de agentes patógenos, 3. Emanación de olores desagradables, 4. Contaminación acústica, 5. Contaminación acuática, 6. Afectación de suelos, 7. Contaminación atmosférica. Criterios sociales: 1. Distancia de amortiguamiento a la zona urbana, 2. Nivel de capacitación (mano de obra calificada). Criterio económico: Costo neto.

4.6 Selección de tecnologías por grupos representativos

4.6.1 Diagrama conceptual del manejo integral de los residuos sólidos urbanos en México

De la información recabada de las entidades federativas y de las diferentes bases de datos se plantea el siguiente diagrama conceptual sobre el manejo integral de los residuos sólidos urbanos en México en el cual se incluyen las etapas y tecnologías que se aplican actualmente (diagrama 14).

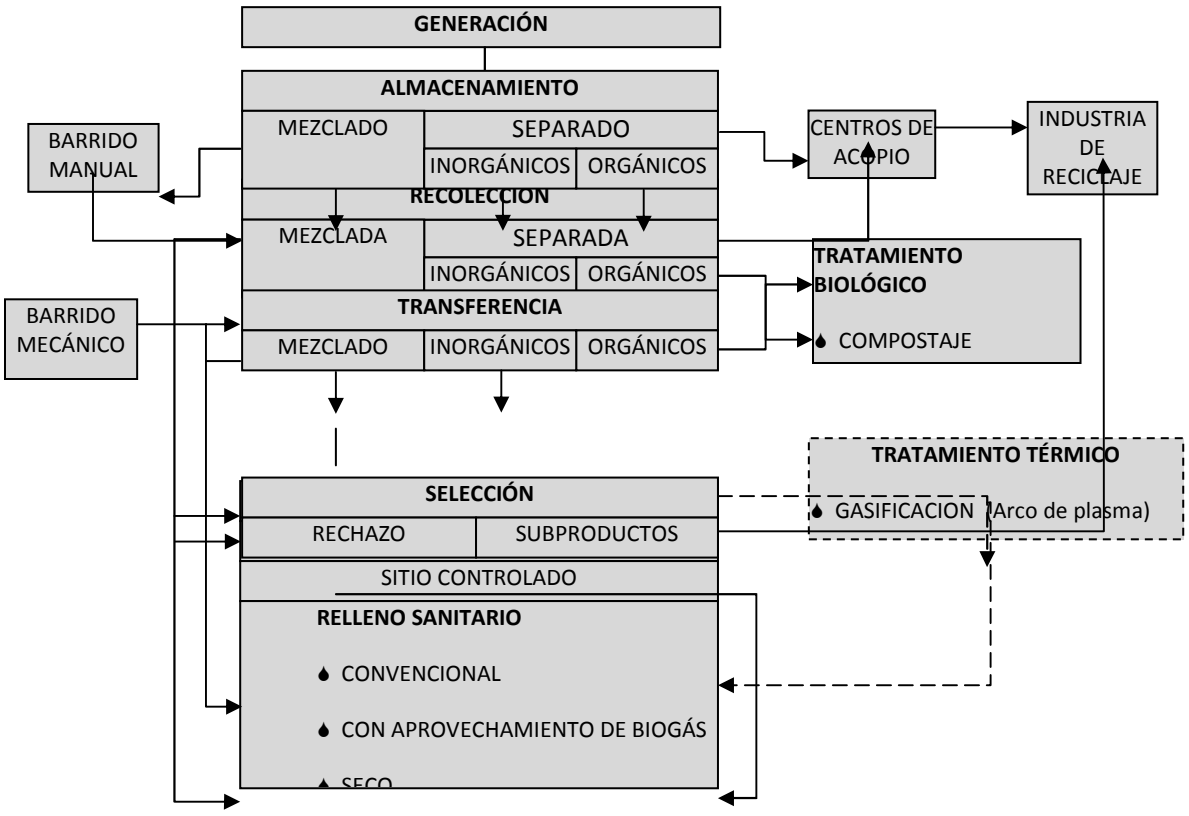


Diagrama 14. Diagrama conceptual del manejo integral de los Residuos Sólidos Urbanos en México.

Dentro del manejo integral de los residuos sólidos las tecnologías de tratamiento juegan un papel importante ya sea directa o indirectamente en las distintas etapas que lo conforman. A continuación se hace una descripción general y la relación que tiene con las tecnologías de tratamiento implementadas actualmente en México.

La cantidad de residuos sólidos urbanos **generados** en las diversas fuentes registran un incremento en la generación de éstos residuos, esta situación plantea la

necesidad de establecer programas de reducción en el consumo de ciertos productos o practicas de embalaje que se realizan. La implementación de medidas para disminuir la generación de residuos han sido incipientes, esfuerzos de reducir o prohibir el uso de bolsas de plástico son iniciativas que empiezan adoptarse en algunas localidades, lo que conlleva a una serie de ventajas, entre las cuales están las siguientes: reducción de costos por recolección (combustible, personal y tiempo extra de los trabajadores), reducción de costos por mantenimiento, optimización del servicio de recolección, ampliación de la red de recolección por viaje, incremento de la cobertura de recolección, disminución de los costos de disposición final y disminución del tiempo de vida útil de los sitios de disposición final.

Una vez generados los residuos se depositan en contenedores donde se almacenan temporalmente en espera de ser recolectados por el servicio de limpia, el ***almacenamiento*** puede ser primario y central. El primario se da a nivel domiciliar y se emplea una gran diversidad de recipientes (capacidad, forma y material de fabricación) lo cual dificulta las labores de recolección y recuperación de materiales reciclables. El almacenamiento central es el espacio designado en unidades habitacionales, centros comerciales, mercados, empresas, etc., por lo general estos espacios carecen de un diseño apropiado para el manejo de los residuos. Los diversos materiales empleados en su construcción, las limitaciones de espacio, la ubicación, la falta de techumbre, la falta de pendiente, son algunos de los inconvenientes más comunes que se presentan en este tipo de almacenamiento. Las bolsas de plástico son las de mayor uso por la población y representan un serio problema operativo en ambos tipos de almacenamiento ya que no permiten evaluar su contenido y deben ser rasgadas retardando el proceso de recolección. En algunas entidades federativas donde los residuos son separados, en orgánico e inorgánicos, el acondicionamiento de espacios para el almacenamiento central, sólo ha dado resultados parciales ya que siguen siendo áreas inadecuadas para el manejo óptimo de los residuos. Tal es el caso del mercado Jamaica en la Ciudad de México, en donde se realiza eficientemente la separación de las dos fracciones, pero el espacio es inadecuado para su almacenamiento. Por lo anterior, es importante mencionar que se requiere que los reglamentos estatales para construcción de los sitios de almacenamiento contengan las especificaciones de las áreas requeridas para ésta actividad, y que deben cumplir las construcciones para éste fin.

Los ***centros de acopio*** son empresas formales e informales que se dedican a la compraventa de materiales reciclables y en donde se da cierto acondicionamiento para la venta y posterior utilización de subproductos en la industria. Los centros informales deben evitarse y regularizarse ya que son instalaciones improvisadas (pequeños locales en lotes baldíos y vía pública) que no cumplen mínimas medidas de seguridad e higiene, que ocasionan problemas de invasión de la vía pública y de tránsito, vandalismos por la comercialización de materiales como cobre y hierro fundido, además del deterioro de la imagen urbana y mal funcionamiento de la infraestructura.

El reciclaje implica la recuperación de materiales del flujo de residuos, el procesamiento intermedio, el transporte y el procesamiento final para proporcionar materia prima a fabricantes o bien para obtener un producto final a comercializar. La

industria del reciclaje utiliza en sus procesos materiales reciclables para abatir costos o reducir el uso de materia prima, impulsan la recuperación y comercialización de subproductos. Algunas entidades federativas han logrado, a partir de esta actividad, obtener ahorros significativos en los recursos destinados a la disposición final de sus residuos, sin embargo la industria del reciclaje demanda una mayor cantidad de subproductos los cuales no ha sido posible cubrir.

El servicio de **barrido manual** que prestan los gobiernos Municipales contribuye a la conservación de la imagen urbana, el resguardo de la red de drenaje y la salud pública. En el caso de las vialidades el barrido manual se realiza con la ayuda de carritos recolectores que descargan sus residuos en los vehículos recolectores. Actualmente esta actividad presenta ciertas deficiencias en muchas regiones, ya que derivado de las ganancias económicas que tiene la recuperación de materiales reciclable, los barrenderos se han convertido en recolectores descuidando el servicio de barrido. El servicio de **barrido mecánico** se presta principalmente en las vías rápidas ya que requieren ser atendidas en menor tiempo. Este servicio resulta un tanto costoso por el mantenimiento de equipo y el requerimiento de operadores calificados.

La **recolección** es la actividad de retirar los residuos de las fuentes generadoras para transportarlos en vehículos recolectores. Los Municipios se encargan de los servicios de recolección y del transporte a las estaciones de transferencia o directamente a los sitios de disposición final. Existen vehículos con distintas características y capacidades. Los modelos antiguos realizan la recolección de residuos separados (orgánicos e inorgánicos) en forma diferenciada alternando los días de recolección. Equipos más modernos, también llamados vehículos bi-compartidos o de doble compartimento, realizan la recolección en forma simultánea. Cabe mencionar a pesar de las nuevas tecnologías que se tienen el transporte, se continúan recolectándose residuos sólidos mezclados lo cual dificulta y hace ineficiente las tareas de recuperación de materiales reciclables, sea esta manual o en las plantas de selección.

La transferencia es una etapa intermedia entre la recolección y la selección, el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos. Se lleva a cabo en **estaciones de transferencia** las cuales cuentan con infraestructura para el manejo de los residuos. Su objetivo principal es incrementar la eficiencia del servicio de recolección ya que ofrecen la posibilidad de descargar y almacenar temporalmente los residuos sólidos, en instalaciones cercanas o dentro de la zona urbana, a partir de las cuales los residuos son transportados en vehículos de mayor capacidad evitando los largos recorridos a los vehículos recolectores. Estos sitios cuentan con sistemas de compactación lo cual ayuda a ser más eficiente el trasporte de los residuos hacia las plantas de selección o los sitios de disposición final.

La s**elección** es una etapa importante en el manejo integral de residuos sólidos. En distintas plantas de selección que operan en el país, se recuperan más de 20 materiales reciclables que son comercializados evitando que estos lleguen a los sitios de disposición final. En entidades federativas en donde se tienes programas de separación en fuente, la fracción de residuos inorgánicos que llega a las plantas de

selección tiene mayor potencial de recuperación, no obstante es muy poca la cantidad de residuos separados y en ocasiones no se alcanza a cubrir la demanda de las plantas.

El compostaje es la principal tecnología de tratamiento que se aplica en México, un proceso de **tratamiento biológico** que convierte la materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos en un material húmico estable conocido como composta. En las plantas de composta se procesan principalmente residuos orgánicos de poda y materiales orgánicos producto de los programas de separación. El vermicompostaje es otro método que se utiliza en para transformar los residuos orgánicos, es este caso mediante el cultivo de lombrices para la obtención de abono de alta calidad.

El **tratamiento térmico** de residuos sólidos urbanos mediante gasificación con arco de plasma es una tecnología que actualmente se encuentra en fase de prueba a nivel experimental con algunos resultados alentadores.

El relleno sanitario convencional es la tecnología más desarrollada en México para la **disposición final** de los residuos sólidos urbanos, así lo refleja el número de sitios en operación (262) y un número creciente en proyecto de construcción. Del orden de 35.4% de los residuos generados durante 2008 fueron confinados mediante esta tecnología según datos reportados por la SEMARNAT cabe señalar que la iniciativa privada se ha encargado de la construcción y operación de la mayor parte de rellenos sanitarios bajo el esquema de concesión. La legislación y normas ambientales en la materia han tenido un impacto positivo ya que de acuerdo a información recopilada, en 75% de las entidades federativas, se hacen esfuerzos importantes, por cambiar la práctica de la disposición a cielo abierto y en sitios controlados, para adoptar al relleno sanitario convencional como método de disposición final. Por otra parte, el aprovechamiento de biogás de rellenos sanitario para la producción de energía eléctrica está siendo ya aprobado por la Comisión Reguladora de Energía en entidades de la frontera norte del país como resultado de la experiencia desarrollada, en la Central de Biogás del relleno sanitario de Salinas Victoria Nuevo León, en donde actualmente se están produciendo del orden de 12.72 MWh.

Recientemente empiezan a probarse y a instalarse nuevas tecnologías de rellenos distintas al diseño convencional, entre ellas el relleno seco, el mecánico-biológico y el bio-relleno metanogénico. Al respecto, la experiencia a nivel nacional es aún limitada, no hay suficiente información que permitan determinar la factibilidad técnica y económica para su implementación y, en algunos casos los resultados han sido poco alentadores. El relleno sanitario seco no es una opción que se recomiende. De las pocas experiencias que se conocen de su aplicación en México, en dos casos se ha tenido problemas con los equipos y los niveles de alta compactación, entre otros requerimientos como el acondicionamiento de la paca, su transporte y procedimiento de confinamiento, lo cual se prevé será difícil de llevar a la práctica. A lo anterior habrá que añadir que la alta compactación de los residuos retarda los procesos de estabilización y por ende, los tiempos de monitoreo de los sitios disposición será más largos que en un relleno convencional. Se tiene conocimiento de un tercer caso que inicia su operación bajo dicho principio sin embargo la información que se tiene es aún limitada para su

evaluación. En bio-relleno metanogénico puede ser una tecnología interesante de evaluar, particularmente en aquellos casos en donde se desee optimizar la producción de biogás para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica. Para su implementación deberán realizarse los estudios correspondientes de factibilidad técnica y económica, y tomar en cuenta que es una tecnología en la que debe generase experiencia en México.

4.6.2 Selección de tecnologías por grupos representativos

En este estudio se propone para la selección de tecnología tres grupos de posibles usuarios con base en el diagrama conceptual de manejo integral de residuos sólidos urbanos en México descrito en el apartado 6.1.

Grupo 1. En este grupo se encuentran aquellos municipios en donde el acceso a las tecnologías de tratamiento es limitado o en su caso la aplicación de las mismas no es viable técnicamente por la cantidad de residuos que se generan. Para este grupo se propone un esquema de manejo, tratamiento y disposición final que permita cumplir con los criterios ambientales básicos (diagrama 15).

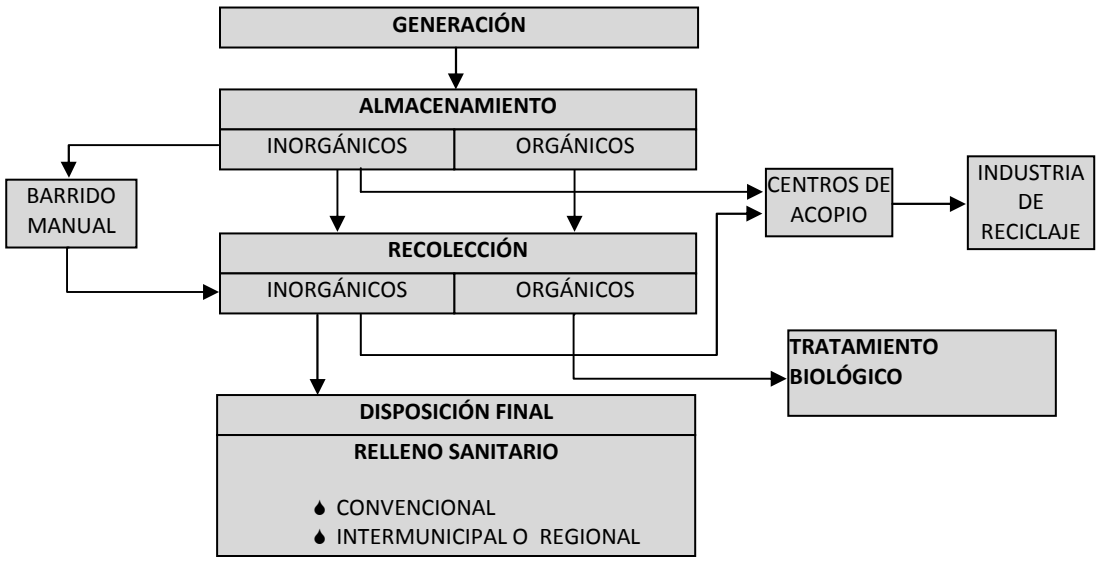


Diagrama 15. Diagrama conceptual de las tecnologías propuestas para el grupo 1.

Para dimensionar un sistema integral de manejo de residuos sólidos son necesario los estudios de ***generación*** actualizados, que ayuden a conocer entre otros aspectos los volúmenes que se generan, datos sobre las fuentes generadoras, la composición física y las características físico químicas de los residuos. Con frecuencia existe desconocimiento en las localidades sobre los volúmenes de residuos que están generando. Se recomienda en aquellos Municipios donde no se disponga de recursos suficientes para llevar a cabo estudios de generación, realizar estimaciones con base al

pesaje de los camiones recolectores durante una semana por lo menos cada cuatro meses. Los estudios de generación son en gran medida el punto de partida para definir los requerimientos de infraestructura para el manejo de los residuos. Además se debe establecer una comunicación estrecha con los gobiernos estatales sobre la puesta en marcha de programas de reducción de la generación su aplicación y seguimiento.

