

01167



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**ACCIONES PARA MEJORAR EL MANEJO
INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS
MUNICIPALES DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA
(PLANEACIÓN)

P R E S E N T A:
EMILIO DOMÍNGUEZ CRUZ



DIRECTOR DE TESIS: DR. SERVIO TULIO GUILLÉN BURGUETE.

MÉXICO, D.F.; 2004.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A Dios por dar vida y esperanza.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad brindada y el orgullo de pertenecer a ella.

Al Dr. Servio Tulio Guillén Burguete, por sus enseñanzas y todo el apoyo brindado en la elaboración de esta tesis.

A los honorables miembros del jurado:

Dr. José Jesús Acosta Flores

Dra. María Teresa Orta Ledesma

M.I. Rubén Téllez Sánchez

M.I. Eugenio López Ortega

Por sus comentarios y sugerencias en la elaboración de esta tesis.

Al M.I. Constantino Gutiérrez por sus enseñanzas, y al Ing. Ricardo Estrada de la DGSU por el apoyo brindado en la realización de esta tesis.

A los profesores de la facultad de Ingeniería por la formación recibida y momentos compartidos.

Dedicatorias:

A mi madre (Catalina Cruz Gutiérrez) por ser fuente de inspiración y tenacidad, a la que debo todo lo que soy. Gracias Mamá.

A la memoria de mi padre (Segundo Domínguez Osorio), que siempre recuerdo y esta en mi corazón.

A mi abuelita (Cira Gutiérrez Francisco) que quiero tanto.

A mi hermano (Enrique Domínguez Cruz), por su valor y esfuerzo en lo que hace.

A Ana, a mis tíos (Aida y Julián, Celina y Angel, Isabel y José), y a todos mis familiares con mucho cariño.

A todos mis amigos por los momentos compartidos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO	4
Problemática del manejo y disposición de residuos sólidos municipales de la Ciudad de México	4
Objetivo	6
Alcances y limitaciones	6
2. TEORÍA DE SISTEMAS	7
2.1 EL enfoque de sistemas	7
2.2 Un proceso de de planeación sistémico	16
2.3 Objeto de estudio (delimitación del sistema residuos sólidos municipales de la Ciudad de México)	20
3. GESTIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO	21
3.1 Antecedentes	21
3.2 Sistema operativo de manejo de residuos sólidos	22
Generación y almacenamiento	
Recolección	
Transferencia	
Selección	
Tratamiento	
Sitios de disposición final	
3.3 Aspectos institucionales y legales	34
3.4 Aspectos sociales	36
3.5 Aspectos financieros	36
3.6 Clasificación y composición de los residuos sólidos	36
Clasificación	
Composición	

4. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA OPERATIVO DE RESIDUOS SÓLIDOS _____ 42

- 4.1 Situación futura sin considerar cambios en el sistema de manejo de residuos sólidos -----42
- 4.2 Objetivo del sistema de residuos sólidos-----45
- 4.3 Análisis del sistema operativo de manejo de residuos sólidos -----46
- 4.4 Problemas del sistema de manejo de residuos sólidos, propuestas y jerarquización -----57

5. ACCIONES Y ANÁLISIS DE PRIORIDADES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS _____ 63

- 5.1 Acciones para el manejo de residuos sólidos -----63
- 5.2 Criterios y análisis de prioridades de acciones a seguir -----72

6. LA INCINERACIÓN COMO UNA ACCIÓN A SEGUIR _____ 82

- 6.1 La incineración -----82
- 6.2 Determinación actual y futura de número de incineradores ---88

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____ 98

REFERENCIAS _____ 101

ANEXO A (*Cuestionario para identificar problemas y proyecciones de generación de residuos sólidos*) ----- **104**

ANEXO B (*Cálculo del poder calorífico, normatividad de emisiones de incineración y tecnología de incineración*) -----**110**

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos (basura) es un problema que padece toda civilización, que aunado a su grado de desarrollo estos se incrementan, de tal modo que en las ciudades de gran tamaño como la Ciudad de México, en la que se encuentra casi totalmente cubierta por la mancha urbana, el problema se agrava y provoca grandes descontentos, tanto en el manejo como en la disposición de estos.

Estos residuos sino son bien manejados y dispuestos, debido a su cantidad y composición pueden producir daños a la salud, contaminación del suelo, de las aguas superficiales y mantos acuíferos, así como al aire. Produciendo con todo esto enfermedades a los seres vivientes, y un desequilibrio a los ecosistemas ya que esta no puede asimilar rápidamente todos los residuos generados.

Es indudable que con respecto a los residuos todos quieren una solución, pero no cerca de ellos, como lo ha demostrado el tratar de ubicar ya sea una estación de transferencia, una planta de selección, o un sitio de disposición, en la que se han provocado reacciones sociales en contra. El problema se agrava cada día más, ya que los residuos siguen incrementándose debido al aumento de la población y a su gran índice de consumo, lo cual hace necesario ampliar el servicio y mejorar el sistema existente de manejo de residuos.

Por lo que debido a lo anterior es urgente encontrar soluciones alternativas para el manejo de residuos sólidos, los tiraderos que se provocan en las calles son solo parte del problema, solucionar esto, es tratar de solucionar solo una parte de la problemática, por lo que se debe de hacer un análisis, sino exhaustivo, por lo menos un análisis de las interrelaciones más importantes que se conocen. Para así poder llegar a una solución sino definitiva, por lo menos que ayude a minimizar el problema, sin incrementar los problemas ya existentes.

Por lo que el objetivo y el alcance de la tesis son los siguientes:

Objetivo: Proponer acciones para mejorar la gestión de residuos sólidos considerando la optimización del reciclaje, los procesos intermedios y la incineración.

Alcances y limitaciones: Para la determinación de acciones a seguir, se realizará tomando en cuenta sólo los residuos generados en la Ciudad de México, por lo que se hará un análisis de la situación actual, determinando las características principales de estos residuos, los problemas más representativos de cada etapa del sistema actual de manejo. Esto a través de revisión bibliográfica relacionada, complementada con investigación de campo a través de entrevistas, y a sí de esta manera hacer un análisis sobre las posibles acciones a seguir.

Presentación de la tesis

Para afrontar la problemática y proponer acciones, el trabajo presenta la siguiente estructura:

En el primer capítulo se hace una descripción de la problemática, así como del objetivo propuesto que es: proponer acciones para el manejo de residuos sólidos municipales, y los alcances y limitaciones de la tesis.

En el segundo capítulo se presenta el marco teórico usado, que es el enfoque de sistemas, esto debido a que el enfoque analiza situaciones desde un punto de vista holístico, dando una visión panorámica del problema, por lo que se hace una descripción de los conceptos de sistemas, su objeto de estudio, elementos interrelacionados a cumplir un fin, lo cual da la base para el proceso de planeación (ubicación del sistema descripción de la situación actual y futura del sistema, diagnóstico, alternativas de solución, evaluación y selección de la acción a seguir).

En el tercer capítulo se hace una descripción de la gestión actual de residuos sólidos, a modo de conocer las interrelaciones involucradas, de tal modo que se llega a comprender el sistema actual de manejo de residuos de la Ciudad de México.

En el cuarto capítulo se hace el diagnóstico del sistema de residuos sólidos, esto a través de recopilación de información bibliográfica, proyecciones de generación de residuos sólidos y de entrevistas hechas en las diferentes etapas del sistema operativo de residuos sólidos, por lo que se determinan problemas principales que afronta el sistema tanto en la actualidad como en un futuro cercano si no se actúa. Se dan para estos problemas detectados algunas recomendaciones a seguir, posteriormente se realiza una jerarquización en orden de importancia y urgencia de estos, a modo de determinar cual es, o cuales son los problemas principales a abordar.

En el quinto capítulo se hace una descripción de las principales acciones que se aplican al manejo de residuos sólidos (reducción en fuente, reutilización, reciclaje, tratamiento y disposición final); así como la determinación de criterios considerados relevantes, para así jerarquizar las acciones a seguir, ya que aunque las acciones son complementarias, no todas pueden implantarse al momento o siempre habrá la necesidad de dar prioridad a una acción a seguir que cumpla en mayor medida con el objetivo buscado, esto en base a la situación actual que presenta la Ciudad de México. Por lo que evaluando se observa que la incineración se presenta como la principal acción a seguir.

En el sexto capítulo se hace una descripción del proceso de incineración y la determinación del número de incineradores necesarios para la incineración de residuos sólidos en las salidas de las plantas de selección; ya que aquí se presenta mejor conocimiento de los tipos de residuos, y la ventaja de que ya se le han quitado materiales reciclables, y entre ellos algunos residuos que podrían generar mayor cantidad de contaminantes al incinerarse.