El esquema de manejo y aprovechamiento propuesto de los RSU (Diagrama 2), considera una serie de acciones en cada una de las etapas en las cuales es necesario establecer como **premisa básica la separación,** que tendría como objetivo evitar que se contaminen los residuos y que se facilite su separación y acondicionamiento en las diferentes etapas del manejo. La separación debe realizarse en las fracciones que mejor convengan a la zona y al sistema de aprovechamiento. La separación en las fracciones **orgánica e inorgánica** es la alternativa que proporciona una mayor gama de posibilidades de aprovechamiento, es importante destacar que se podría establecer programas específicos en algunas fuentes generadoras con un alto potencial de subproductos reciclables (oficinas, centros comerciales) la cual contempla la separación adicional de subproductos reciclables, está solo se recomienda si existiera un plan de manejo y mercado para dichos materiales.

Para un mejor control, al momento de efectuar la recolección, se requiere que los generadores identifiquen el tipo de residuo durante el **almacenamiento**, de preferencia en recipientes plásticos con tapa o en bolsas biodegradables de diferente color, por ejemplo, blancas o transparentes para los residuos orgánicos y de cualquier otro color para los residuos inorgánicos.

Se debe considerar que para lograr implementar la separación de residuos en la fuente se requiere una intensa campaña de educación ambiental en los medios de comunicación, la cual debe ser reforzada con visitas en los domicilios y en las escuelas de educación básica, media superior y superior, buscando que los estudiantes se conviertan en una presión social hacia las familias para que se generalice la separación.

Así mismo se recomienda exigir a los trabajadores que realizan el **barrido manual** en algunas localidades, que deberán mantener la separación y entregarla directamente a los vehículos recolectores, evitando así convertirse en pepenadores, ya que de lo contrario la eficiencia del barrido disminuye, además de que no cumplen con su actividad.

La colaboración de los operadores del **sistema de recolección** de residuos es indispensable para generalizar la separación en la fuente de origen, ya que serán ellos quienes verifiquen la separación de las fracciones. Adicionalmente, se debe establecer que las unidades recolectoras sean acompañadas en sus recorridos por promotores ambientales que se encargaran de orientar a la población y aplicar sanciones a quienes no separen sus residuos, las cuales pueden consistir, de inicio, en no recibir los residuos que no hayan sido separados previamente así como amonestaciones y sanciones económicas de acuerdo a la normatividad vigente. Es conocido que los recolectores reciben propinas por el servicio que proporcionan a los generadores, cuyo

monto varía en relación con el nivel socioeconómico, la cantidad de residuos y el trabajo adicional que realizan los recolectores en el servicio, como sacar los contenedores del lugar de almacenamiento y depositarlos en el camión, sin embargo esto no debe interferir durante la verificación del cumplimiento de la separación en fuente.

Cuando no se cuente con camiones provistos de sistemas compartidos para la recolección de los residuos se deberán establecer rutas de recolección separadas o alternadas para cada una de las fracciones, es decir, los residuos orgánicos se deberán recoger en distinto día a los residuos inorgánicos pudiendo conservar y utilizar el parque vehicular existente.

La separación y venta de reciclables que realiza la tripulación de los vehículos recolectores tiene aspectos positivos como incrementar el volumen de subproductos que se reciclan, con lo que se evita que lleguen a los sitios de disposición final.

Para una implementación exitosa del **tratamiento biológico**, se requiere de una comprensión integral del mercado existente de composta en la región, así como un incremento en el potencial para el desarrollo y uso de este en un futuro. Para garantizar la viabilidad financiera de esta iniciativa, y para asegurar la eficiencia óptima en la evaluación de los escenarios se necesita conocer quiénes serán los consumidores de la composta, para que tipo de cultivos (parques y jardines, plantas ornamentales o recuperación de suelos erosionados), el precio óptimo de venta y las cantidades.

Además de identificar usuarios potenciales, sus necesidades y escenarios de oportunidad y barreras para incrementar el uso de composta. Basándose en los resultados obtenidos, reunirse con los sectores cuyo potencial de incorporación de composta en sus procesos sea prometedor. Estas reuniones deberán incluir a asociaciones comerciales, organizaciones de productores orgánicos, cooperativas de productores de frutas y vegetales así como productores de flores ornamentales, entre otros. Esto se enfocará también en los costos de los insumos para fertilizantes, y la posibilidad de sustituir parcial o completamente los fertilizantes químicos a través del uso de la composta.

El relleno sanitario convencional debe ser adoptado como tecnología de **disposición final** para dar cumplimiento a la normatividad de protección del medio ambiente (NOM-083-SEMARNAT-2003). Dado que en este grupo se encuentran municipios que tienen dificultad al acceso a las tecnologías, se recomienda optar por el relleno sanitario regional o intermunicipal. Municipios que se encuentren en esta condición deberán asociarse, como lo están haciendo ya en varias entidades de la república, para sumar esfuerzos y reunir los recursos necesarios para construir un sitio de disposición final común de acuerdo a norma.

Grupo 2. Este grupo considera municipios que pueden optar por implementar y hacer el uso de las tecnologías que actualmente se están aplicando a nivel nacional, con el fin optimizar el manejo, tratamiento y disposición final de sus residuos, con beneficios ambientales, económicos y sociales. En este grupo el acceso a las tecnologías es posible y con ello debe buscar reducir al mínimo los costos derivados del manejo integral de los residuos sólidos urbanos. Las tecnologías por las cuales puede optar se describen en el diagrama 16.

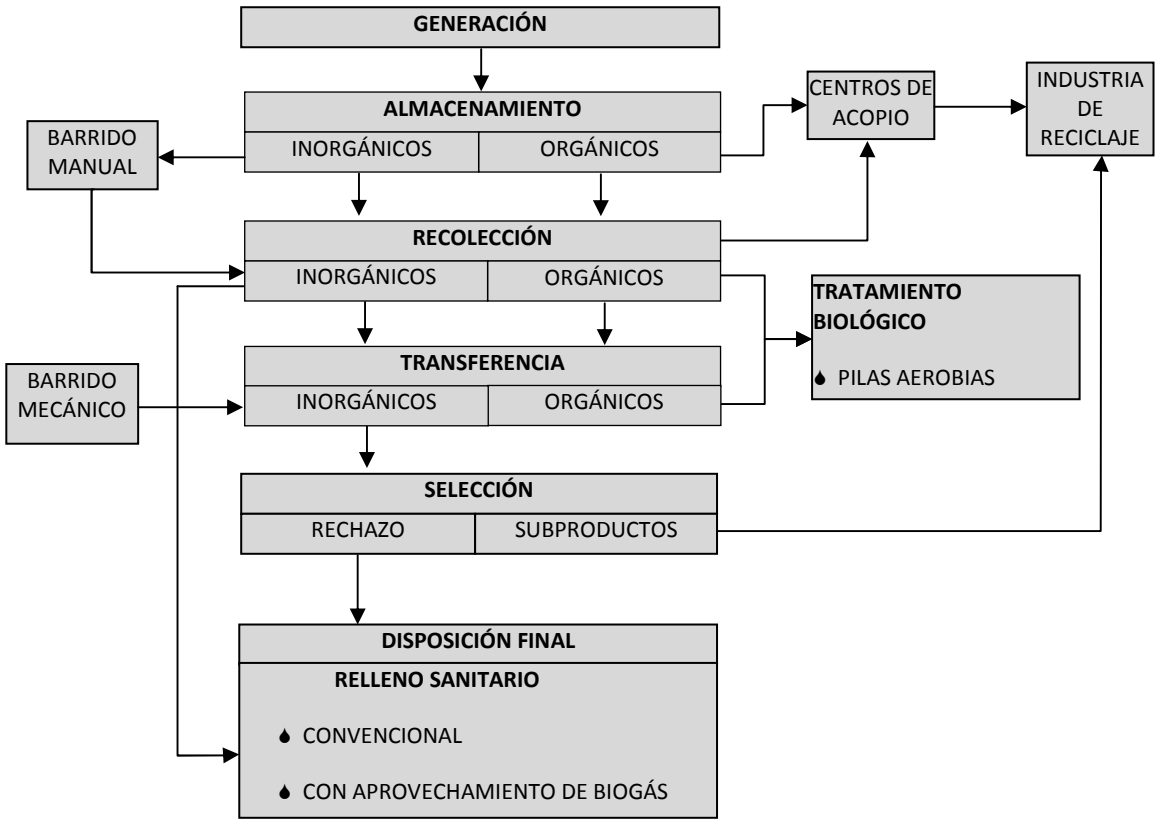


Diagrama 16. Diagrama conceptual de las tecnologías propuestas para el grupo 2.

Para el caso del Grupo 2 se recomienda considerar el uso de estaciones de transferencia y plantas de selección para optimizar el manejo y la recuperación de materiales reciclables y en algunos casos le barrido mecánicos, como se propone en el diagrama conceptual tres. De igual manera se recomienda seguir el diagrama del Grupo 1, en lo referente a las etapas de *generación* y *almacenamiento*, haciendo énfasis en la premisa básica de la clasificación de los residuos, la cual contempla la separación de los residuos orgánicos de los inorgánicos.

Para el caso del **barrido mecánico** se ha encontrado que su implementación es costosa, pues representa altos costos de mantenimiento y operación, por lo tanto si se desea implementar un sistema de barrido mecánico habrá que considerar éstos costos frente a las ventajas que pueda tener en ésta actividad. Otro aspecto a considerar en este tipo de barrido es que toda la basura recolectada será enviada como residuos inorgánicos a los centros de selección o a los rellenos sanitarios, pues no es posible hacerlo en forma separada. La implementación del barrido mecánico pudiera ser viable en vialidades principales de los centros de las ciudades.

La experiencia en la **recolección separada** de residuos muestra dos posibles sistemas a implementar los cuales pueden ser adoptada por el Grupo 2: 1) establecer rutas de recolección para cada una de las fracciones o, 2) utilizar vehículos recolectores con compartimientos separados. El primer caso implica la reorganización de rutas de recolección pudiendo conservarse el parque vehicular existente. En la segunda opción, se requiere la renovación de la flota vehicular, adquiriendo nuevas unidades con compartimientos separados para cada fracción de residuos, las cuales tienen un costo mayor en un 50% de los vehículos con un solo compartimento. Se podría realizar la adaptación de las carrocerías de los vehículos de modelo más reciente con lo que se lograría en algunas rutas realizar la recolección simultánea. En este caso se pueden conservar las rutas existentes de recolección.

Un elemento que puede tener un impacto negativo en la instrumentación y generalización de un sistema de separación en la fuente de origen y recolección separada de los residuos, *lo constituye la selección y venta de reciclables que realiza la tripulación de los vehículos recolectores*, ya que los generadores seguramente considerarán injusto realizar el trabajo de separación y entregar materiales listos para su venta a los recolectores, siendo la tripulación de los vehículos los que se beneficien de su esfuerzo.

El sistema de recolección separada también implicaría cambios en las **estaciones de transferencia** existentes, sin embargo en localidades donde se requiere una mayor cantidad de estaciones se tendrán que realizar estudios de factibilidad técnica–económica para determinar la ubicación de las nuevas estaciones, donde se destinaran tolvas para depositar los residuos separados y los vehículos en que serán transportados a sus respectivos destinos: la fracción inorgánica como un paso intermedio hacia las plantas de selección para recuperar los subproductos reciclables, y la fracción orgánica hacia el tratamiento biológico.

Es posible que el transporte de los residuos separados implique cambios importantes en el número de tractocamiones y cajas de transferencia, ya que puede haber modificaciones importantes en los tiempos de espera y porque la fracción inorgánica implica mayor volumen y menor peso, en cambio en la fracción orgánica es lo contrario, presenta menor volumen y mayor peso. Bajo esta circunstancia es importante establecer que los sistemas de compactación en estaciones de transferencia no son recomendables para la fracción orgánica. Para la fracción inorgánica se podría contar con compactadores fijos que ayuden a reducir el volumen aumentando la cantidad de residuos transportados. Es importante destacar que las estaciones de

transferencia se convierten en el punto de distribución primaria de los residuos sólidos urbanos.

Las **plantas de separación** son una herramienta que puede contribuir de manera significativa en la reducción del volumen de residuos que van a confinamiento y los costos de disposición final, así como a la recuperación de material reciclable. Para la implementación de esta tecnología, se debe de considerar, además de costo de inversión, los requerimientos de espacio para la instalación y almacenamiento de residuos, los costos de operación y transporte del rechazo al sitio de confinamiento. Es indispensable disponer de un mercado para los productos recuperados, de lo contrario puede resultar contraproducente y antieconómico. Desde el punto de vista operativo, el problema más frecuente lo representa los bajos porcentajes de recuperación (2%-15%), de acuerdo a la experiencia que se tiene en plantas de selección (mecánico-manual) el 15% es el valor más común en recuperación de subproductos.

La importancia de las plantas de selección, radica en que una vez generalizado el sistema de separación en la fuente de origen y la recolección separada de los residuos, recibirán solo la fracción inorgánica que contiene materiales potencialmente reciclables y, seguramente las tazas de recuperación se incrementarán sensiblemente, además de que se podrá realizar una selección más fina de los reciclables sobre las bandas de selección. El incremento de la productividad en las plantas de selección puede ser aún mucho mayor si se suprime la selección de reciclables a bordo de los vehículos recolectores.

Como se ha mencionado en las recomendaciones para el grupo anterior una implementación exitosa del **tratamiento biológico**, requiere de un buen mercado existente para la composta en la región. A este respecto se recomienda optar por la implementación del compostaje por **pilas estáticas** y **el vermicompostaje**, ambos métodos han sido implementados en varias entidades del país con resultados alentadores. Al respecto es importante explorar otras opciones de tratamiento y/o procesamiento de la fracción orgánica como lo hacen en otros países, como por ejemplo la digestión anaerobia, la biotransformación, el cocomposteo, el tratamiento mecánico-biológico, la producción de harinas vegetales para la elaboración de alimento balanceado para animales domésticos y la producción de alimentos proteicos para actividades pecuarias (ver Capítulo 4.2).

El cuanto al rechazo de las planta de selección, partiendo de que lleva a cabo una óptima selección podría considerarse la aplicación de tratamientos térmicos como la Gasificación que actualmente es evaluada experimentalmente en México, debido a que al ser residuos inorgánicos secos contienen un alto poder calorífico.

A este Grupo 2, se le recomienda adoptar como mínimo por el relleno sanitario convencional **para la disposición final** de sus residuos sólidos. Dependiendo del volumen de residuos sólidos que se generen y de los recursos disponibles, la disposición final deberá ser precedida como ya se mencionó anteriormente por una adecuada selección de residuos para así alargar la vida útil del relleno.

El aprovechamiento de biogás generado en los rellenos sanitarios debe ser considerado como un siguiente paso a implementar, como parte del manejo sustentable de los residuos sólidos, no solo por ser una medida para evitar el efecto invernadero que producen las emisiones de gas metano, sino como una alternativa real para generar energía eléctrica de manera sustentable. Se debe explorar el financiamiento vía el desarrollo de proyectos MDL (Mecanismos para el Desarrollo Limpio) o por la vía de los bonos de carbono; al respecto se tiene experiencia de por lo menos un caso en México.

En cuanto a las nuevas tecnologías de relleno sanitario, se recomienda explorar la tecnología del bio-relleno metanogénico, particularmente en aquellos casos en donde se desee optimizar la producción de biogás para su aprovechamiento en la generación de energía eléctrica. Sin embargo se deben realizar los estudios correspondientes de factibilidad técnica y económica para su implementación, considerando que es una tecnología en la que se debe generar experiencia en México.

Grupo 3. En este grupo se incluyen aquellos municipios y entidades en donde el uso de tecnologías se convierte en una herramienta indispensable para poder llevar a cabo de manera eficiente y segura, el manejo integral de sus residuos sólidos.

El tamaño de la población y la cantidad de residuos que generan, la protección del medio ambiente, la seguridad de la población y en algunos casos, las limitaciones de terreno para el emplazamiento de sitios disposición final, son elementos que justifican y demandan el uso de tecnologías, que ayuden a disminuir la generación de basura, a eficientar la recuperación de residuos reciclables e incrementar la vida útil de los sitios de disposición final. El caso de las grandes ciudades como el Distrito Federal, Guadalajara, Monterrey, se encuentran dentro de este grupo que requiere de la aplicación de tecnologías.

Tomando como base el actual manejo integral de los residuos sólidos urbanos en México y la experiencia desarrollada a nivel nacional, para el grupo 3 se hace la siguiente propuesta de selección de tecnologías de tratamiento y disposición final (Diagrama 17).

Para el Grupo 3 aplicarían de igual manera todas las recomendaciones realizadas a los Grupos 1 y 2 respectivamente, para la selección de tecnologías de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos. Sin embargo, dadas las características particulares de este grupo, resulta inaplazable el adoptar nuevos esquemas de tratamiento y disposición final de residuos sólidos urbanos con un enfoque sustentable y dentro marco normativo que garantice la protección al ambiente.