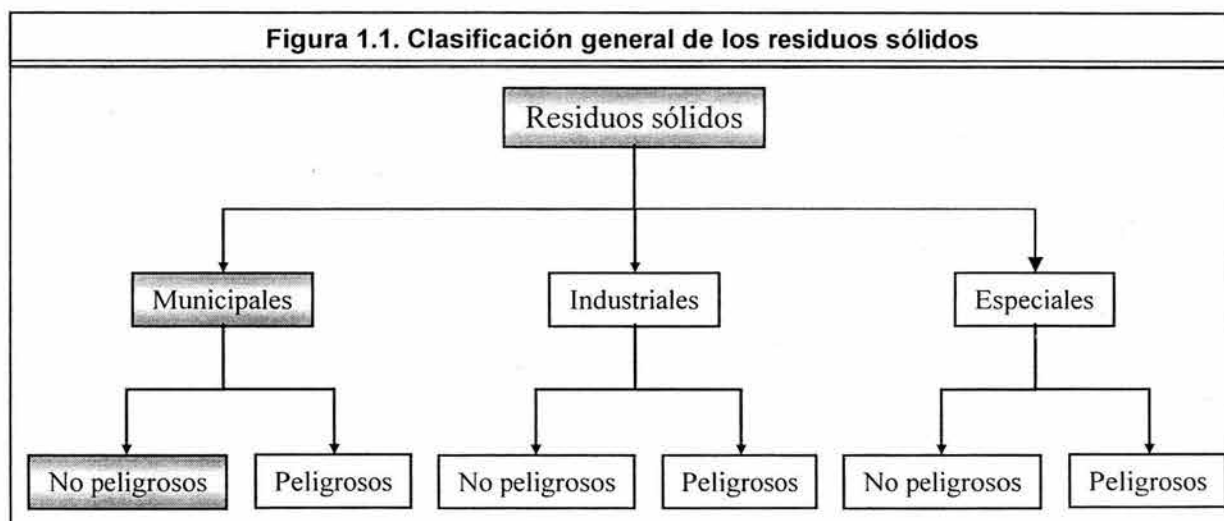
Finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

1. PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Definiciones básicas

Residuo: cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización o tratamiento, cuya calidad no permita incluirlo nuevamente en el proceso que lo generó (según la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)).

Residuo sólido municipal (RSM): son aquellos residuos que son generados en casas habitación, parques, jardines, vía pública, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes e inmuebles, demoliciones, construcciones, instituciones, establecimientos de servicio y en general en todos aquellos generados en el ámbito urbano, que no requieren técnicas especiales para su control, excepto los peligrosos provenientes de hospitales, clínicas, laboratorios, centros de investigación, etc. Véase clasificación general de los residuos sólidos en la figura 1.1:



Fuente: Gutiérrez, Constantino; Apuntes de clase de residuos sólidos DEPFI, 2003.

Tasa de generación: es el total de toneladas por unidad de tiempo divididas entre el número total de habitantes.

Generación unitaria promedio per-cápita: es el promedio total de toneladas por día entre el número total de habitantes.

Problemática del manejo y disposición de residuos sólidos en la Ciudad de México

La generación de residuos sólidos (comúnmente llamada basura) es una consecuencia de las actividades humanas y es un problema que se incrementa con el desarrollo de las poblaciones, ya que paradójicamente al elevarse el nivel de vida de estas, la cantidad de residuos aumenta, debido a una mayor capacidad de consumo. Por lo que este problema se agudiza sobre todo en las grandes urbes como la Ciudad de México, en la que se encuentra concentrada gran parte de la población, aproximadamente 8 millones de habitantes, que demandan todo tipo de servicios, entre ellos la eliminación de residuos sólidos, que son de aproximadamente unas 12,000 mil toneladas diarias, para lo cual se requieren servicios de limpieza, recolección, transferencia, tratamiento y disposición final.

Para la reducción y disposición estos residuos sólidos se han puesto en marcha una diversidad de programas y proyectos (separación de basura en unidades habitacionales como en Tlatelolco, en parques como el de Chapultepec, plantas de selección para la recuperación de materiales, tratamiento a través de incineración como en San Juan Aragón), sin embargo éstas no han sido implementadas satisfactoriamente.

La separación en origen no se ha llevado a cabo favorablemente, debido a la poca concientización y divulgación de información sobre el problema entre los habitantes de la ciudad. La separación en plantas se ha llevado a cabo, pero no de manera eficiente, debido al bajo mantenimiento y obsolescencia de la maquinaria y equipo, así como a la poca capacitación de los operadores. En lo que respecta a la incineración, se puso en marcha un proyecto piloto, sin embargo ésta al no cumplir con la normatividad de emisión de gases, fue cerrada. Por lo que la mayor parte de residuos que se generan van a dar a sitios de disposición, como son los tiraderos clandestinos o en mejor de los casos a los rellenos sanitarios. Sin embargo debido al crecimiento de la mancha urbana, en la Ciudad de México ya no es posible encontrar lugares en donde disponer basura e infraestructura para su manejo sin provocar

reacciones sociales, y que además esto aunado a problemas políticos se provoca el bloqueo de soluciones.

Por lo que el problema de residuos sólidos esta llegando a ser de tal magnitud, que al no tenerse también un servicio eficiente del sistema se provoca el descontento social, ya que para solucionar el problema la gente empieza a tirar sus bolsas de basura en las esquinas de la calle, lotes baldíos, generándose tiraderos clandestinos, que provocan generación de plagas, enfermedades para los aledaños, así como una mala imagen de la ciudad, degradándose así, la calidad de vida de la gente, con un incremento cada vez mayor de inconformidad.