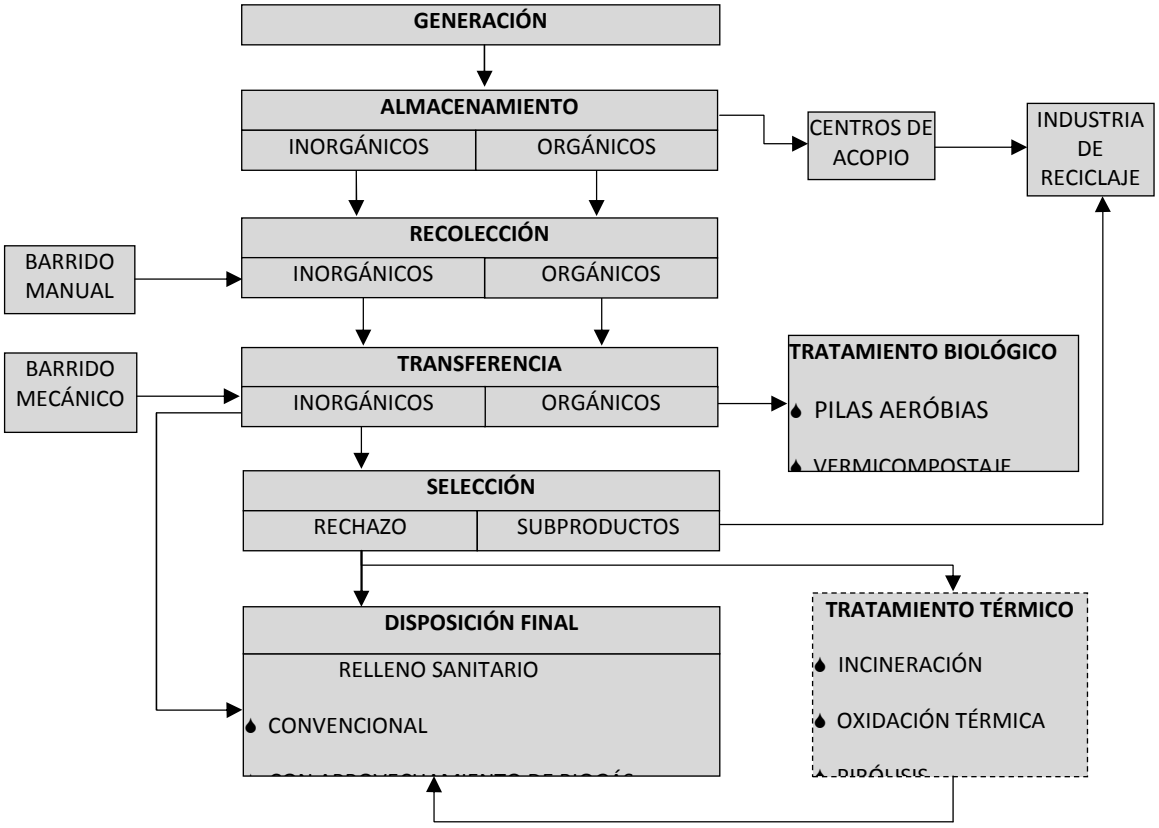


Diagrama 17. Diagrama propuesto para la selección de tecnologías para el grupo 3

En cuanto a la disposición final se refiere, se debe cambiar el sistema de operación convencional de rellenos sanitarios y evolucionar hacia nuevos diseños, que permitan el aprovechamiento del biogás que se producen en este tipo confinamientos, como una fuente alterna para obtener energía renovable. Los grandes volúmenes de metano que se generan diariamente en estos sitios (aproximadamente el 16% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero), son liberados al ambiente provocando el calentamiento de la atmósfera o bien, en el mejor de los casos, es quemado sin la recuperación de energía. El aprovechamiento de biogás de rellenos sanitarios puede ser susceptible de financiamiento mediante el desarrollo de proyectos MDL (Mecanismos para el Desarrollo Limpio) o por la vía de los bonos de carbono.

El bio-relleno metanogénico es una opción prometedora, particularmente en aquellos casos en donde se desee optimizar la producción de biogás para su aprovechamiento. Para su implementación deberán realizarse los estudios correspondientes de factibilidad técnica y económica, y tomar en cuenta que es una tecnología en la que debe generase experiencia en México.

Recientemente se han realizado estudios y proyectos a nivel internacional orientados a la captura y uso productivo del biogás (metano) como fuente de energía

limpia, entre ellos y el más reciente proyecto denominado “Metano para Mercados (M2M)” en el cual México ha participado en ésta iniciativa desde 2005 a través de la SEMARNAT en coordinación con la COCEF y la USEPA. En éste proyecto se privilegia la recuperación en el corto plazo del metano y su uso como fuente de energía, con esto se busca mejorar la calidad del aire y reducir las emisiones de gas de efecto invernadero. En marzo de 2006 se firmó el acuerdo de cooperación SEMARNAT-USAID-USEPA para el desarrollo de proyectos de captura y uso productivo de CH_4 en México.

Según éste proyecto las aplicaciones viables para la utilización del biogás como combustible alterno puede tener las siguientes aplicaciones: combustible de grado BTU medio para caldera como fuente de calor, combustible de grado BTU medio para electricidad y combustible de grado BTU alto para electricidad o gas natural de alta calidad. Al respecto históricamente se ha demostrado que la tecnología es segura y viable económicamente. Por otro lado las tecnologías que permiten el aprovechamiento del biogás (metano) son las siguientes: motores de combustión interna, turbinas de gas, turbinas de vapor de ciclo rankine, motores de ciclo combinado (turbina de gas y turbina de vapor) y microturbinas (Guía técnica para la promoción de la iniciativa de metano para mercados en México).

La rentabilidad y el uso del relleno sanitario como única alternativa para la disposición de residuos sólidos, sin mayor aprovechamiento que la recuperación de biogás, empieza a agotarse. Lo anterior no sólo por la recurrente falta de espacios para su emplazamiento, sino porque se debe explorar esquemas de manejo y tratamiento que permitan un uso más sustentable del los residuos aprovechando en parte el potencial energético que estos tienen.

El **procesamiento o conversión térmica** es una de las tecnologías más avanzadas para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos y sin duda una de los temas que mayor controversia causa en México para su implementación. En parte se debe los efectos negativos que pueden causar en el ambiente, los productos que se generan del proceso, cuando no existen los controles adecuados o se utilizan tecnologías obsoletas, a la falta de información y conocimiento de las mismas y a los costos asociados a estas tecnologías, aunado a falta de inversión.

Tecnologías de tratamiento térmico como la incineración, se están aplicando en otros países y forman parte fundamental de los esquemas de tratamiento de los residuos urbanos. En Europa, Japón y Norteamérica, existen 304 instalaciones distribuidas en 18 países, en el 96% de los casos se recupera la energía del procesamiento de los residuos, con una capacidad instalada promedio de 177,000 Ton/año. La electricidad generada es equivalente al total de la demanda eléctrica de Suiza; un país que procesa 80% de sus residuos urbanos, contando para ello con 30 incineradores. En la Unión Europea el uso de la incineración se está incrementado. En los Estados Unidos de América cuentan con 150 incineradores en donde se procesan del orden del 15% de sus residuos. En Canadá por otra parte, existen 20 incineradores que procesan el 6% de sus residuos sólidos (SEMARNAT).

En México se tiene experiencia de por lo menos 10 años a la fecha, particularmente en la incineración de residuos peligrosos industriales y residuos biológicos infecciosos. En donde hasta el año 2008 se contaba con una capacidad instalada de 216,206 y 27,656.6 Ton/año respectivamente, mientras que el número de plantas incineradoras en el mismo año era de 13 y 21 plantas respectivamente. Esta experiencia debe ser considerada para la evaluación de su potencial aplicación en el caso de los residuos sólidos urbanos.

Con respecto **al tratamiento térmico de residuos urbanos**, a partir de 2005 inició su operación el Campo Experimental para Gasificación de Basura por medio de Arco de Plasma, en el Salinas Victoria, Nuevo León, con reportes de resultados favorables.

La incineración de residuos sólidos urbanos y de manejo especial es de competencia estatal o municipal. Por lo que los incineradores que se pretendan instalar para este fin, en los diferentes Estados de la República Mexicana, deberán acatar lo dispuesto por la Legislación local. Para su operación, los incineradores de residuos sólidos urbanos y de manejo especial deberán observar lo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, y tratándose de las cenizas resultantes NOM-052-SEMARNAT-2005 o en su caso, se puede optar por su disposición en confinamientos controlados.

4.7 Tecnologías que pueden tener acceso al mercado de bonos de carbono.

Los bonos de carbono son por el momento, una de las estrategias para la disminuir la contribución de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) e incrementar la competitividad en el mercado de las tecnologías disponibles para su aplicación en nuestro país.

En el presente capítulo se estudiarán los puntos que intervienen en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Este mecanismo es de gran interés para países como México, que desean llevar a cabo proyectos que reduzcan emisiones de CO_2 y pretendan recibir beneficios económicos de ellos. Dentro de esta sección se explica el ciclo que debe seguir un proyecto para ser considerado MDL y poder certificar las reducciones de emisiones e ingresar al mercado de bonos de carbono, especificando los requisitos, procesos, tiempos y costos que implica. Tal es el caso de las tecnologías aplicables al manejo de los RSU.

También se exponen los proveedores que ya cuentan con una cartera de proyectos con acceso al mercado de bonos de carbono, tanto en México como en otros países. Haciendo así más sencilla la identificación de las tecnologías que pueden beneficiar a nuestro país con bonos de carbono.

El mercado de bonos de carbono

El nombre de “bonos de carbono” se ha dado como un nombre genérico a un conjunto de acciones que pueden generarse por diversas actividades de reducción de emisiones. Así, se puede decir que existen varios tipos de bonos de carbono, dependiendo de la forma en que éstos fueron generados:

- Certificados de Reducción de Emisiones (CERs): Los países del Anexo I (Cuadro 1) que inviertan en proyectos bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio, pueden obtener Certificados de Reducción de Emisiones por un monto equivalente a la cantidad de bióxido de carbono que se dejó de emitir a la atmósfera como resultado del proyecto. Para ello, el proyecto debió cumplir con los requisitos establecidos por el Consejo Ejecutivo del Mecanismo de Desarrollo Limpio.

1 CER = 1 ton CO_2 reducida o capturada.

- Montos Asignados Anualmente (UAA): Corresponde al monto total de emisiones de gases de efecto invernadero que a un país se le permite emitir a la atmósfera durante el primer período de compromiso (2008-2012) del Protocolo de Kyoto. Cada país divide y asigna su respectivo monto a empresas localizadas en su territorio a manera de límite de emisión por empresa.

- Unidades de Reducción de Emisiones (URE): Corresponde a un monto específico de emisiones de gases de efecto invernadero que dejaron de ser emitidas por la ejecución de un proyecto de Implementación Conjunta.

- Unidades de Remoción de Emisiones (RMUs): Corresponde a créditos obtenidos por un país durante proyectos de captura de carbono. Estas unidades o créditos solamente pueden ser obtenidas por países del Anexo I del Protocolo de Kyoto y pueden obtenerse también en proyectos de Implementación Conjunta. Las Unidades de Remoción de Emisiones solamente pueden ser usadas por los países dentro del período de compromiso durante el cual fueron generadas, y son para cumplir con sus compromisos de reducción de emisiones. Estos créditos no pueden ser considerados en períodos de compromiso posteriores.

El Mercado Internacional del Carbono consiste en la compra y venta de dichos bonos de carbono, de acuerdo a cada uno de los mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto (PK):

- EL COMERCIO DE EMISIONES. Este permite la compraventa de emisiones entre las partes incluidas en el anexo I de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), para el cumplimiento de sus compromisos.
- LA APLICACIÓN CONJUNTA. Permite contabilizar las unidades de reducción de emisiones obtenidas en proyectos realizados cuyo objetivo sea la reducción de emisiones antropogénicas o el incremento de las absorciones de GEI a las partes incluidas en el anexo I de la CMNUCC.
- MECANISMOS DE DESARROLLO LIMPIO (MDL). Permite por un lado ayudar al desarrollo sostenible de las partes no incluidas en el anexo I (Cuadro 2) de la CMNUCC, mediante la ejecución de proyectos de tecnologías limpias y por otro lado, permiten generar CERs, que pueden ser contabilizadas por los países.

Cabe destacar que el comercio de emisiones y la aplicación conjunta son exclusivos de los países pertenecientes a los anexos I y II de la CMNUCC.

México no se encuentra entre los países de los anexos I y II, sin embargo los países que están fuera de estos anexos pueden participar en el PK exclusivamente a través de los MDL, siempre y cuando hayan suscrito el PK y lo hayan ratificado posteriormente.

México firmó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático el 7 de mayo de 1993 y ratificó el PK el 24 de noviembre del año 2000.

El 23 de enero del 2004 en el acuerdo 230104 publicado en el diario oficial de la federación se da a conocer la creación de la comisión intersecretarial, denominada Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y de Captura de gases de efecto invernadero.

Posteriormente el 25 de abril del año 2005 es publicado en el diario oficial de la federación el acuerdo por el cual el Comité Mexicano para proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero pasa a conformar la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), coordinada por la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), cuyos objetivos en esencia siguen

siendo los mismos; identificar oportunidades, facilitar, promover, difundir, evaluar y en su caso aprobar proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero en nuestro país.

Cuadro 63. Listado de países.

Australia	Austria	Bélgica	Bulgaria	Canadá	Croacia
República Checa	Dinamarca	Estonia	Comunidad Europea	Finlandia	Francia
Alemania	Grecia	Hungría	Islandia	Irlanda	Italia
Japón	Latvia	Liechtenstein	Lituania	Luxemburgo	Mónaco
Holanda	Nueva Zelanda	Noruega	Polonia	Portugal	Rumanía
Federación Rusa	Eslovaquia	Eslovenia	España	Suecia	Suiza
Ucrania	EE.UU.				

Cuadro 64. Listado de países en desarrollo en Latinoamérica y el Caribe.

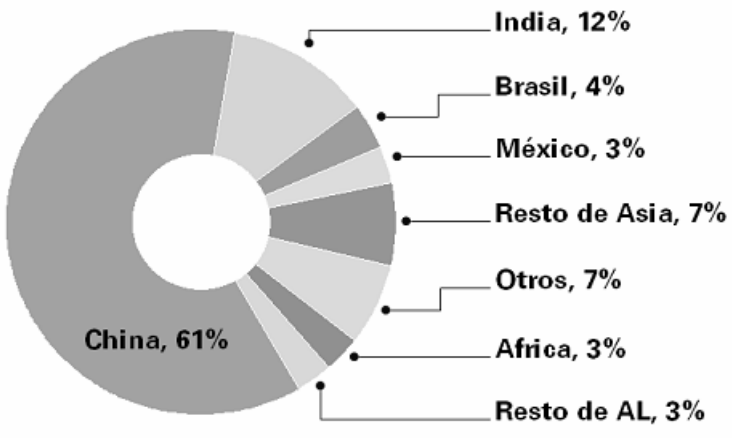
Antigua y Barbuda	Argentina	Bahamas	Barbados	Bolivia	Brasil
Chile	Colombia	Costa Rica	Cuba	República Dominicana	Ecuador
El Salvador	Guatemala	Guinea	Honduras	Jamaica	México
Nicaragua	Panamá	Paraguay	Perú	Santa Lucía	
Trinidad y Tobago	Uruguay				Mozambique
					San Vicente y Las Granadinas

Fuente: Shanon Flint. Mecanismo de desarrollo limpio-identificación del proyecto.

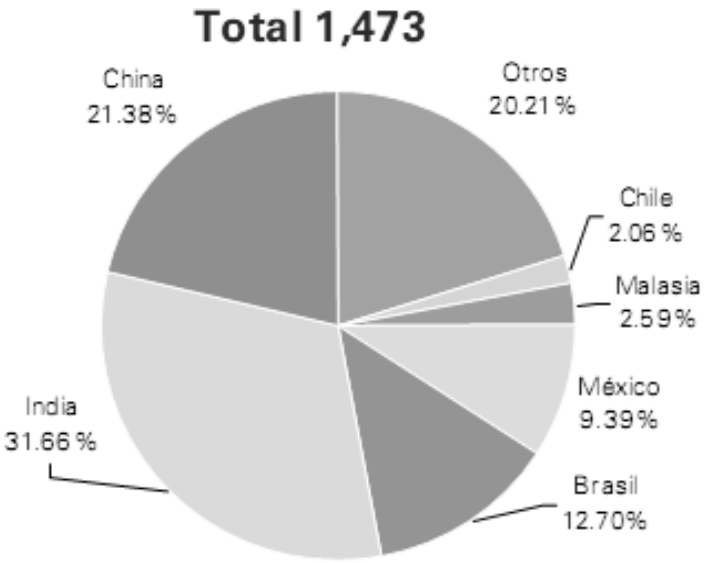
Los bonos de carbono permiten al desarrollador de un proyecto obtener un ingreso, por la venta en mercados internacionales, de la reducción de emisiones que un proyecto evita. Estos ingresos ayudan a autofinanciar el proyecto y/o promover el desarrollo de nuevos proyectos para una empresa, mejorando así su reputación y posicionamiento en el mercado.

Dentro de los países vendedores de bonos de carbono, China es el mayor vendedor y México ocupa el cuarto sitio con el 3% del mercado (Gráfica 24).

De acuerdo con la CMNUCC 1,473 han sido registrados ante la Junta Ejecutiva de las Naciones Unidas, de los cuales 189 son proyectos mexicanos del MDL con cartas de aprobación y 112 han sido registrados. Representando el 9.39% del total (Grafico 2).



Grafica 24. Principales países vendedores de bonos de carbono.



Fuente: KPMG. Oportunidades de Negocio en el mercado de bonos de carbono. Marzo, 2009

Gráfica 25. Proyectos MDL registrados.

Las reducciones anuales totales de los proyectos MDL en México fueron de 11,592 ktCo2e. Las mayores reducciones se obtuvieron de proyectos de manejo de residuos de ganado, rellenos sanitarios, energía eólica e incineración de Hidrofluorocarbonos HFCs (Cuadro 3). Su distribución por entidad federativa se muestra en el Mapa 15.

El mayor interés se ha visto enfocado en proyectos de cogeneración, captura de emisiones fugitivas, seguidos de proyectos hidroeléctricos y mitigación de N2O.