Por lo que debido a lo anterior es urgente encontrar soluciones alternativas para el manejo de residuos sólidos, los tiraderos que se provocan en las calles son solo parte del problema, solucionar esto, es tratar de solucionar solo una parte de la problemática, por lo que se debe de hacer un análisis, sino exhaustivo, por lo menos de las interrelaciones más importantes que se conocen. Para así poder llegar a una solución sino definitiva, por lo menos que ayude a minimizar el problema, sin incrementar los problemas ya existentes. Por lo que a los resultados que se lleguen aquí, serán solo una forma propia de percibir la situación, claro que por supuesto, influenciado de antemano por los que me han dado sobre todo una formación formal.

Objetivo: Proponer acciones para mejorar la gestión de residuos sólidos, considerando la optimización del reciclaje, los procesos intermedios y la incineración.

Alcances y limitaciones: Para la determinación de acciones a seguir, se realizará tomando en cuenta sólo los residuos generados en la Ciudad de México, para lo cual se hará, un análisis de la situación actual, determinando las características principales de los residuos, los problemas más representativos de cada etapa del sistema, esto a través de revisión bibliográfica relacionada, complementada con investigación de campo (entrevistas), y así de esta manera, hacer un análisis sobre las posibles acciones a seguir de acuerdo a las condiciones existentes de la Ciudad.

2. TEORÍA DE SISTEMAS

2.1 El enfoque de sistemas

En la actualidad se están dando cambios muy acelerados, de tal modo que surgen problemas cada vez más complejos, que rebasan las soluciones implantadas, estos problemas presentan gran interacción con otros, por lo que su panorama global llega a obscurecerse, a tal grado que resulta difícil captar de manera clara la problemática que se enfrenta. Por lo que para resolver problemas lo que se necesita es organización, y empezar por un proceso de razonamiento (marco teórico), ya que de lo contrario uno puede perderse en la ruta de la exploración (*Churchman, 1979*).

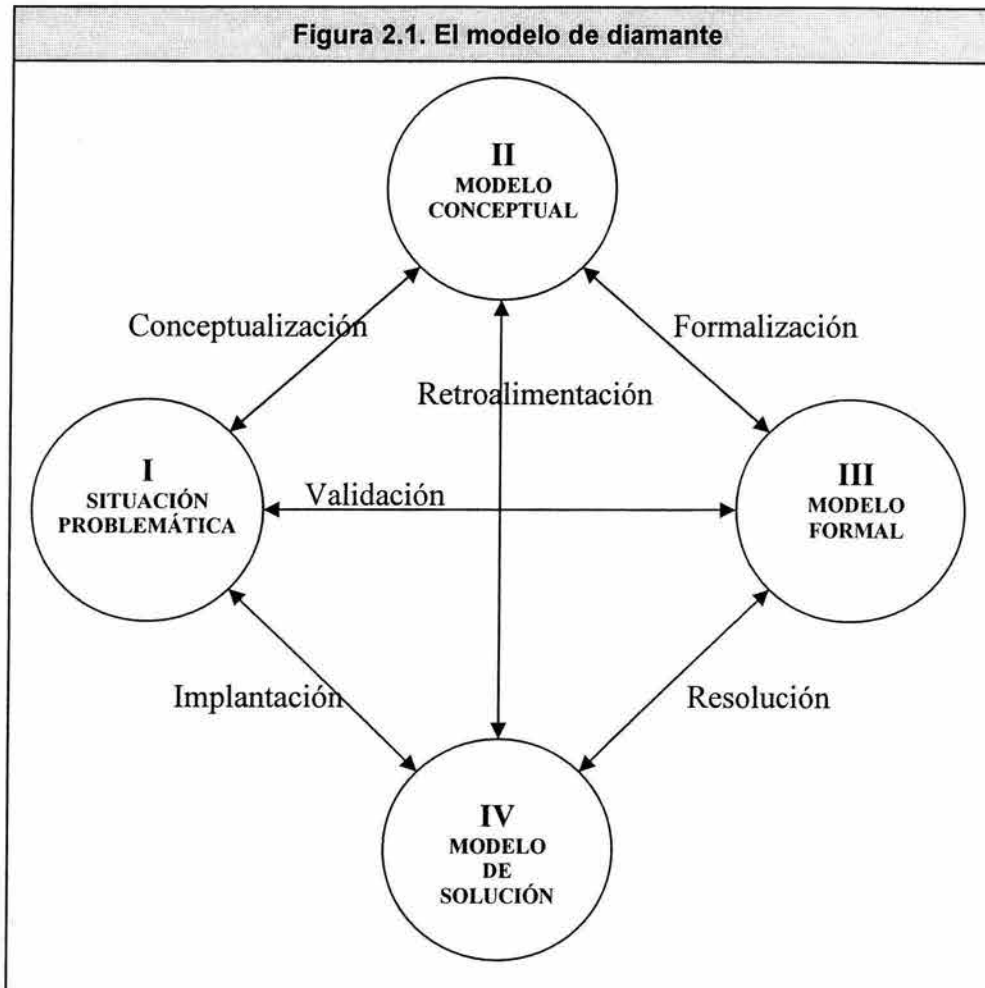
Por lo que toda indagación a modificar una situación existente, en la que se percibe un estado de inconformidad (en planeación un problema es la diferencia entre un estado deseado a un estado actual), se sigue una serie de pasos lógicos, elementos interconectados que forman una totalidad (**sistema**). Y una forma general de abordar y resolver problemas esta dado por el modelo de diamante elaborado por Ian L. Mitroff y Frederick Betz (*Suárez, R., 1990*), véanse siguientes etapas y figura 2.1:

I. Determinación de la situación problemática

Esta fase comprende el reconocimiento de una situación de desajuste, la existencia de un conjunto de problemas desligados entre sí (problemática), y aun no determinados en su totalidad.

II. Conceptualización del modelo

En esta se define en forma precisa el problema a resolver, por lo que se definen las variables relevantes, para así definir la naturaleza del problema y el grado de profundidad a estudiarlas.



Fuente: Ian Mitroff y Frederick Betz.

III. Formalización del modelo

Esta comprende la formalización del método de solución, los pasos que se deben de seguir. Con el propósito de llegar a la solución en función del comportamiento de las variables que definen el modelo.

IV. Modelo solución

Es la aplicación del modelo formal a la solución en correspondencia con el modelo conceptual. Por lo que se tiene una explicación única del fenómeno reduciéndose la incertidumbre y la ambigüedad.

Como estas etapas son interdependientes, uno puede ir y regresar en cada una de estas, validando así la relación de cada una con las demás, llegándose de este modo a determinar una solución a la problemática planteada, véase figura 2.1.

Los Sistemas

Cuando se oye hablar de sistema, una de las primeras cosas que le viene en mente a una persona, es pensar en el sistema solar, los sistemas de cómputo, los sistemas del cuerpo humano, sistema de información, etc., y esto es algo correcto, ya que la palabra sistema tiene una connotación amplia, por lo que abarca lo anterior y muchos otros sistemas.

Para tener una idea de lo que es un sistema, se presentan a continuación algunas definiciones:

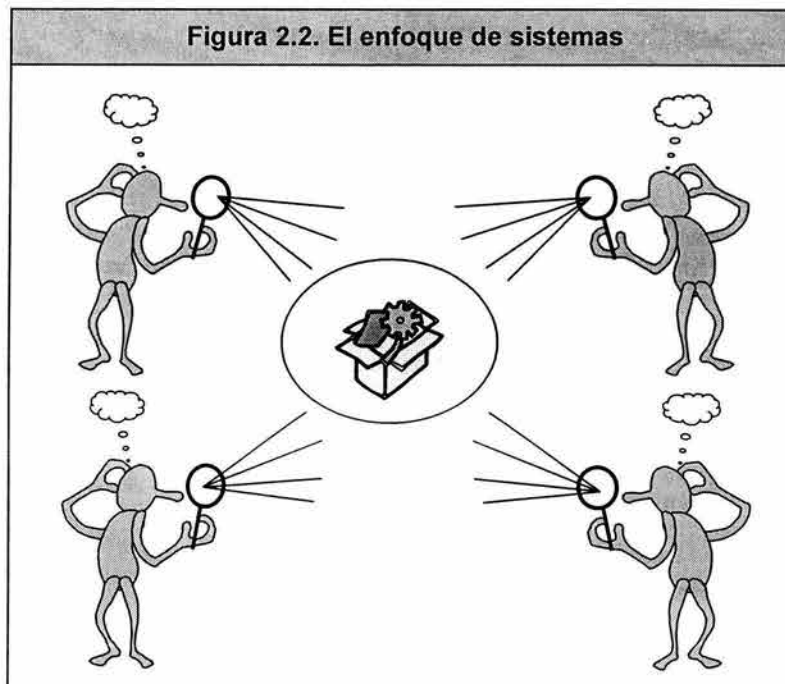
1. *Un sistema es una entidad que consiste de partes interdependientes (Cárdenas, M., 1978).*
2. *Sistema es un conjunto de dos o más elementos interrelacionados de cualquier especie (Ackoff L., Russell, 1974).*
3. *Arreglo de un gran número de partes que interactúan de manera no simple. En tales sistemas el todo es más que la suma de las partes, dadas las propiedades de la partes y las leyes de su interacción, no es algo trivial inferir las propiedades del todo (Simon, en Gigch; 1981).*
4. *Conjunto ordenado de procedimientos, relacionados entre sí, que contribuyen a realizar una función (Ochoa Rosso, 1985).*

De la que se observa que todas nos indican elementos interrelacionados, pero las últimas le agregan un objetivo o sentido al sistema.

Aunque hay una gran cantidad de sistemas, unos creados y otros no; los de interés para propósitos de planteamiento, serán aquellos sistemas de comportamiento, y en

particular aquellos que están sujetos a un control humano, o sea sistemas de comportamiento controlable.