Cuadro 65. Proyectos MDL en México

Tipo de Proyectos	Ubicación	Núm. Proyectos	Kt CO2e/año
Manejo de residuos en granjas porcícolas	AGS., CHIH., CHIS., COAH., DGO., EDO. MEX., GTO., JAL., MICH., NL., NAY., PUE., QRO., SIN., S.L.P., SON., OAX., TAMPS., VER., YUC.	88	2,507
Manejo de residuos en establos de ganado vacuno	AGS., B.C., CHIH., COAH., GTO., DGO., JAL., N.L., PUE., QRO., SIN.,TLAX.	55	983
Metano de rellenos sanitarios	AGS.,B.C., CHIH., DGO., EDO. MEX.,GTO., JAL., MOR., N.L.,SIN., YUC	14	1,968
Manejo de aguas residuales	SON., OAX., PUE.	3	36
Energía eólica	B.C. y OAX.	8	2,264
Hidroeléctricos	GRO., JAL., MICH., OAX. y VER.	5	191
Incineración HFC-23	N.L.	1	2,155
Mitigación de N2O en la industria química	VER.	1	103
Cogeneración y eficiencia energética	B.C., COAH.,EDO. MEX., HGO., JAL., MICH.,N.L., PUE., SIN., S.L.P., SON., TAB., TAMPS., Q. ROO., VER., YUC.	11	696
Emisiones fugitivas	COAH., VER.	2	665
Transporte	D.F	1	24
Total		189	11,592

Fuente: KPMG. Oportunidades de Negocio en el mercado de bonos de carbono. Marzo, 2009

Cabe señalar que del total de los proyectos MDL, sólo 22 han recibido pago por la venta de CERs (Cuadro 66 complemento).

Cuadro 66. Proyectos MDL con bonos de carbono.

Nombre del proyecto	Cantidad de proyectos	Cantidad de CERs (x1000)
Quimobásicos	1	2155
Relleno Sanitario Aguascalientes	1	163
Hidroeléctrica Trojes	1	21
Hidroeléctrica Chilatán	1	33
Petrotemex	1	261
Proyectos en granjas porcícolas	17	1315

Fuente: Foro: El Cambio Climático y los Mercados de Bonos de Carbono en México, Noviembre 2009

Fuente: KPMG. Oportunidades de Negocio en el mercado de bonos de carbono. Marzo, 2009

Mapa 15. Distribución de mayores reducciones de kt CO_2^e por proyectos MDL por entidad federativa del país.

Consultores y desarrolladores de proyectos.

En México los consultores y desarrolladores de proyectos con mayor experiencia dentro de la tecnología de aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios son los siguientes:

- CANROMEX: Cuenta con 6 rellenos sanitarios en operación con altos potenciales de reducción de emisiones, ubicados en Cd Juaréz (170, 000 tCO_2e de potencial de reducción), Cancún (85,000 tCO_2e), Atizapan (80,000 tCO_2e), dos en San Luis Potosí, Peñasco (80,000 tCO_2e) y Santa Rita (24,476 tCO_2e) y Cuautitlán (160,476 tCO_2e).

- Tú Transformas: Estuvo a cargo de la remediación del tiradero de Milpillas en Morelos y tiene en operación el relleno sanitario de Rincón Verde en Naucalpan cuyo potencial de reducción es de 2,718 $KtCO_2e$. Además cuenta con tecnología de manejo de lixiviados, aunque su precio es muy alto.

- Ecosecurities: Cuenta con 5 rellenos sanitarios en operación ubicados en Aguascalientes (600 $KtCO_2e$), Ecatepec (400 $KtCO_2e$), Tultitlán (500 $KtCO_2e$), Durango (450 $KtCO_2e$) y Tecámac (400 $ktCO_2e$). Siendo el relleno de Aguascalientes el único que ha obtenido bonos de carbono en México.

Metano de rellenos sanitarios.

El biogás producido por la degradación anaeróbica de los residuos representa un yacimiento de energía importante, en forma de metano (CH4). La destrucción del metano en CO2 por incineración es útil para reducir el efecto invernadero del biogás así como para disminuir los olores. La valoración energética necesita técnicas de captación del biogás (pozos, drenes, coberturas, etc.) que pueden ser sencillas, realizados con tecnologías apropiadas. La valoración en forma térmica y la transformación en electricidad son las formas más como se puede aprovechar el biogás de un relleno sanitario.

El biogás es producido por la degradación anaeróbica (sin oxigeno) de la materia orgánica: cuando los desechos son dispuestos en un relleno sanitario, primero se pasa a una fase de degradación aeróbica (con oxígeno) pero muy rápidamente el oxígeno presente en el cuerpo de los desechos es consumido y empieza la degradación anaeróbica.

La cantidad total de biogás que es producido por los desechos depende de su composición y muy directamente de la proporción de materia orgánica degradable, que depende de los tipos de desechos. Generalmente esta proporción de materia orgánica no es conocida, pero se pueden considerar unos 25 a 30 % de carbono en los desechos urbanos.

Duración de la producción

Los principales factores que influencian sobre la producción del biogás en el tiempo son los siguientes:

- ✓ Cantidad, calidad y edad de los desechos dispuestos: Después de un incremento rápido, la producción de un metro cúbico de desechos disminuye regularmente. Según los tipos de desechos, se consideran 3 tipos de velocidad de degradación del carbono:

Velocidad de degradación	**Vida Media**
Degradación rápida: desechos vegetales, alimenticios	1.5-2 años
Degradación rápida: desechos vegetales, alimenticios	5-10 años
Degradación lenta: cartón, madera, cuero	10-20 años o más

Según la composición media de los desechos, se puede estimar la repartición y la degradación media del carbono.

- ✓ Agua: La presencia de agua es un factor necesario de la producción de biogás: si falta agua, la producción de biogás disminuye rápidamente. Pero un aumento de la cantidad de agua no influye significativamente sobre la producción de biogás.

- ✓ Temperatura: la temperatura al interior del cuerpo del relleno influye fuertemente la velocidad de degradación de estos y la producción de gas. A mayor temperatura es más fuerte y rápida la producción de biogás.
- ✓ Productos químicos: la mezcla de desechos industriales puede limitar o a veces aumentar la velocidad de la producción de biogás: la presencia de ácidos o bases, de metales pesados o de desechos tóxicos puede disminuir o suprimir parcialmente la producción. Al contrario, la presencia de lodos orgánicos (lodos provenientes del tratamiento de aguas negras) pueden acelerar la producción.
- ✓ Estado físico de los desechos: una buena compactación o una reducción del tamaño de los desechos pueden aumentar también la producción de biogás.

La producción total del biogás dada por la composición de los desechos y la duración de la producción depende de los factores mencionados. En clima templado, se cuenta una producción fuerte durante 10 a 20 años después del depósito de los desechos. En zona fría, la producción puede ser más larga y en países calientes más corta. Dado que México cuenta con un clima templado, es de esperarse que el tiempo productivo de un relleno sanitario se encuentre entre un periodo de 10 a 20 años.

De acuerdo con los consultores y desarrolladores de proyectos mencionados anteriormente, para que un relleno sanitario sea rentable debe tener por lo menos 2 millones de toneladas de residuos acumulados y/o debe contar con una generación diaria de 500 toneladas de residuos. Actualmente México cuenta con 62 sitios potenciales para aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios.
Dentro de las consideraciones que se deben tomar en cuenta para facilitar el acceso al MDL, los consultores señalan los siguientes:

- ✓ Tener títulos de propiedad del terreno en donde se encuentra el relleno sanitario.
- ✓ Tener en cuenta las condiciones de los vertederos: Regularización y saneamiento del sitio.
- ✓ Considerar el cambio de administración municipal puesto que generan retrasos que ponen en riesgo la viabilidad del proyecto.

Acceso al Mercado de bonos de carbono. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)
De los mecanismos de flexibilidad del PK expuestos anteriormente, el MDL es el único que contempla la participación de un país No Anexo I, como es el caso de México, que cuenta con la ventaja de tener emisiones que están por debajo del límite permitido, pudiendo convertirse en un buen proveedor de bonos de carbono para aquellos países que firmaron el Protocolo de Kyoto y que superan los estándares prefijados.

Para que las tecnologías puedan participar en el mercado de bonos de carbono, se requiere de CERs, los cuales son obtenidos al finalizar el ciclo de un proyecto MDL. Es por ello, que resulta necesario cumplir los procesos y requisitos, así como los tiempos y costos que establece el MDL.

Para desarrolladores de proyectos en países del primer mundo, el MDL puede ser usado para mejorar inversiones de proyectos con menores emisiones de GEI. Lo anterior hace que una situación ganar-ganar para todas las partes.

El mercado de bonos de carbono ofrece interesantes oportunidades de negocios a quienes sean capaces de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Las oportunidades están por ejemplo en reducir las emisiones de carbono generados por el consumo de combustibles fósiles, el secuestro de carbono en sumideros forestales, reducir las emisiones de metano generados por el ganado en su digestión de los alimentos, la captura y reutilización del metano generado por los rellenos sanitarios, etc.

Los CERs generadas por proyectos MDL pueden ser utilizados principalmente de tres maneras:

- Opciones de compra/venta de CERs: En este caso, un comprador de un país del Anexo I firma un acuerdo de compra/venta con la organización que implementa el proyecto MDL para comprar/vender los CERs. El comprador no invierte en el proyecto y por lo tanto no está sujeto a ningún riesgo. Si las CERs no son generadas, el comprador no pierde nada.
- Inversión Directa para obtener CERs: En el cual, un comprador de un país del Anexo I invierte en la actividad de proyecto MDL y conserva las CERs generadas por el proyecto. En este caso, el riesgo es corrido por el comprador de CERs. Sin embargo, este proceso puede resultar en un menor costo en la adquisición de CERs para ciertas clases de proyecto donde el patrocinador del proyecto tiene dificultades para asegurar el financiamiento del mismo.
- CERs para uso propio: Esto se aplica a las compañías multinacionales de países Anexo I. Estas compañías pueden desarrollar proyectos MDL en sus subsidiarias en países No Anexo I y retener los CERs para su propio uso, para ser acreditadas para su país (Anexo I).
- Las combinaciones de estos casos también son posibles.

Definición de tecnologías y proyectos MDL que pueden tener acceso al mercado de bonos de carbono.

A continuación se presentan los sectores que emiten GEI, así como las tecnologías y proyectos que reducen o secuestran GEI y que son elegibles para realizar proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio y que pueden tener acceso al mercado de bonos de carbono.

- Energías renovables: Generación de energía a través de recursos hidroeléctricos, eólicos, biomasa, solares. Reducción de emisiones de CO2 al evitar la generación de energía a través del uso de combustibles fósiles. Dentro de las tecnologías aplicables a residuos sólidos se tiene la gasificación, oxidación térmica, pirolisis; con las cuales se genera energía.
- Eficiencia energética: Reingeniería de procesos, iluminación, potencia, ecotecnologías en vivienda, mejoramiento en plantas.
- Sustitución de combustibles: Gasolina por gas natural, diesel, biocombustibles. Para residuos sólidos, esta sustitución se realiza a través de diversos procesos como el aprovechamiento del biogás y la gasificación.
- Residuos orgánicos: Estabilización y aprovechamiento de los residuos orgánicos. Composta, tratamiento biológico, desecado.
- Recuperación de metano: Recuperación de biogás en un relleno sanitario que permitirá la generación de electricidad. Captura y quema del biogás generado a partir de la descomposición de los residuos orgánicos.
- Proyectos forestales: Reforestación y forestación.
- Transporte: Nuevas tecnologías y cambio modal.
- Captura y aprovechamiento de emisiones fugitivas: Gas grisú de minas de carbón, captura y utilización de gas natural en la extracción del petróleo, secuestro de carbono.
- Captura y destrucción de gases industriales: Destrucción de HFC-23

Procedimientos y tiempos para ingresar al Mercado de bonos de carbono.

El proceso necesario para que un proyecto susceptible de reducción de emisiones de GEI pueda tener CERs y con ello participar en el mercado de bonos de carbono es el siguiente:

1. Identificación del Proyecto.

Esta tarea está a cargo del responsable o promotor del proyecto. Está conformada por los siguientes tres pasos:

- Recepción y Revisión de la Nota Idea del Proyecto

La idea de proyecto es revisada de acuerdo con los criterios básicos de elegibilidad del MDL. Si el PIN (por sus siglas en inglés Project Idea Note) cumple con estos criterios, el proyecto será asignado a un especialista técnico del fondo de carbono para su seguimiento. De lo contrario, el proyecto será rechazado.

- Preparación de la Nota Concepto del Proyecto

Es una versión más elaborada de la Nota Idea de Proyecto. La preparación de este documento incluye el desarrollo de una línea de base preliminar que es el escenario que se presenta de manera razonable de las emisiones antropogénicas de GEI que se

producirían de no realizarse el proyecto MDL que se propone, el cálculo de la reducción de emisiones esperadas, y una revisión inicial de los riesgos del proyecto.
Éste es el punto de partida para comenzar la inversión, realizar el estudio de factibilidad y determinar el mecanismo de financiamiento del proyecto.

- Aprobación del País Anfitrión

Este tercer documento, se elabora cuando se tiene certeza de que el proyecto es viable. Una vez elaborado, se presenta a la Autoridad Nacional en MDL. De ser positiva la evaluación, la Autoridad Nacional del MDL, emite una Carta de Aprobación en la cual se indica que el proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país.

En México la Autoridad Nacional es SEMARNAT (Cuadro 66).

Cuadro 67. Autoridad Nacional en México.

Mexico	Comisión Intersecretarial de Cambio Climàtico Av. San Jerónimo 458, Piso 3, Col. Jardines del Pedregal, Delegación Álvaro Obregón, 01900 México, D.F. Sr. José Antonio Urteaga Dufour (jose.urteaga@semarnat.gob.mx) Coordinador del Comité Mexicano p. Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases (COMEGEI) Phone: (52-55) 5490 2115 Fax: (52-55) 5490 2194

Fuente: Mecanismo de Desarrollo Limpio. Autoridades Nacionales Designadas. http://cdm.unfccc.int/DNA/index.html

2. Estudio de Línea de Base y Protocolo de Monitoreo y Verificación

El propósito del estudio de línea de base es describir cuál hubiera sido el escenario en términos de emisiones de gases de efecto invernadero sin el proyecto, y cuál es la situación con el proyecto. En este estudio se deberá analizar la adicionalidad.

El Protocolo de Monitoreo y Verificación (MVP) incluye detalles de los procedimientos de monitoreo relevantes. La sección de verificación explicará las reglas para la contabilidad de emisiones, por ejemplo cuándo y quién realizará la verificación y qué datos deben estar accesibles.

3. Documento de Diseño del proyecto (DDP).

Conforme la preparación del proyecto avanza, el PCN evoluciona hacia los documentos de proyecto finales. El DDP es la base para la evaluación del proyecto por una entidad operacional. Los participantes (PP) deberán evaluar la actividad del proyecto propuesta y los requisitos de elegibilidad. El DDP incluirá secciones como: descripción del proyecto, metodología de la línea base y determinación de la adicionalidad, cálculo de las reducciones de emisiones, período de acreditación, protocolo de monitoreo y verificación, estudios sociales y de impacto ambiental, entre otras.

4. Aprobación por la Autoridad Nacional Designada (AND).

El proyecto es aprobado por la AND en función de su contribución al desarrollo sostenible del país.

El tiempo estimado depende de la preparación del documento, un aspecto que haría este proceso más rápido es el que se encuentren metodologías apropiadas al proyecto propuesto, de lo contrario además de proponer la nueva metodología se debe esperar a que ésta sea aceptada por la JE.

5. Validación.

Consiste en la evaluación independiente del proyecto, la cual, es realizada por una Entidad Operacional Designada (EOD), en relación con los requisitos del MDL.
El tiempo empleado para la realización de la validación varía entre 4 y 8 semanas.

6. Registro.

El registro del proyecto es la aceptación oficial por la JE, y es considerado definitivo ocho semanas después de la fecha de recibo de la petición de registro, salvo que una parte o al menos tres miembros de la JE soliciten una revisión.
La Entidad Operacional solicita el registro del proyecto a la Junta Ejecutiva (JE) del MDL.

7. Negociación de contrato de compra de emisiones reducidas

En esta etapa se termina de elaborar la documentación legal y se firma el Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones (Emision Reduction Purchase Agreement-ERPA, por sus siglas en inglés).

8. Implementación del Diseño del Proyecto.

Una vez registrado el proyecto MDL ante la JE los participantes pueden proceder a su implantación.

La Luego de haber sido registrado en la Junta Ejecutiva del MDL, el proyecto puede comenzar a vender Certificados de Reducción de Emisiones anualmente. Desde este momento, el desarrollador del proyecto comienza a ejecutar el Protocolo de Monitoreo. Los resultados del Protocolo de Monitoreo son enviados periódicamente a la entidad operativa designada para la verificación y certificación de las reducciones de emisiones expresadas en toneladas de CO2 equivalentes (TCO2e).

9. Certificación y emisión de CERs.

Por último, la verificación es la revisión periódica y la determinación ex post de las reducciones de emisiones de GEI. La certificación es la garantía escrita por una entidad operacional de que durante un tiempo específico la actividad del proyecto ha reducido una cantidad de emisiones verificada de acuerdo con todos los criterios previamente establecidos en el Protocolo de Monitoreo.

El reporte de certificación elaborado por la entidad operacional debe consistir en una solicitud dirigida a la Junta Ejecutiva para que esta emita la cantidad de reducción de emisiones verificadas por la entidad operacional en forma de CER. Cuando la Junta Ejecutiva aprueba la emisión de CER, los envía a los desarrolladores del proyecto. Esto

se hace periódicamente, por lo general de forma anual. Una vez que las reducciones de emisión son certificadas, el fondo de carbono pagará por la cantidad de reducciones de emisiones establecidas en el Acuerdo de Compra de Reducción de Emisiones (ERPA).