Anteriormente las disciplinas científicas se distinguían entre sí, ya que para resolver un problema este se subdividía en subproblemas (reduccionismo), ya sea económico, ambiental, social, político o tecnológico, para luego ser abordada por cada una de estas en base a su competencia, y luego conjuntar las soluciones para así tratar de resolver el problema, sin embargo estas soluciones no resolvían el problema en forma total, ya que el optimizar cada parte no daba un óptimo total, debido a que las soluciones no encajaban y además traían consigo otros problemas, por lo que en la actualidad se tratan de resolver los problemas en forma interdisciplinaria, buscándose obtener síntesis más comprensibles de conocimiento, para así interactuar en una forma mejor y resolver un aspecto de la naturaleza. Por lo que en el enfoque de sistemas cada disciplina es considerada solo como un punto de vista, véase figura 2.2 siguiente, en la que cada una de estas forma parte de un sistema mayor y aun estas interdisciplinas se conceptualizan como partes de otro todavía mayor.



Fuente: Elaboración propia.

También anteriormente las acciones e interacciones se explicaban con base en la relación causa-efecto (enfoque mecanicista), en la que E. A. Singer señaló que esta se usaba en dos sentidos:

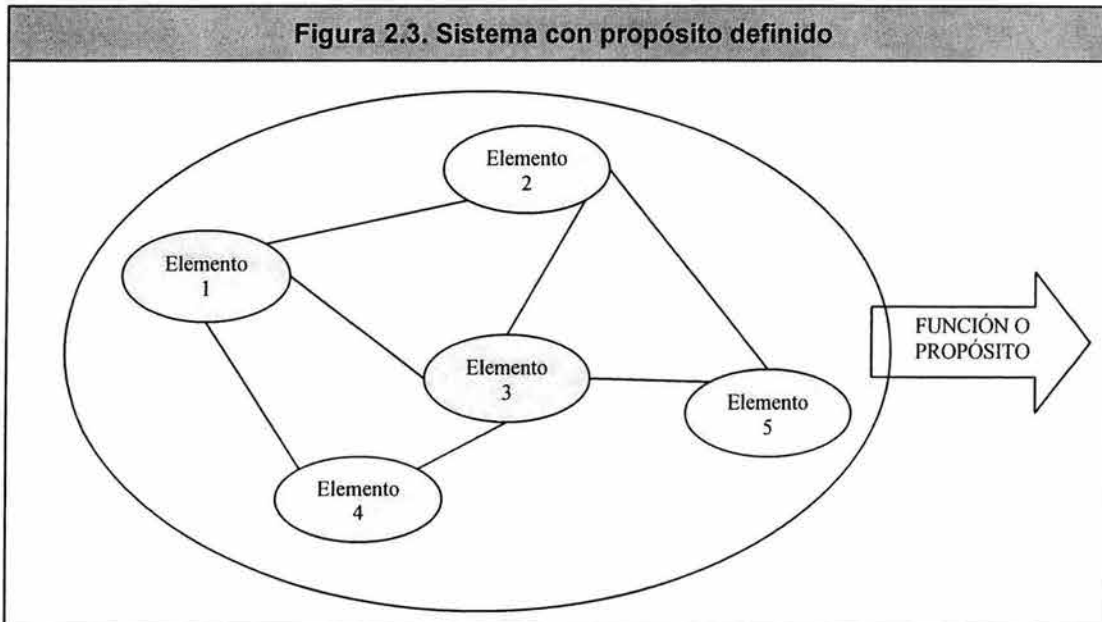
- 1^{era}. Que una cosa era necesaria y suficiente para su efecto.
- 2^{da}. En la que algo era necesario pero no suficiente para la otra.

A esta última Singer lo llamo Producto-productor. Por lo que debido a que el productor no es suficiente para su producto, son necesarios otros productores (coproductores), los cuales tomados colectivamente constituyen el medio ambiente de un sistema (también llamado entorno), este medio ambiente esta formado por todas las cosas físicas y sociales, artificiales y naturales que le son externas y que le afectan por su comportamiento, por lo que esta relación conlleva un pensamiento de sistema abierto, en la que el sistema tiene un intercambio de información con este medio ambiente. Y no es precisamente un sistema cerrado en la que se considera que no hay un intercambio de información.

Por lo que los sistemas surgieron como una nueva visión, misión y un nuevo método, en la que esta nueva forma de pensar remodela y reemplaza a las formas anteriores (enfocadas al reduccionismo, al mecanicismo y modo *analítico* (Ackoff L., Russell, 1974)) por el expansionismo y teleología, y un modo sintético de pensar.

El expansionismo sostiene que todos los objetos y eventos son partes de todos mayores, aunque no niega que estos tengan partes. Esta es una nueva forma de apreciar las cosas, en la que se enfoca a los todos con las partes interrelacionadas, y la teleología, de que hay un propósito definido por el cual se actúa (estudio de comportamiento intencional).

Por lo que un sistema puede definirse como un conjunto de elementos interrelacionados (dos o más elementos) de cualquier especie, con un propósito definido, y que puede ser dividido estructuralmente para efectos de análisis; pero no divisible funcionalmente ya que perdería sus propiedades de conjunto. Véase sistema con propósito definido en la figura 2.3:



Fuente: Fuentes, Zenón.

Los sistemas se caracterizan por tener las siguientes propiedades:

Características estructurales:

1. Lo forman elementos: que son los componentes fundamentales del sistema y estos pueden ser una representación real o simplificada de la realidad (subsistemas). Cabe decir que estos pueden subdividirse en elementos de orden inferior.
2. Propiedades entre los elementos: Los elementos de los sistemas tienen propiedades en conjunto que no poseerían en forma separada, es decir el todo es más que la suma de sus partes, entre las propiedades que tienen, se pueden mencionar principalmente las siguientes:
 - a) Las propiedades o comportamiento de cada uno de los elementos tienen un efecto en las propiedades o el comportamiento del conjunto tomado como un todo.

- b) La forma en que son afectados los elementos y al todo dependen, de las propiedades y el comportamiento de al menos otro elemento del conjunto. Es decir que ningún elemento tiene un efecto independiente en el todo.

- c) Cada subgrupo de elementos del conjunto tiene las mismas propiedades anteriores. En consecuencia no se puede subdividir al sistema en subsistemas independientes.

Características funcionales:

- 1. Flujos: en todos los sistemas dinámicos y abiertos, existe un intercambio de información, materiales, energía, tanto entre los elementos y como con el entorno o ambiente, estos flujos se dan a través de las redes comunicación.

- 2. Elementos de control: todos los sistemas tienen elementos de que controlan o regulan la circulación de flujos (llamados grifos o válvulas en dinámica de sistemas).

- 3. Retardos: en muchas ocasiones las relaciones funcionales entre los elementos no son instantáneos, sino que hay retardos en el intercambio de información o materiales.

- 4. Bucles de retroalimentación: en una secuencia de operación, un elemento que ya ha operado, es afectado por otro que apenas esta operando.

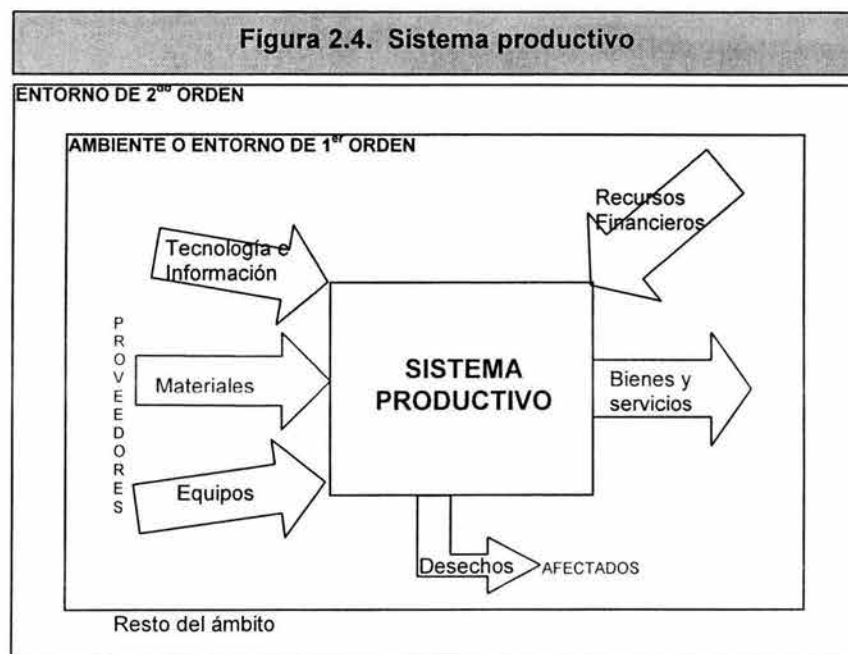
Límites de los sistemas:

- 1. Un sistema no esta aislado, sino que se encuentra situado en uno más amplio, denominado entorno o ambiente, que influye en el

sistema y esta a su vez es modificado por el sistema. El límite del sistema es la demarcación entre los elementos que lo componen (variables controlables) y los elementos del ambiente (variables incontrolables), (Ackoff L., Russell).