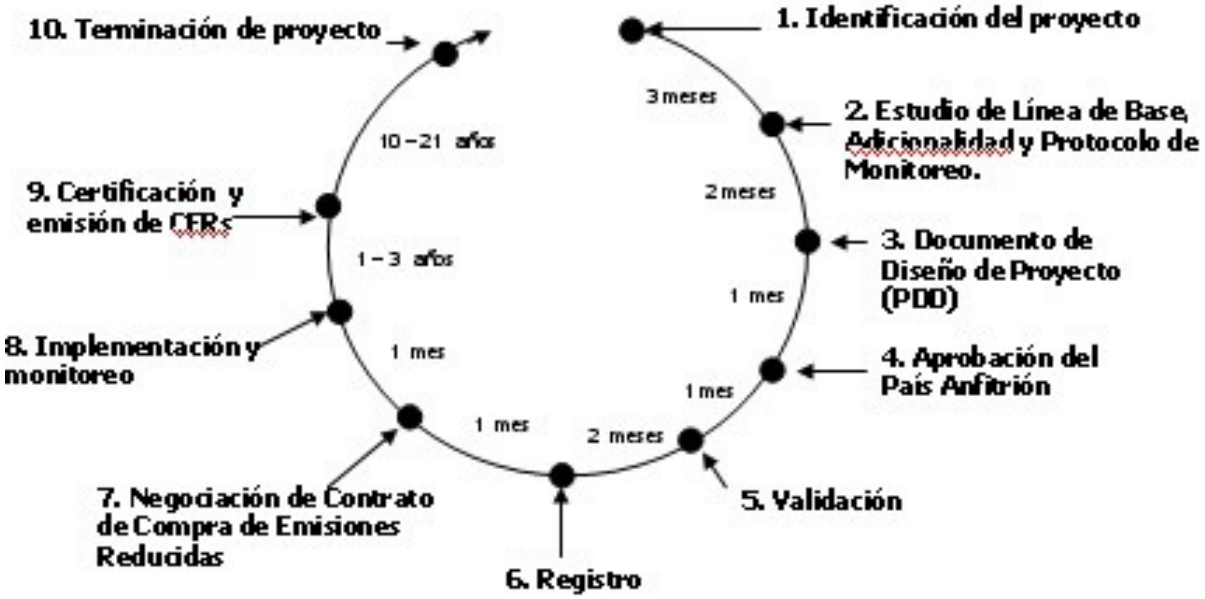


Figura 70. Ciclo de un proyecto MDL. Procedimientos y tiempos.
Fuente: FONAM. http://www.fonamperu.org

Tiempos requeridos en un proyecto MDL.

La expedición de CERs es considerada definitiva después de la fecha de recepción de la solicitud, salvo que una parte participante o al menos tres miembros soliciten la revisión de la expedición de CERs, si procede la revisión se realizará en un plazo de 30 días a partir de cuándo se proceda a realizar la revisión. En el cuadro 67 se presentan los tiempos requeridos para las etapas de un proyecto MDL.

Cuadro 68. Tiempos requeridos para las actividades de un proyecto MDL.

Etapa	Tiempo requerido
Diseño del proyecto	Variable
Elaboración de la metodología	2 meses
Aprobación de la metodología	2 meses
Elaboración del DDP	1.5 meses
Consultas a las partes interesadas	1 mes
Aprobación Nacional	2 meses
Validación del proyecto	1-2 meses
Registro del proyecto	1-2 meses
Monitoreo del proyecto	Continuo
Verificación y certificación	Una o dos veces al año

Fuente: Unidad de Cambio climático. Argentina. ttp://www2.medioambiente.gov.ar

Requisitos de Elegibilidad

Para que pueda desarrollarse un proyecto MDL, tanto las tecnologías o actividades comprendidas como los actores involucrados en el mismo, deben cumplir con los siguientes requisitos básicos de participación a lo largo de todo el ciclo del proyecto.

El País Anfitrión:

- ✓ Haber ratificado el protocolo de Kyoto.
- ✓ Participar voluntariamente en el MDL (tanto el país participante como las entidades privadas o públicas autorizadas por él).
- ✓ Tener establecida una Autoridad Nacional Designada para el MDL.

El Proyecto:

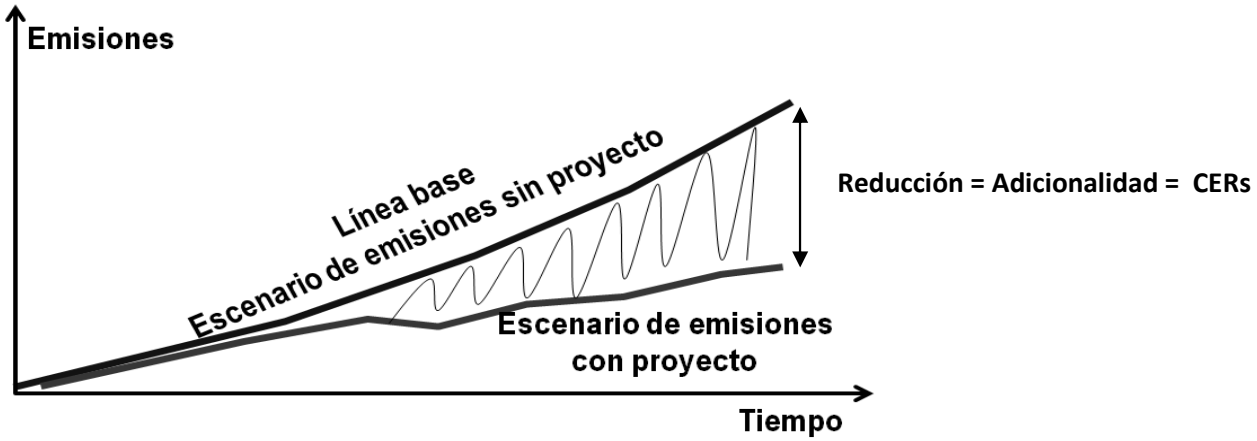
- ✓ Los Proyectos MDL deben generar reducciones de emisiones de GEI en un país en desarrollo que sean reales, medibles y a largo plazo.
- ✓ Las reducciones de emisiones de GEI generadas en el proyecto deben ser adicionales.
- ✓ Los proyectos MDL deben contribuir al desarrollo sostenible del País de Acogida. El Protocolo de Kyoto específica que uno de los principales objetivos del MDL es la contribución al desarrollo sostenible de las Partes no Anexo I.

Línea Base

La Línea Base de un proyecto MDL es el escenario que representa razonablemente las emisiones antropogénicas por fuentes de GEI que se generarían en la ausencia de la actividad del proyecto propuesto. Una Línea Base debe abarcar las emisiones de todas las categorías de gases, sectores y fuentes listadas en el Anexo A del Protocolo de Kyoto dentro del ámbito del proyecto.

La Línea Base aplicada debe permitir:

- Calcular las emisiones de GEI que cabría esperar en los escenarios habituales.
- Comparar las emisiones de GEI de la Línea Base con las del Proyecto, para tener una estimación de la reducción de emisiones que se espera lograr con el proyecto propuesto.
- Comprobar que el proyecto es adicional, constatando que no está en la Línea Base, para que ésta represente realmente lo que ocurriría en ausencia del proyecto MDL.



Gráfica 26. Línea base.
Fuente: Álvarez Jorge. ELEGIBILIDAD DE PROYECTOS MDL
Línea de base y adicionalidad.

Principio de Adicionalidad

Un proyecto MDL es adicional si la reducción de emisiones antropogénicas de GEI por fuentes es superior a la que se produciría de no realizarse el proyecto MDL propuesto.

Es de suma importancia comprobar si un proyecto es adicional, porque los créditos por la reducción de emisiones antropogénicas de GEI sólo pueden otorgarse a este tipo de proyectos. Por ello deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- El propósito de la prueba de Adicionalidad es cerciorarse de que los proyectos que reciban créditos no se hubieran construido en los escenarios inerciales o habituales. Si el proyecto se hubiera desarrollado en cualquier caso, no se reducirían las emisiones por debajo de la base de referencia y, por lo tanto, no se justificaría la generación de CERs.
- El DDP, debe incluir una explicación de cómo y porqué el proyecto es adicional, y por lo tanto no puede estar incluido en la base de referencia.
- En el supuesto de una nueva metodología de base de referencia, los participantes deberán explicar cómo la metodología utilizada determina la base de referencia y, demostrar a través de la misma, la Adicionalidad de un proyecto. Además, la metodología debe proporcionar los criterios suficientes para calcular las emisiones de la base de referencia, asegurando la consistencia entre la elaboración de la base de referencia y las fórmulas usadas para calcular las emisiones.

Metodologías aprobadas para MDL para el tratamiento y disposición final de los residuos.

Como se ha mencionado, para poder obtener los CERs o bonos de carbono, es de suma importancia demostrar la adicionalidad del proyecto. Para ello, el MDL ya cuenta con metodologías aprobadas que ayudan a simplificar y acelerar la aprobación del proyecto.

Dichas metodologías se enlistan a continuación:

- Recuperación de gases de vertederos con inexistencia de un marco regulatorio (ACM0001)
- Recuperación de gases de vertederos acorde con un contrato público de concesión (AM0002)
- Análisis financiero simplificado para sistemas donde ya existe una captura de gases de vertederos (AM0003)
- Sistemas de gestión de estiércol (AM0006)
- Generación eléctrica con gas de vertedero donde su extracción no es obligatoria (AM0010)
- Generación eléctrica con gas de vertedero que en la base de referencia se libera a la atmósfera (AM0011)
- Generación energética a partir de la extracción de metano en depuradoras ya existentes (AM0013)
- Mejoras en la gestión de residuos de animales pertenecientes a ganadería intensiva (AM0016)
- Generación energética a partir de aguas residuales en depuradoras existentes del sector industrial (AM0022)
- Reducción de las emisiones de residuos orgánicos procedentes del compostaje (AM0025)
- Recuperación de metano (AMS-III-D)
- Combustión del metano procedente de la descomposición de la biomasa (AMS-III-E)
- Generación eléctrica con residuos de biomasa (ACM0006)
- Generación eléctrica renovable para un sistema no denominado por fuentes renovables (AM0005)
- Generación eléctrica estacional con biomasa para sustituir otros combustibles más baratos (AM00079)

Principales actores en el mercado de bonos de carbono.

El proceso de un proyecto MDL requiere de la intervención de varias instituciones, algunas de ellas creadas para el funcionamiento de este mecanismo.

1. El país no incluido en el Anexo I, país en desarrollo, receptor del proyecto. Este sería el caso de México.
2. El país Anexo I, que es el país que hace la inversión y el participante del proyecto.

3. El Desarrollador del proyecto MDL, también llamados proponentes de proyecto. Elaboran el proyecto MDL y son quienes lo presentan a la JE del MDL para su registro.
4. La Junta Ejecutiva del MDL es el órgano de supervisión del funcionamiento del MDL, es el ente el cual acepta una actividad como proyecto MDL (Registro). Acredita a las Entidades Operacionales.
5. La Autoridad Nacional Designada da la aprobación de país anfitrión y dan fe de que el proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país. En el caso de México, es el Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero, COMEGEI (Cuadro 69).
6. La Entidad Operacional Designada se encarga de validar los proyectos para dar paso a su registro en la JE y verifica y certifica las reducciones de emisiones.

   Las Entidades Operacionales Designadas existentes, se enlistan a continuación:
   - ✓ Japan Quality Assurance Organisation
   - ✓ JACO CDM., LTD
   - ✓ Det Norske Veritas Certification AS
   - ✓ TUEV SUED Industrie Service GmbH
   - ✓ Deloitte Tohmatsu Evaluation and Certification Organization
   - ✓ Japan Consulting Institute
   - ✓ Bureau Veritas Certification Holding SAS
   - ✓ Korea Energy Management Corporation
   - ✓ TÜV Rheinland Japan Ltd.
   - ✓ KPMG Advisory N.V.
   - ✓ ERM Certification and Verification Services Ltd.
   - ✓ Spanish Association for Standardisation and Certification
   - ✓ TÜV NORD CERT GmbH
   - ✓ Lloyd's Register Quality Assurance Ltd.
   - ✓ Colombian Institute for Technical Standards and Certification
   - ✓ Korean Foundation for Quality
   - ✓ Swiss Association for Quality and Management Systems
   - ✓ China Environmental United Certification Center Co., Ltd.
   - ✓ RINA S.p.A.
   - ✓ SIRIM QAS INTERNATIONAL SDN.BHD
   - ✓ Korean Standards Association
   - ✓ Environmental Management Corp.
   - ✓ Japan Management Association
   - ✓ Germanischer Lloyd Certification GmbH
   - ✓ China Quality Certification Center
   - ✓ Ernst & Young Associés (France)

7. Los Fondos de Carbono. Entidades internacionales han incursionado en el mercado de carbono teniendo el encargo de comprar reducciones de emisiones para los países que aportan los fondos que administran.
   En México existe el Fondo Mexicano de Carbono (FOMECAR). A partir del volumen de reducción de GEI, se encarga de colocar los bonos de carbono en el mercado internacional.

8. Los compradores, agentes de negocio o brokers. Son otros desarrolladores de mercado, incluyen entidades financieras, consultores e instituciones auditoras que están creciendo en número y tamaño.
9. El promotor del proyecto, quien por lo general puede ser una empresa o institución del sector privado.

En México algunos de los proveedores de tecnologías, para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos, cuentan con experiencia dentro del mercado de bonos de carbono y ofrecen como parte de su aplicabilidad el aprovechamiento como bonos de carbono (cuadro 68).

Cuadro 69. Proveedores con experiencia en el mercado de bonos de carbono.

TECNOLOGÍA: PLANTA DE COMPOSTA					
SUBGRUPO 1: PLANTA DE TRATAMIENTO DE ORGÁNICOS CON SEPARACIÓN DE INORGÁNICOS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DEAPLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	NATUR-ABONO	Colombia México	Nicolás Romero, Estado de México	**BIOSISTEMAS SUSTENTABLES S.A. DE C.V.**	Se utilizan microorganismos termófilos mineralizadores de la materia orgánica a través de un proceso anaeróbio. Generando abono orgánico libre de patógenos y con alto contenido de micronutrientes benéficos para los cultivos
SUBGRUPO 3: MECANIZADA CUBIERTA					
RESIDUOS ORGÁNICOS	TAIME - WESSER	España	Pohische Heide / Porta Westfalica, Alemania Maastrich/ Holanda Cerdeña / España Meruelo / España Hannover / Alemania Barcelona / España Valencia / España Zaragoza/España	**GRUPO TAIME - WESSER**	Las plantas de tratamiento mecánico - biológico se basan en la separación de los materiales reciclables y el tratamiento biológico de los componentes orgánicos. Los residuos orgánicos separados en origen, junto con ciertas cantidades de residuo vegetal (poda, arbustos, raíces) pueden ser transformados en abono y fertilizante biológico mediante sistemas de tratamiento.
TECNOLOGÍA: GASIFICACIÓN					
SUBGRUPO 1: SEPARACIÓN PIROLISIS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	TM	Alemania	Neumünster, Germany. 2005	**TM TECNOSILICATOS DE MÉXICO S.A. DE C.V.**	Se separa la materia orgánica que posteriormente entra a un proceso de mineralización donde es deshidratada, triturada y mezclada con aditivos. El resto de los desechos son sometidos a un proceso de reciclaje para la obtención de vidrio, metales y aluminio. La fracción restante se tritura y es sometida a la gasificación donde se genera vapor que es conducido a una turbina para la generación de energía eléctrica. Las

					emisiones se limpian y generan gas combustible
SUBGRUPO 2: PIROLISIS					
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	**CONTROLLED AIR PYROLYSIS SYSTEM (CAPS)**	**Canadá**	**Shenzhen, Guangdong Province, China**	**RICHWAY ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES LTP SIMPSA INGENIERÍA S.A. DE C.V.**	**Dos pasos de cámara de combustión. La primaria con aire ahogado, menos turbulencia, baja temperatura. Se realiza pirólisis o termólisis, combustión parcial y proceso de quemado de los desechos Sólidos. Se produce gas combustible y residuos inertes. La secundaria presenta exceso de aire, fuerte turbulencia y alta temperatura. Se logra una combustión completa y descomposición de los orgánicos. Se produce gas caliente para aprovechamiento de energía. Baja descarga de partículas**
SUBGRUPO 3: PLASMA					
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON UNA HUMEDAD NO MAYOR AL 20%, EXCEPTO VIDRIOS Y METALES	ALTERNRG, WESTINGHOUSE PLASMA CORPORATION.	Japón	Utashinai, Japón, Yoshii, Japón, Kakogawa, Japón, Shimonoseki, Japón, Imizu, Japón	**CLEENMAIN SA DE CV**	Tecnología de Gasificación, y Vitrificación por Plasma, para la conversión de los residuos Urbanos, industriales, sanitarios o peligrosos, en combustibles líquidos y/o generación de energía eléctrica.
TECNOLOGÍA: DESECADO					
SUBGRUPO 1: PROCESO TÉRMICO PARA ESTABILIZAR LA FRACCIÓN ORGÁNICA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	EGT S.R.L.	Italia	Italia	**BIOSOLUCIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES, S.A. DE C.V.**	Proceso térmico no contaminante que permite convertir los Residuos Sólidos Urbanos y los lodos biológicos en una fracción orgánica estable con aprovechamiento como fertilizante, remediador de suelos, recubridor de relleno sanitario y materia prima para generación de energía eléctrica. Se emplea una mezcla con oxido de calcio para estabilizar las

					sustancias peligrosas, el producto resultante pasa a un mezclador con aspas que genera una reacción exotérmica (50 - 70 °C) el vapor de agua generado es extraído y desviado a un depurador. Después de una maduración se enfría y seca.
TECNOLOGÍA: INCINERACIÓN					
SUBGRUPO 1: OXIDACIÓN TÉRMICA					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	ENTALPYA	España	Yamanashi, Miyagi Shizouka, Japón Toluca, México	**WASTE TO ENERGY ENVIRONMENTAL DE MÉXICO S.A. DE C.V.**	La oxidación térmica catalítica se realiza en una cámara aislada por diferentes capas donde circula aire, agua y catalizadores a alta presión y temperatura. El aire y catalizadores son inyectados mediante tuberías que forman un vórtice de altísima turbulencia que favorece la oxidación e incrementa el tiempo de residencia a más de 3 segundos con temperaturas de (1000 a 1500 °C). Cualquier partícula que no haya sido valorizada energéticamente durante el proceso, es recirculada a través de un sistema de convección reticulado para su aprovechamiento térmico total. Se libera vapor y aire caliente limpios gracias al sistema de lavado de gases que sustrae partículas y otros componentes que son reintroducidos a la cámara.
TECNOLOGÍA: RELLENO SANITARIO					
SUBGRUPO 1: RELLENO TRADICIONAL					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	PROMOTORA AMBIENTAL	México	Cuernavaca, México León, México Guadalajara, México Culiacán, México Villahermosa, México Torreón, México	**PROMOTORA AMBIENTAL S.A. DE C.V.**	Concesión para la operación de relleno sanitario

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	PROACTIVA	México	Tlalnepantla, México Naucalpan, México Querétaro, México Jalapa, México Córdoba, México Tuxtla Gutiérrez, México Mérida, México	**PROACTIVA MEDIO AMBIENTE MÉXICO**	Servicio de disposición final de residuos Sólidos no peligrosos en relleno sanitario
SUBGRUPO 2: APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS					
TIPO DE RESIDUO	**MARCA**	**PAÍS DE PROCEDENCIA**	**REFERENCIAS DE APLICACIÓN**	**PROVEEDOR**	**DESCRIPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUE PRESENTA EL PROVEEDOR**
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	KAWASAKI M1A-13A, MARATHON MAGNAMAX	México	Monterrey, D.F. México, Canadá	**SISTEMAS DE ENERGÍA INTERNACIONAL, S.A. DE C.V. (SEISA)**	Instalación de equipos de extracción y utilización del biogás que se genera en relleno sanitario en donde el Metano constituyente del Biogás se aprovecha para generar electricidad.
BIOGÁS	ECOSECURITIES	México	Aguascalientes, Tecamac, Ecatepec, Tultitlán y Durango, México	**ECOSECURITIES-ECOMETHANE +D5**	EcoSecurities estructura y guía los proyectos de reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero desde su principio a fin, trabajando tanto con los desarrolladores de proyectos como con los compradores de créditos de reducción de emisiones. EcoSecurities ha trabajado de igual forma con compañías que se encuentran ubicadas en países industrializados en vías de desarrollo, para crear créditos de carbono a partir de proyectos que reduzcan emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, EcoSecurities cuenta con experiencia en el desarrollo de proyectos de diferentes sectores, tales como energía renovable, agricultura y manejo de residuos Urbanos, eficiencia industrial y silvicultura.

Definición de tecnologías y proyectos de pequeña escala que pueden tener acceso al mercado de bonos de carbono.

Los proyectos de pequeña escala pueden ser un motor de impulso para el desarrollo rural, por ello, con el fin de minimizar barreras y disminuir costos, se establecieron bases para el desarrollo de modalidades y procedimientos simplificados aplicables a los denominados proyectos de pequeña escala.

Un primer paso en la agilización del proceso es la identificación y selección de los proyectos que pueden entrar al procedimiento simplificado. Para ello, en las Modalidades y Procedimientos de este tipo de instalaciones se han tipificado una serie de proyectos que permiten, comprobar el tipo de tecnologías que pueden favorecerse de un MDL de pequeña escala.

Se han tipificado tres tipos de proyectos: energías renovables, mejora en la eficiencia energética y proyectos que reducen las emisiones antropogénicas de GEI. Todos ellos están sujetos a unos límites máximos y a las siguientes categorías:

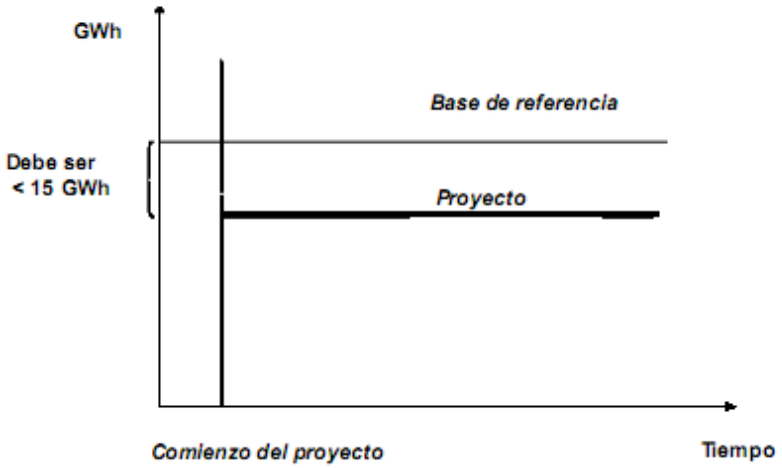
Tipo I: Proyectos de energías renovables con una capacidad máxima de producción equivalente de 15 MW.

Se incluyen en este tipo los proyectos de energías renovables que producen electricidad, energía mecánica y /o térmica al usuario directamente, así como también tecnologías energéticas conectadas a una red de distribución eléctrica.

En este contexto, se entiende por producción máxima la capacidad instalada o calculada que haya indicado el fabricante del equipo, sin tener en consideración el factor de disponibilidad efectivo de las instalaciones.

Tipo II: Proyectos de mejora de la eficiencia energética que reduzcan el consumo de energía, por el lado de la oferta y/o de la demanda, con un máximo equivalente de 15 GWh/año.

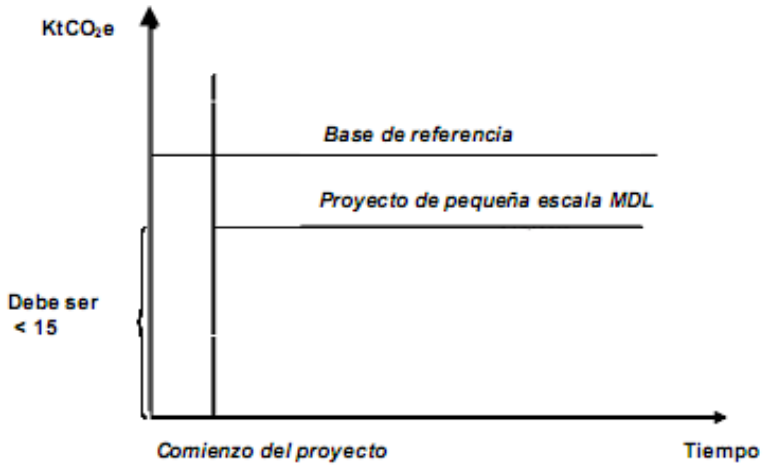
Se entiende por eficiencia energética la mejora del servicio obtenido por unidad de potencia, es decir, actividades de proyectos que aumentan las unidades de producción (como son la tracción, el trabajo, la electricidad, el calor, la luz, etc.) por megawatio consumido en relación con la base de referencia. La reducción de consumo energético debida a una disminución del nivel de actividad no se tendrá en cuenta.



Gráfica 27. Condiciones de admisión para las actividades de proyectos tipo II
Fuente: Guía Latinoamericana del MDL, Abril 2005

Tipo III: Otros proyectos que reduzcan las emisiones antropogénicas directas en menos de 15,000 tonCO_2e por año.

Los proyectos incluidos en el Tipo III no pueden emitir directamente más de 15 kt CO2e por año, y deben reducir las emisiones, como puede verse en el Gráfica 29.



Gráfica 28. Admisibilidad de los proyectos tipo III.

Fuente: Guía Latinoamericana del MDL, Abril 2005

Para cada tipo se ha elaborado una lista de actividades clasificadas. Un proyecto sólo puede pertenecer a una categoría.

En los cuadros 69,70 y 71 se presentan las clasificaciones de los tres tipos de proyectos de pequeña escala y las tecnologías utilizadas para cada uno de ellos.

Cuadro 70. Tipo I: Energías renovables.

Categorías de las actividades de proyectos	Tecnologías utilizadas
A. Generación eléctrica para el consumidor/hogar (residencial)	Energías renovables que producen electricidad para uso residencial, como placas solares, bombas de agua solares o cargadores de baterías eólicas.
B. Energía mecánica para el consumidor/empresa	Tecnologías renovables para el suministro de energía mecánica a usuarios o empresas que necesitan una pequeña cantidad de energía: bombas de energía solar o térmica, molinos de agua y viento, etc.
C. Energía térmica para el consumidor final	Suministro de energía térmica sustituyendo fuentes de combustibles fósiles o de biomasa no renovable; calentadores de agua solares, cocinas solares y sistemas de cogeneración por biomasa. (hasta 45MWt)
D. Generación de electricidad para suministro de una red de distribución	Fuentes renovables que suministran electricidad a una red de distribución eléctrica abastecida por al menos una fuente de generación con combustible fósil o combustión de biomasa no renovable. El límite de 15 MW aplica sólo a la componente renovable. (Cogeneración hasta 45MWt).

Cuadro 71. Tipo II: Eficiencia energética.

Categorías de las actividades de proyectos	Tecnologías utilizadas
A. En la oferta: actividades de transporte y distribución	Aumento de voltaje en una línea de transporte, mejora de aislamiento en tuberías de un sistema de calefacción urbana. Mejora de sistemas de transporte/distribución o ampliaciones.
B. En la oferta: generación de electricidad/calor	Actuaciones de mejora en plantas de generación térmica fósil, cogeneración, reducción de consumos, combustible, etc.
C. Eficiencia energética en la demanda	En equipos como lámparas, generadores, motores, ventiladores, sustituciones o instalación de equipos nuevos.
D. Medidas de eficiencia y sustitución de combustibles en instalaciones industriales	Motores eficientes, cambios de combustibles, mejoras de rendimiento, medidas en procesos industriales (hornos de acero, secado de papel, etc.)
E. Medidas de eficiencia y sustitución de combustibles en instalaciones agrícolas	Reducción del consumo energético por unidad de terreno, reducción del uso y cantidad de combustible en maquinaria agrícola, cambio de maquinaria, etc.

Cuadro 72. Tipo III: Reducción de emisiones.

Categorías de las actividades de proyectos	Tecnologías utilizadas
A. Agricultura	Reducción de metano en cultivos de arroz, disminución de los residuos animales o su utilización para generación eléctrica.
B. Sustitución de combustibles fósiles	Cambio de combustibles fósiles en la producción de energía para uso industrial, residencial y comercial. Si el cambio de combustible es parte de una actividad del proyecto centrada en la mejora del rendimiento energético, la actividad del proyecto debe incluirse en las categorías II.D o II.E.
C. Sector del transporte	Mejoras en la eficiencia de los carburantes, cambio de vehículos y/o de tipo carburantes, fomento del transporte público o reducción de la frecuencia en los itinerarios.
D. Recuperación de metano	Recuperación del metano en las minas de carbón, industria agroalimentaria, instalaciones de tratamiento de aguas residuales, vertederos o rellenos sanitarios, etc.
E. Eliminación de metano	Eliminación del metano procedente de la descomposición de la biomasa o de otra materia orgánica, a través de su combustión controlada sin recuperación.

Fuente: Guía Latinoamericana del MDL, Abril 2005

Modalidades y Procedimientos simplificados

Las etapas del ciclo del proyecto de pequeña escala del MDL son similares a las de un proyecto ordinario, y se siguen los pasos explicados anteriormente.
Sin embargo, en el caso de este tipo de proyectos se han desarrollado modalidades y procedimientos simplificados que permiten agilizar el proceso y reducir sensiblemente los costos de transacción, pretendiendo con ello dar un impulso al desarrollo de este tipo de proyectos.

Las modalidades y procedimientos simplificados son los siguientes:

- ✓ Metodologías simplificadas para la determinación de líneas de base y planes de monitoreo.
- ✓ Agrupación de proyectos en varias etapas del ciclo de proyecto.
- ✓ PDD simplificado.
- ✓ Requerimientos simplificados para el análisis de impacto ambiental.
- ✓ Menor costo para registrar el proyecto.
- ✓ Periodo más corto para el registro de proyectos MDL de pequeña escala.
- ✓ La misma entidad operativa puede validar, así como verificar y certificar, la reducción de emisiones de un mismo proyecto.

<u>Simplificación del documento de diseño de proyecto (DDP).</u>

El Documento de Proyecto incluye las mismas etapas que el DDP de un MDL ordinario pero el tratamiento es más sencillo. Por ejemplo no es necesario utilizar estudios separados de la base de referencia y del plan de vigilancia; en la evaluación de impacto ambiental es opcional la presentación del estudio, siendo sólo necesario en el caso de que sea requerido por el País anfitrión.

Función de las Entidades Operacionales Designadas (EOD).

En este tipo de proyectos una única EOD puede validar, verificar y certificar la actividad del proyecto. La Entidad Operacional Designada contratada por los participantes en el proyecto examinará el Documento de Proyecto y la documentación de apoyo.

Agilización del registro.

Se acorta el periodo de tiempo para el registro del proyecto por la Junta Ejecutiva, siendo de cuatro semanas desde la fecha de recepción de la petición de su registro, salvo que una parte participante en el proyecto, o al menos tres miembros de la Junta

Ejecutiva, soliciten una revisión de la actividad propuesta.

Ingresos, costos y financiamiento de los proyectos MDL.

Ingresos del Proyecto MDL

Incluso con un precio de los CERs creciente, la venta no es una vía de financiamiento de los proyectos MDL, y deberá por consiguiente ser considerada como un aporte adicional al proyecto. El Protocolo de Kyoto, no establece un precio fijo de CERs, y por lo tanto el precio de una tonelada de CO2 =1 CER, dependerá de la negociación con el comprador, que depende de algunos factores.

Cabe recalcar que los precios más bajos se dan en proyectos de alto riesgo, proyectos que piden el pago de sus CERs por adelantado, o proyectos que piden que el comprador invierta en el proyecto y además que el comprador complete el DDP y registre el proyecto.

Por otro lado, con un proyecto sólido, que no requiere de ningún pago por adelantado, inversión o ayuda en el registro del PDD, se obtienen los mejores acuerdos y precios más altos.

Los precios por cada CER para proyectos oscila entre 8 y 22 €, pero en general los proyectos se evalúan con un valor de 10 €.

El Comité Mexicano para proyectos de Mitigación y Captura de gases de Efecto Invernadero ha estimado que México cuenta con un potencial de reducción y captura de emisiones cercanas a los 100 millones de toneladas de carbono entre el 2008 y 2012.

En el mercado del MDL, esto podría traducirse en ingresos de alrededor de 1,465 millones € anuales, considerando un precio CER de 14.65 €. (Point Carbon 28/10/2009)

Costos de transacción de proyectos MDL.

Por costos de transacción se entiende a todos los costos adicionales a los que normalmente incurre un proyecto (capital y operativos), necesarios para cumplir con su ciclo de aprobación como proyecto MDL, desde su etapa de diseño a la de expedición de los CERs. Existen numerosos factores que inciden en su estimación, resultando difícil plantear escenarios y alternativas que abarquen todas las opciones.

Estimación de los costos de transacción por etapas del ciclo de proyecto.

En primer lugar conviene señalar que hay varios factores que determinan la repercusión en el proyecto de los costos de transacción. Estos son más o menos significativos dependiendo del tamaño del proyecto, de la mayor o menor utilización de personal local para los procesos de diseño, implementación y vigilancia, del pago por adelantado o diferido de los costos de validación hasta que el proyecto esté operativo, de la necesidad o no de que los certificados sean comercializados a través de un agente de negocios, etc.
Como regla general puede afirmarse que los costos de transacción no son directamente proporcionales al tamaño del proyecto. En ese sentido cuanto mayor número de créditos genere, menos será la incidencia de los costos de transacción en los ingresos generados, y mayor motivación tendrá el inversor en el desarrollo del proyecto MDL.

Teniendo en cuenta esto, las autoridades del MDL han simplificado los requisitos para los proyectos de pequeña escala, con el objeto de facilitar su viabilidad atenuando el impacto de los costos de transacción en el valor total del proyecto.

La participación de agentes de negocios es importante en el caso de tratarse de proyectos que generen certificados para ser vendidos en los mercados de carbono a Países Anexo I. Puede señalarse que el costo de comercialización puede cuantificarse entre el 10% y el 15% del valor nominal de los CERs. Este porcentaje puede variar según las características del proyecto, el tipo de proyecto, el País anfitrión, los riesgos implícitos del proyecto, etc.

Los costos de transacción relacionados con el desarrollo de proyectos MDL comprenden costos relacionados con la validación de la actividad de un proyecto MDL, que requieren la ayuda de expertos (EODs), así como pago de cuotas de inscripción a la JE y los honorarios para recibir la aprobación nacional por los países anfitriones, si es requerido. En México SEMARNAT realiza la aprobación sin costo. Estos costos pueden variar de 40,000 USD$ a 150,000 USD$ por proyecto.

Los precios no reflejan el tamaño del proyecto. Para reducir los costos de transacción para los proyectos de pequeña escala se simplificaron los requerimientos y procedimientos para el desarrollo del proyecto.

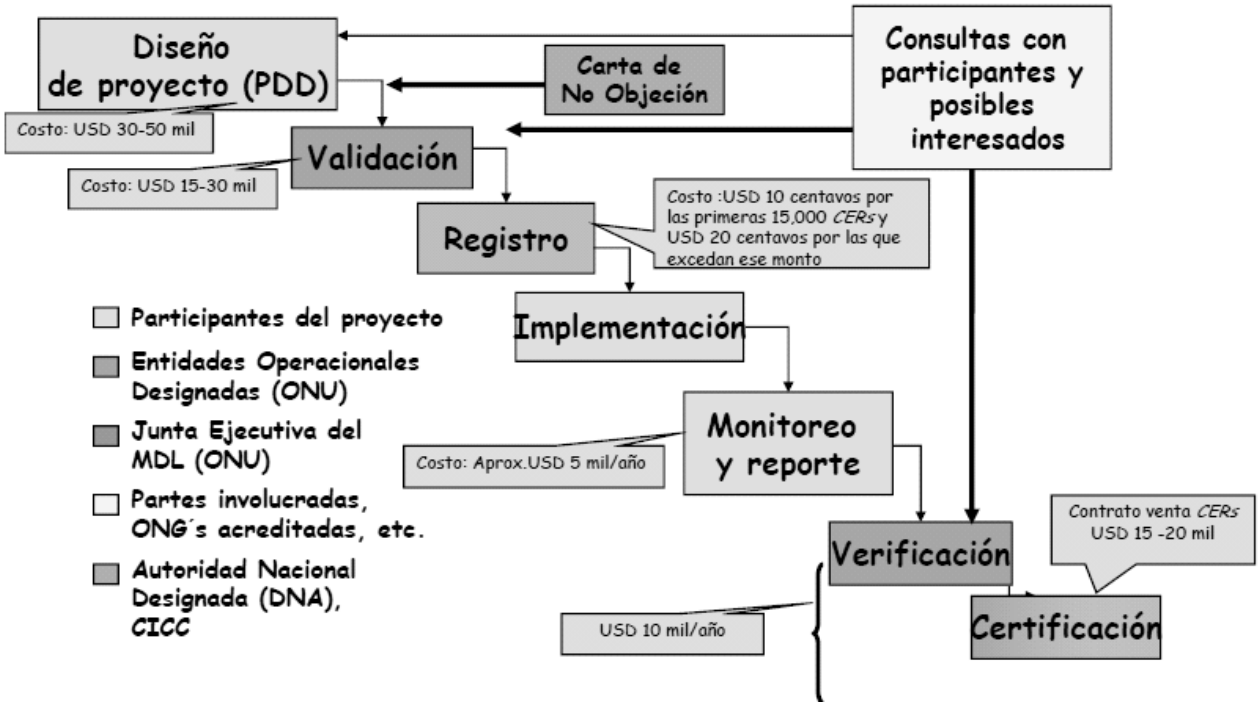
Cuadro 73. Precios relacionados con el registro de los proyectos MDL por la JE. Gastos Administrativos en función de las toneladas de CO_2 de reducción.

Ton CO_2e de reducciones por año	USD$
<= 15,000	5,000
>15,000 y <=50,000	10,000
>50,000 y <=100,000	15,000
>100,000 y <=200,000	20,000
>200,000	30,000

Fuente: Sustainable Energy Technology at work. CDM Project Development. http://www.setatwork.eu/cdm_projects.htm#costs

FOMECAR detalla el proceso de los proyectos MDL con las siguientes estimaciones:

- ✓ Diseño del proyecto con un costo de 30-50 mil USD$
- ✓ Validación con un costo de 15-30 mil USD$
- ✓ Registro con un costo de 10 centavos de USD$ por los primeros 15 mil CERs y 20 centavos de USD por las que excedan ese monto
- ✓ Monitoreo y reporte con un costo aproximado de 5 mil USD$ al año
- ✓ Certificación. Contrato por venta de CERs entre 15-20 mil USD$



Fuente: FOMECAR. Abril, 2009

Diagrama 18. Costos del proceso MDL

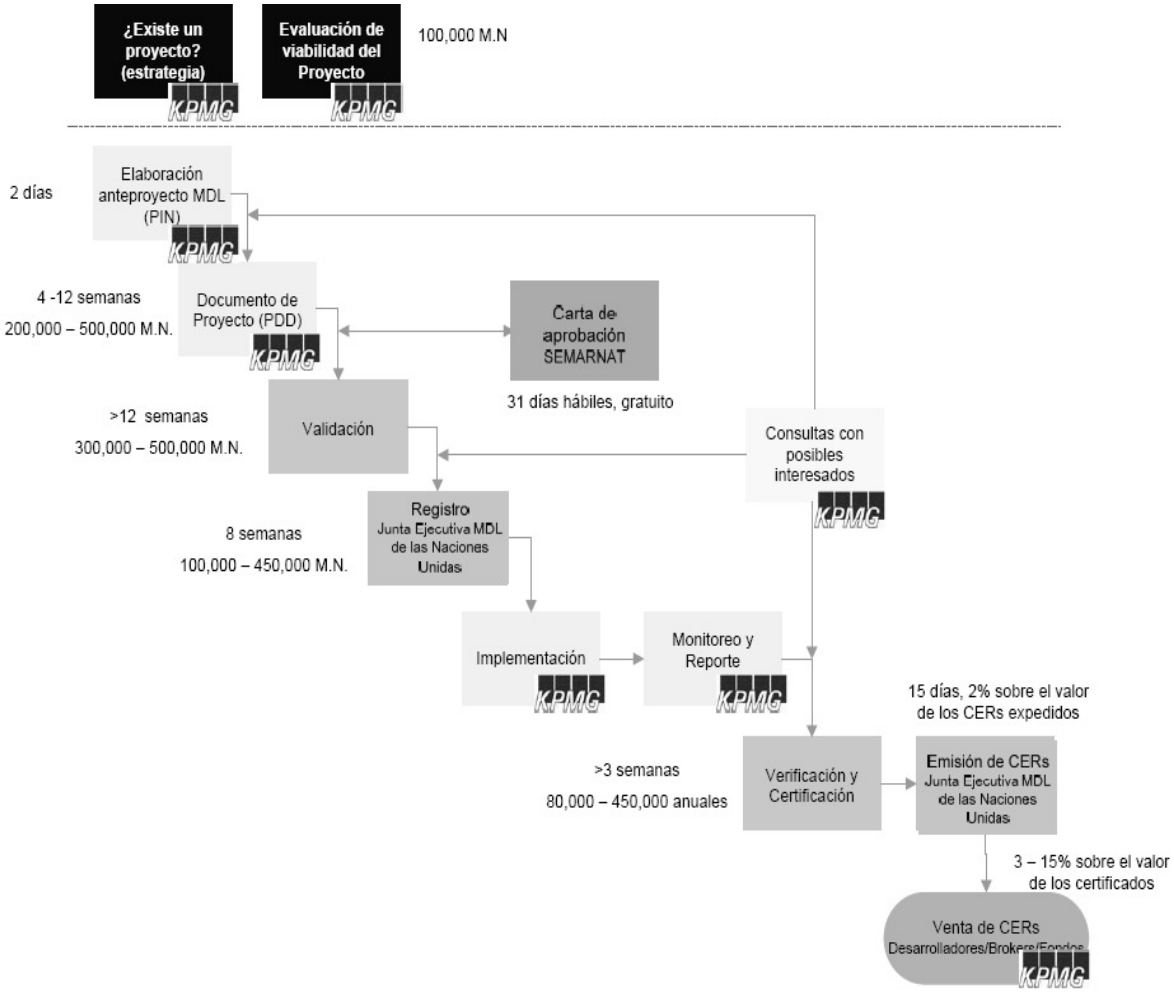
Generalmente, es conveniente la contratación de profesionales con experiencia y capacitación técnica que aumentarán las posibilidades de crear MDL y reducir emisiones GEI, incrementando así las posibilidades de éxito en el mercado de bonos de carbono. Tomando en cuenta lo anterior a continuación se presentan las estimaciones de costos y los servicios ofrecidos por los consultores con experiencia en México.

1. KPMG internacional.

Los servicios ofrecidos por KPMG son:

- ✓ Realización de la evaluación de viabilidad del proyecto con un costo estimado de $100,000 M.N.
- ✓ Elaboración en 2 días del anteproyecto MDL PIN
- ✓ Elaboración del Documento de proyecto DDP en un periodo de 4-12 semanas y con un costo de $200,000-500,000 M.N
- ✓ Implementación
- ✓ Monitoreo y reporte
- ✓ Venta de CERs con un costo de 3-15% sobre el valor de los certificados

2. Ecosecurities:
   - ✓ Diseño conceptual y factibilidad del proyecto con un costo estimado de 20-60 mil USD$
   - ✓ Elaboración del DDP y proceso de aprobación a nivel nacional con un costo estimado de 5-50 mil USD$
   - ✓ Se encarga del proceso de validación con un costo estimado de 15-40 mil USD$.
   - ✓ Redacción del contrato de compra-venta de CERs. Costo de 10-40 mil USD$
   - ✓ Vigilancia, verificación y certificación. Los costos para verificación y certificación van de 3-15 mil USD$ anual.
   - ✓ Venta de CERs con un costo estimado sobre el 3-15% del valor de los certificados.



Fuente: KPMG. Oportunidades de Negocio en el mercado de bonos de carbono. Marzo, 2009

Diagrama 19. Costos del proceso MDL KPMG**.**

Cuadro 74. Estimación de los costos de transacción MDL.

Fases del ciclo	Actividades	Costos	
Diseño	*Diseño conceptual y factibilidad:* -Diseño del proyecto de inversión -Metodología de la base de referencia -Metodología y plan de vigilancia -Determinación periodo de acreditación -Cálculo de emisiones de GEI -Determinación de fugas -Evaluación de impacto ambiental *Elaboración:* -Elaboración del documento DDP -Proceso de aprobación a nivel nacional	USD$ 20,000-60,000 USD$ 5,000-50,000	
Validación	*Proceso de evaluación de la Entidad Operacional Designada (EOD) para comprobar si ajusta a los requisitos del MDL* -Confirma cumplimiento de requisitos -Confirma recepción de declaración nacional -Hace público el documento del proyecto -Hace público las observaciones -Toma decisión sobre validación -Envía informe de validación a la Junta Ejecutiva -Hace público el informe de validación	USD$ 15,000-40,000	
Negociación de contrato	*Redacción del contrato de compra-venta de CERs* -Términos legales de cumplimiento del contrato -Definición de la propiedad de los certificados -Quién y cómo se enfrentan los riesgos -Condiciones de compra y venta	Proceso largo y costoso USD$ 10,000-40,000	
Registro	*Aceptación oficial por la Junta Ejecutiva de un proyecto validado MDL* Gastos administrativos. Escala definida en base a toneladas promedio anuales de CO_2 reducidas en el periodo de acreditación del proyecto.	tCO_2e anuales	USD$
		<=15,000	5,000
		>15,000 y <=50,000	10,000
		>50,000 y <=100,000	15,000
		>100,000 y <=200,000	20,000
		>200,000	30,000
Vigilancia	*Participantes recopilan y archivan datos para:* -Estimar y medir las emisiones del proyecto -Determinar las emisiones de la línea base o base de	Costos para la Verificación y Certificación USD$	

	referencia -Determinar emisiones fuera del proyecto *Cálculo de CERs* -Emisión del proyecto+ Fugas -Emisión de la línea base *Elaboración del informe de vigilancia para la EOD*	3,000-15,000 anuales
Verificación	*Actividades de la EOD* -Informe de vigilancia a disposición pública -Realiza inspección "in situ" -Examina los resultados de la vigilancia -Comprueba la aplicación correcta de la metodología -Verifica que la documentación sea completa y correcta -Recomienda modificaciones a la metodología -Determina la reducción de emisiones -Presenta el informe de verificación y se hace público	
Certificación	*La EOD certifica las emisiones reducidas* -Elabora y envía el informe de certificación -Pone el informe a disposición del público -Confirma por escrito la reducción de emisiones	
Expedición CERS	*La junta Ejecutiva expide las CERs y registra* -Revisa, expide, registra -Fondo de adaptación para actividades en los países de menor desarrollo relativo	2% Gastos administrativos Fondo de adaptación
Venta CERs	*Gastos de comercialización*	3-15% sobre el valor de certificados

Fuente: Guía Latinoamericana del MDL, Abril 2005

A continuación se amplían algunas consideraciones sobre los costos asociados a las etapas del ciclo de aprobación.

- Diseño conceptual, factibilidad y elaboración del proyecto.

Entre otros aspectos importantes, esta etapa comprende el diseño del proyecto, la definición de la metodología de base de referencia, la metodología y el plan de vigilancia, y la elaboración de documentos de presentación del proyecto y proceso de aprobación a nivel nacional. Los costos asociados a esta fase del ciclo de aprobación pueden ser internos o externos, según decida el promotor.

- Validación, verificación y certificación de los CERs a cargo de las Entidades Operacionales Designadas (EOD)

El trabajo debe ser llevado a cabo por dos empresas especializadas en evaluaciones independientes sobre el cumplimiento de los requisitos del MDL. Las compañías deben ser EOD legalmente acreditadas. En general, las actividades técnicas de estas etapas son similares a las realizadas para certificar los Sistemas de Gestión Ambiental, dependiendo principalmente sus costos de ubicación, complejidad y tamaño del proyecto.

En el caso de proyectos MDL que no sean de pequeña escala, una misma EOD no puede realizar la validación y verificación del proyecto. La necesidad de contar con dos EOD distintas es motivo de encarecimiento de los costos por lo general.

- Registro de CERs. Gastos administrativos y de adaptación

La Junta Ejecutiva del MDL cobra por Gastos de administración y registro de las CERs. Los Gastos de administración fueron establecidos por esta entidad de acuerdo a una escala definida según las toneladas promedio anuales de CO2 reducidas en el período de acreditación, pagadero por una sola vez cuando el proyecto se registra (Cuadro 10).

En el caso de proyectos pequeños, la escala contempla unos costos menores para atenuar el impacto de sus costos de transacción. La Junta Ejecutiva del MDL estableció la posibilidad de que en un futuro pueda revisarse la escala de porcentaje de gastos para este tipo de proyectos.

Los proyectos MDL tienen además un cargo adicional del 2% de los CERs expedidos, con el objetivo de contribuir al fondo de adaptación que ayude a los países menos desarrollados en el cambio climático.

Respecto a los proyectos de pequeña escala, salvo los costos de registro, que están estandarizados para todos los proyectos MDL, tanto ordinarios como los de pequeña escala – oscilando entre 5-30 mil $USD en función de la reducción media anual de emisiones de tCO2e –, las otras partidas de costos son muy variables, dependiendo del tipo y tamaño del proyecto, tecnología utilizada, nivel de asesoramiento externo, etc.

Ecosecurities señala los costos asociados a un proyecto de pequeña escala, siendo notorio el menor costo que tienen algunas partidas frente a los proyectos ordinarios, dadas las posibilidades de simplificación que tienen este tipo de proyectos. (Cuadro 12).

Cuadro 75. Estimación de los costos de transacción MDL de proyectos de pequeña escala.

Fases del ciclo	Actividades	Costos	
Diseño	*Diseño conceptual y factibilidad:* -Descripción general del proyecto -Metodología de la base de referencia -Metodología y plan de vigilancia -Determinación periodo de acreditación -Cálculo de reducción de emisiones de GEI -Determinación de fugas -Evaluación de impacto ambiental (si procede) -Comentarios de los participantes *Elaboración:* -Elaboración del documento DDP -Proceso de aprobación a nivel nacional	USD$ 15,000-45,000 USD$ 3,000-5,000	
Validación	*Proceso de evaluación de la Entidad Operacional Designada (EOD) para comprobar si ajusta a los requisitos del MDL de pequeña escala* -Confirma cumplimiento de requisitos previstos para los MDL simplificados y los requisitos del MDL ordinarios que no se sustituyen por las modalidades y procedimientos simplificados -Confirma recepción de declaración nacional -Hace público el documento del proyecto -Hace público las observaciones -Toma decisión sobre validación -Envía informe de validación a la Junta Ejecutiva -Hace público el informe de validación	USD$ 10,000-30,000	
Negociación de contrato	*Redacción del contrato de compra-venta de CERs* -Términos legales de cumplimiento del contrato -Definición de la propiedad de los certificados -Quién y cómo se enfrentan los riesgos -Condiciones de compra y venta	USD$ 10,000-20,000	
Registro	*Aceptación oficial por la Junta Ejecutiva de un proyecto validado MDL* Gastos administrativos. Escala definida en base a toneladas promedio anuales de CO_2 reducidas en el periodo de acreditación del proyecto.	tCO_2e anuales	USD$
		<=15,000	5,000
		>15,000 y <=50,000	10,000
		>50,000 y <=100,000	15,000
		>100,000 y <=200,000	20,000
		>200,000	30,000
Vigilancia	*Participantes recopilan y archivan datos para:*	Costos para la	

	-Estimar y medir las emisiones del proyecto -Determinar las emisiones de la línea base o base de referencia -Determinar emisiones fuera del proyecto *Cálculo de CERs* -Emisión del proyecto+ Fugas -Emisión de la línea base *Elaboración del informe de vigilancia para la EOD*	Verificación y Certificación USD$ 3,000-6,000 anuales
Verificación	*Actividades de la EOD* -Informe de vigilancia a disposición pública -Realiza inspección "in situ" -Examina los resultados de la vigilancia -Comprueba la aplicación correcta de la metodología -Verifica que la documentación sea completa y correcta -Recomienda modificaciones a la metodología -Determina la reducción de emisiones -Presenta el informe de verificación y se hace público	
Certificación	*La EOD certifica las emisiones reducidas* -Elabora y envía el informe de certificación -Pone el informe a disposición del público -Confirma por escrito la reducción de emisiones	
Expedición CERS	*La junta Ejecutiva expide las CERs y registra* -Revisa, expide, registra -Fondo de adaptación para actividades en los países de menor desarrollo relativo	2% Gastos administrativos Fondo de adaptación
Venta CERs	*Gastos de comercialización*	3-15% sobre el valor de certificados

Fuente: Guía Latinoamericana del MDL, Abril 2005

Financiamiento de los proyectos MDL

En México, dentro de las prioridades de financiamiento del Plan Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2008-2012 de SEMARNAT, se encuentra una alternativa de ingresos adicionales que puede apoyar a incrementar la inversión municipal o de grupos de municipios en la gestión integral de los residuos a través del uso de recursos provenientes de fondos de carbono, a los que se puede acceder por el registro de proyectos ante el MDL o ante el instrumento llamado Mercados de Metano (M2M).

El FOMECAR, administrado por el Banco de Comercio Exterior (BANCOMEXT) y Nacional Financiera (NAFIN), así como la banca de desarrollo (el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Mundial) son instituciones que orientan, tramitan y facilitan el acceso a los bonos de carbono internacionales. Sin embargo, es conveniente apuntar que los recursos obtenidos por esta vía no son inmediatos y solo se obtienen después de verificar la captura y elminación de metano.

El apoyo financiero del FOMECAR va a la elaboración del PIN, el DDP, la validación y el registro. El apoyo FOMECAR se paga con la venta de una parte de los CERs.
Dentro de las ventajas que ofrece FOMECAR se encuentran:

- ✓ Contacto con las principales consultoras MDL establecidas en México
- ✓ Experiencia en la definición de proyectos MDL
- ✓ Monitoreo y control en los trabajos para obtener el registro MDL
- ✓ Asume el riesgo de no-registro
- ✓ Conocimiento de los mercados financieros internacionales y del mercado de bonos de carbono.
- ✓ Contacto con los principales compradores de bonos

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En prácticamente todas las entidades federativas de la república Mexicana se están poniendo en práctica o se están desarrollando programas para el manejo integral de los residuos sólidos urbanos.

El acopio de residuos sólidos, la separación de basura así como el reciclaje de materiales, forman parte del tratamiento primario que reciben los residuos sólidos urbanos como etapa previa a su confinamiento. Algunos estados de la república cuentan con programas exitosos que promueven la cultura del acopio y del reciclaje de materiales.

Las tecnologías o métodos de tratamiento que a hasta la fecha se han identificado en algunas de las entidades federativas son principalmente las relacionadas con la separación, el reciclaje y el compostaje de residuos sólidos urbanos.

Un número importante de centros de acopio y plantas de separación se encuentran operando en los sitios de disposición final para recuperar al máximo los materiales reciclables y reducir la cantidad de residuos que se envían a los rellenos sanitarios.

La reducción del volumen de los residuos mediante sistemas o unidades de alta compactación empiezan a ser utilizados para un mejor manejo de los residuos, aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios, disminuir la generación de biogás y lixiviados.

El compostaje de residuos orgánicos es un método de tratamiento que se practica en diferentes escalas en la mayor parte del país, sin embargo, la información sobre su desarrollo tecnológico es limitada.

El tratamiento térmico (incineración, gasificación, pirólisis, plasma) es una tecnología cuya aplicación a quedado sólo a nivel experimental (caso planta incineradora de San Juan de Aragón). Hasta la fecha no se tienen casos confirmados donde se estén tratando residuos sólidos urbanos a gran escala mediante estas tecnologías.

Las tecnologías para tratamiento térmico de residuos sólidos se encuentran disponibles en el mercado mexicano, actualmente se están aplicando para tratar residuos peligrosos de tipo industrial y residuos biológico infecciosos. Con esta tecnología se tiene la posibilidad de poder aprovechar la energía calorífica que se genera del proceso de combustión de los residuos sólidos.

El relleno sanitario sigue siendo la opción más viable, tanto técnica como económicamente para la disposición final de los residuos sólidos urbanos. Existe una tendencia clara por adoptar esta técnica y cada vez existe un número creciente de

rellenos sanitarios que cumplen o que está en proceso de cumplir con la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Una nueva modalidad basada en este método de confinamiento, son los Centros Intermunicipales para el Tratamiento Integral de Residuos Sólidos (Rellenos Sanitarios Intermunicipales o Rellenos Sanitarios Regionales), esto como una medida tomada por algunos estados de la república para dar solución al problema de los residuos sólidos municipales.

Se empiezan a construir rellenos sanitarios con nuevos diseños constructivos para favorecer la estabilización y producción de biogás, como es el caso de los rellenos sanitarios metanogénicos. La alta compactación de residuos sólidos, previa separación, da origen a una nueva generación de rellenos sanitarios, los conocidos como rellenos sanitarios secos.

La creciente demanda de energía ha dado la pauta para plantear el uso de fuentes alternas bajo un esquema de desarrollo tecnológico sustentable. De acuerdo con la Secretaría de Energía existe a nivel nacional un importante potencial energético que puede ser obtenida a partir de los residuos. Se estima que de orden de 500 -700 MW a partir del aprovechamiento de biogás y de 1212 – 1460 MW del tratamiento térmico.

Una tendencia que empieza a gestarse en algunas entidades federativas del país es el aprovechamiento del “biogás” que se genera en los rellenos sanitarios para la producción de energía eléctrica, teniéndose ya un primer caso de éxito en el estado de Nuevo León, en donde se producen del orden de 12.72 MW.

La postura frente a los residuos y su tratamiento y varía significativamente entre países y depende de su historia, su cultura y su geografía.

El manejo de residuos sólidos en América Latina, se encuentran en diversas etapas de desarrollo, en particular las tecnologías para el tratamiento de residuos se están investigando, predominan aún los tiraderos a cielo abierto y los rellenos sanitarios están cobrando mayor importancia.

En el ámbito mundial el reciclaje es una gran opción para disminuir el desecho de subproductos que van a ocupar normalmente espacio en los rellenos sanitarios cuando todavía tienen una vida útil, además de disminuir la explotación de materia prima virgen. Además, en los rellenos sanitarios contribuye a reducir el impacto ambiental de la disposición de desechos sólidos, las emisiones a la atmósfera, la generación de lixiviados y los malos olores.

En Estados Unidos y en Australia los factores geográficos (extensión del país, densidad poblacional) tienen una influencia en la utilización de los rellenos sanitario. En otros países, como en los países europeos, los factores culturales (conciencia ecológica) y los factores económicos (calidad de vida) tienen una influencia importante en la preferencia por el reciclaje y la incineración.

Alemania, esta en la vanguardia en al ámbito mundial, en cuanto al manejo adecuado de los residuos y desarrollo tecnológico, cuenta con sistemas convencionales como compostaje, reciclaje, incineración, pirólisis y gasificación y otras modalidades que están ala vanguardia como es la Stabilization – Technology.

En Dinamarca o en los Países Bajos, Japón o algunas megalópolis asiáticas, los factores geográficos (densidad poblacional, urbanización) y factores económicos influencian en la elección de la incineración como el método de tratamiento preferido.

En África las condiciones socioeconómicas hacen difícil el manejo adecuado de los, residuos, a pesar de ese inconveniente han desarrollado un modelo sustentable para tratar los residuos sólidos, en particular se ha desarrollado en gran escala la digestión anaerobia con el fin de aprovechar la energía y se han hecho estudios de procesos de biometanización.

En el ámbito mundial la falta de terrenos disponibles para la instalación de rellenos sanitarios hace que la incineración sea una alternativa disponible para la gestión de residuos, aunque su aplicación no es una solución, solo es un elemento base dentro de un sistema integral de residuos sólidos urbanos.

En resumen las tecnologías más utilizadas en el mundo para el tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos son: el Relleno Sanitario, la Incineración, y el Composteo; con la incineración se recupera energía y con el composteo materiales orgánicos. Diferentes tipos de compostaje pueden producirse de acuerdo al proceso biológico como es el vermicompostaje.

Los materiales inorgánicos se están dirigiendo al reciclamiento y con ellos se tiene un gran ahorro de materia prima. El proceso de reciclaje es muy importante pues permite reducir en un 15 a 40% el volumen de residuos que se genera, además de que ésta alternativa de manejo de residuos sólidos representa un ahorro mundial de materias primas y de energía.

A nivel mundial gran parte de las tecnologías para el tratamiento de residuos sólidos, se encuentran en desarrollo y no han sido solo probadas a nivel industrial. Como es el caso de Rellenos Sanitarios- Bioreactor acelerado, la gasificación y pirólisis y otras como el arco de plasma y la metanización.

Por último con respecto a la disposición final cabe señalar que fuera de Latinoamérica muchos países entre ellos los Europeos principalmente, les llaman a los rellenos sanitarios vertederos, siendo que el concepto Latino tiene una definición intermedia entre tiradera a cielo abierto y rellenos sanitarios.

Actualmente en México los principales problemas que enfrentan los Departamentos de Servicios Municipales están relacionados con el mal manejo y disposición de los RSU. Esto genera altos costos y un bajo aprovechamiento de

subproductos por la carencia de infraestructura y tecnología. Así también representa un problema ambiental y de salud a los pobladores a largo plazo, de no tomarse las acciones adecuadas.

Las propuestas de tecnología presentan diversas alternativas de tratamiento de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Dichas tecnologías tienen como objetivos: aprovechar y su valorizar por medio de productos como composta, metano, energía eléctrica y combustibles alternativos y la recuperación de subproductos para su reciclaje. Así también minimizar la utilización del relleno sanitario como disposición de los residuos.

Dentro de las propuestas analizadas que se presentan, el 99% son tecnologías desarrolladas en otros países, lo cual puede llegar a entorpecer la aplicabilidad en nuestro país debido a que las características que presentan los residuos en esos países difieren a las que presentan los residuos en México. Dado lo anterior, la separación en fuente a nivel domiciliario, comercial e industrial, y su recolección separada permitirá la utilización de las tecnologías alternativas, reduciendo los costos globales del sistema y la cantidad de residuos confinados.

Cabe señalar que algunos de los proveedores incorporan tecnologías más sofisticadas con el objetivo de reducir la cantidad de materiales residuales que son enviados a disposición final. Dichas tecnologías como la incineración, oxidación térmica, pirólisis y gasificación; sin embargo, presentan grandes inversiones y altos costos de operación. Además su implementación requiere establecer la capacidad de dichas tecnologías y aplicabilidad que presentan, aspecto que se detectó, que existe poca información. A pesar de ello, existen proveedores que hacen referencia de la aplicabilidad de su tecnología en México, ya que se encuentran operando actualmente en nuestro país, lo que las hace prometedoras.

Finalmente se analizaron propuestas de maquinaria complementaria a diferentes procesos; sin embargo, es importante considerar que debido a que la mayor parte de los proveedores son distribuidores para México hay que asegurar el suministro de refacciones y mantenimiento.

Se llevó a cabo una búsqueda de proveedores potencialmente factibles para la aplicación de su producto en México. No obstante a que la información que proporcionan los proveedores en muchas ocasiones en escasa, fue posible hacer un análisis de cada una de las tecnologías y se identificó que el 99% de las tecnologías ofertadas han sido desarrolladas en otros países, y en su mayoría aprovechan al máximo los residuos durante el proceso de tratamiento, con el fin de dar viabilidad a la propuesta, garantizando porcentajes muy bajos de residuos de rechazo, con lo que se disminuye la utilización de los rellenos sanitarios. Sin embargo, esto hace que los costos de estas tecnologías sean muy elevados.

Existen empresas con diferentes enfoques de tratamiento, como es el caso de las plantas de separación para el aprovechamiento de residuos potencialmente reciclables, la producción de composta, generación de energía eléctrica y combustibles

alternativos. Aunque las características técnicas de algunas propuestas no son muy claras, especialmente en el aspecto de los residuos que son capaces de procesar.

La evaluación técnica económica, ambiental y social de cada tecnología dio como resultado, que el Rellleno convencional (0.103), Relleno seco (0.103), Relleno mecánico-biológico (0.103), y Relleno metanogénico (0.103) son la tecnología más idónea.

Los resultados obtenidos considerando cada grupo de criterios difiere el lugar en el que se ubica cada tecnología por ejemplo, los resultados de la *evaluación técnica* y ambiental indican que la tecnología de Gasificación y vitrificación por plasma con y la Pirólisis y vitrificación por plasma con una preferencia de 9.7 son las tecnologías mejor calificadas. Sin embargo éstas mismas son las menos idóneas cuando se realiza la evaluación económica.

Por otra parte los resultados obtenidos a partir de la *evaluación social*, indican que la Planta de composta (mecanizada cubierta), es la tecnología de tratamiento más eficaz, seguida por el Vermicompostaje con una preferencia, y Planta de composta (pila estática).

Los resultados de la evaluación co*nsiderando los criterios técnicos, ambientales, y sociales al costo de las tecnologías*, indican que la tecnología de Planta de composta (mecanizada cubierta) con una preferencia de 8.5% es la más adecuada, seguida del Vermicompostaje y la Gasificación y vitrificación por plasma con una preferencia de 8.2%, el relleno mecánico-biológico con un 8% y el Relleno metanogénico con un 7.9%. Por otra parte las tecnologías de Incineración y relleno convencional con preferencia de 7.3%, y Relleno seco con preferencia de 6.8%, son las tecnologías menos adecuadas para el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos.

La herramienta presentada para la la evaluación técnica, económica, ambiental y social de alternativas tecnológicas analizadas en el presente estudio, para el tratamiento y/o disposición final de los residuos sólidos, puede representar las preferencias tecnológicas en función de aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos característicos de cada tecnología. Sin embargo ésta evaluación también depende de los criterios de los evaluadores y expertos que califican cada tecnología.

Por otra parte, es importante saber, que existe una gran dependencia de las tecnologías a un pre-tratamiento, ya sea por una Planta de selección para alcanzar la calidad en composición requerida de residuos, al ingreso del proceso de la tecnología, o por un acondicionamiento de los residuos sólidos para eliminación de humedad o reducción del tamaño de los mismos.

De la misma manera, se debe tener en cuenta que no se recomienda una tecnología única de solución para lograr un manejo integral de los residuos sólidos urbanos, sino una combinación que dichas tecnologías que dependerá de cada caso en particular. Por lo cual, se debe evaluar en primera instancia, las características que rigen a una región, desde la disponibilidad de terreno, volumen y composición de

residuos que se generan, características geográficas, las características sociales, fuentes de riqueza, necesidades de la región, y fundamentalmente la legislación ambiental y el nivel económico.

De esta manera, se puede enfocar la vía correcta para seleccionar las tecnologías más adecuadas y acordes a las necesidades y capacidad económica de determinada región.

Los proyectos MDL en México cuentan con una participación significativa, pues es el cuarto país con el mayor número en ventas de bonos de carbono. Se identificaron diferentes actividades con potenciales para desarrollar este tipo de proyectos sobre todo lo que concierne al sector energético. En lo referente a los residuos sólidos urbanos, se tiene participación en la generación de energía en rellenos sanitarios a partir del aprovechamiento del biogás. Sin embargo, sólo el relleno sanitario de Aguacalientes ha recibido el pago de bonos de carbono por la captura y quema del biogás.

Los procedimientos y lineamientos para ingresar al mercado de bonos de carbono son un proceso con etapas claras y consecuentes. Cabe aclarar que no es inmediata la generación de bonos de carbono, es un procedimiento que lleva tiempo y por lo tanto debe considerarse a los bonos como un beneficio extra, no como el motor de los proyectos. Se muestra una clara oportunidad para el desarrollo de proyectos con acceso al mercado de bonos de carbono en nuestro país. Las reducciones anuales totales de los proyectos MDL en México fueron de 11,592 ktCO_2e. Las mayores reducciones se obtuvieron de proyectos de manejo de residuos de ganado, rellenos sanitarios, energía eólica e incineración de Hidrofluorocarbonos HFCs. Siendo 1,968 kt CO_2e las correspondientes a los proyectos de metano en rellenos sanitarios presentes en los estados de Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Durango, Edo Méx., Guanajuato, Jalisco, Morelos, Nuevo León, Sinaloa y Yucatán. Dichas reducciones se estiman en más de 28 millones € generados por los bonos de carbono en proyectos de metano en rellenos sanitarios. Sin embargo, solo Aguascalientes ha recibido el pago de los bonos de carbono.

Es importante para los proyectos MDL el concepto de costos de transacción y su cuantificación. Debido a que existen diferentes factores que inciden en su estimación, resulta difícil plantear todos los escenarios y alternativas posibles que cada caso puede presentar. Sin embargo, existen diferentes instituciones en México que apoyan al desarrollo de proyectos MDL, como Ecosecurities, CANROMEX, Tú Transformas y KPMG, las cuales cuentan con experiencia en el mercado de bonos de carbono en el país y quienes pueden facilitar el acceso a este mercado a las diversas tecnologías estudiadas con anterioridad.

Las oportunidades que los proyectos MDL abren al país son inmensas y no pueden dejarse pasar. En materia de residuos sólidos urbanos, la principal fuente de bonos de carbono se encuentra en el aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios. Teniendo en cuenta que el tiempo productivo de un relleno sanitario se encuentra en un periodo de 10 a 20 años, y que se tienen identificados 62 sitios potenciales para su aprovechamiento, es sin duda una buena oportunidad de inversión. Estaríamos

hablando no solo de beneficios económicos y el acceso a nuevos mercados; sino que al renovar o incorporar tecnologías que contribuyan al desarrollo sustentable del país y mejorar procesos productivos, se estarían creando fuentes de empleo al mismo tiempo que se mejora el medio ambiente y la calidad de vida de la población.