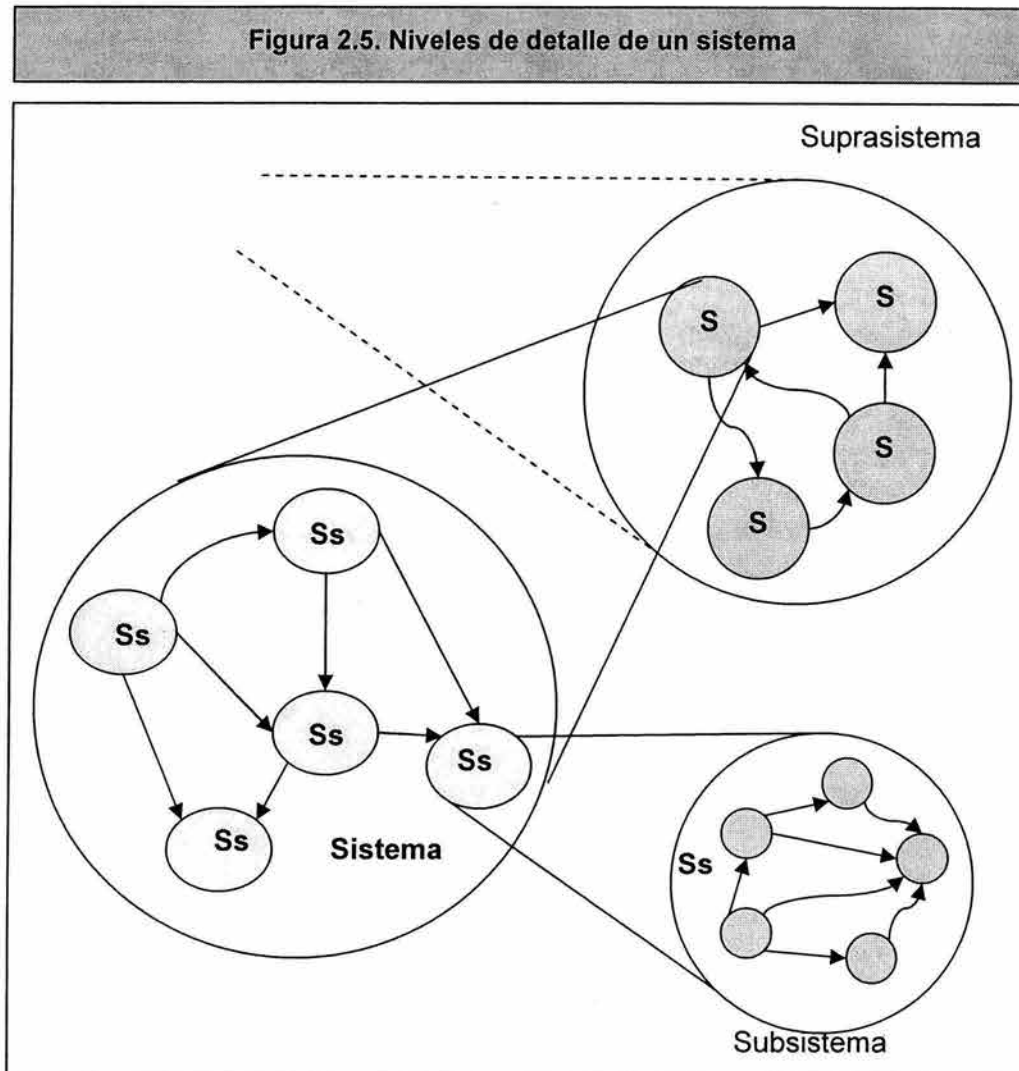
2. El ambiente o entorno es el conjunto de elementos y fenómenos que no perteneciendo al sistema tiene las siguientes propiedades:
 - a) Una modificación de cualquiera de los atributos afecta al sistema.
 - b) Sus atributos quedan alterados por la forma de comportarse del sistema, estos elementos del entorno son independientes del sistema, ya que el sistema no tiene el control sobre ellos.
 - c) El límite de un sistema esta en función del objetivo que se marque en el estudio.

La realidad puede presentarse como un sistema productivo, como se muestra en la siguiente figura 2.4.



Fuente: Fuentes Zenón.

Los sistemas pueden dividirse en subsistemas, y estos a su vez en subsistemas, y estas tendrán los mismos límites y características anteriores. Véase figura 2.5.



Fuente: Fuentes Zenón y Sánchez Guerrero.

Como los sistemas son vistos como partes de otro mayor llamado suprasistema; estos sistemas se explican en función del papel que juegan en ese suprasistema, por lo que funcionarán adecuadamente dependiendo de la forma en que se relacionan con ese medio ambiente y de la forma de relación con otros sistemas de ese medio ambiente. Este enfoque se basa en la observación de que, cuando cada parte de un sistema funciona tan bien como es posible en relación a los criterios que se aplican,

rara vez el sistema como un todo funciona tan bien como sea posible. A decir que la suma de las optimizaciones de cada una de las partes, no optimiza al todo, ya que a veces para lograr un buen funcionamiento, es necesario suboptimizar alguna de las partes; es decir que el desempeño del sistema depende de que tan bien las partes se ajusten entre sí, y no como cada una de las partes trabajen bien cuando se le considera por separado.

Los sistemas tienen una orientación teleológica, a decir tienen un propósito definido, en la que también sus elementos tienen propósitos definidos, y además del sistema del cual forman parte también tienen propósito definido, por lo que en la resolución de sistemas y control de estas se encuentran implicados tres problemas (*Ackoff, 1975*):

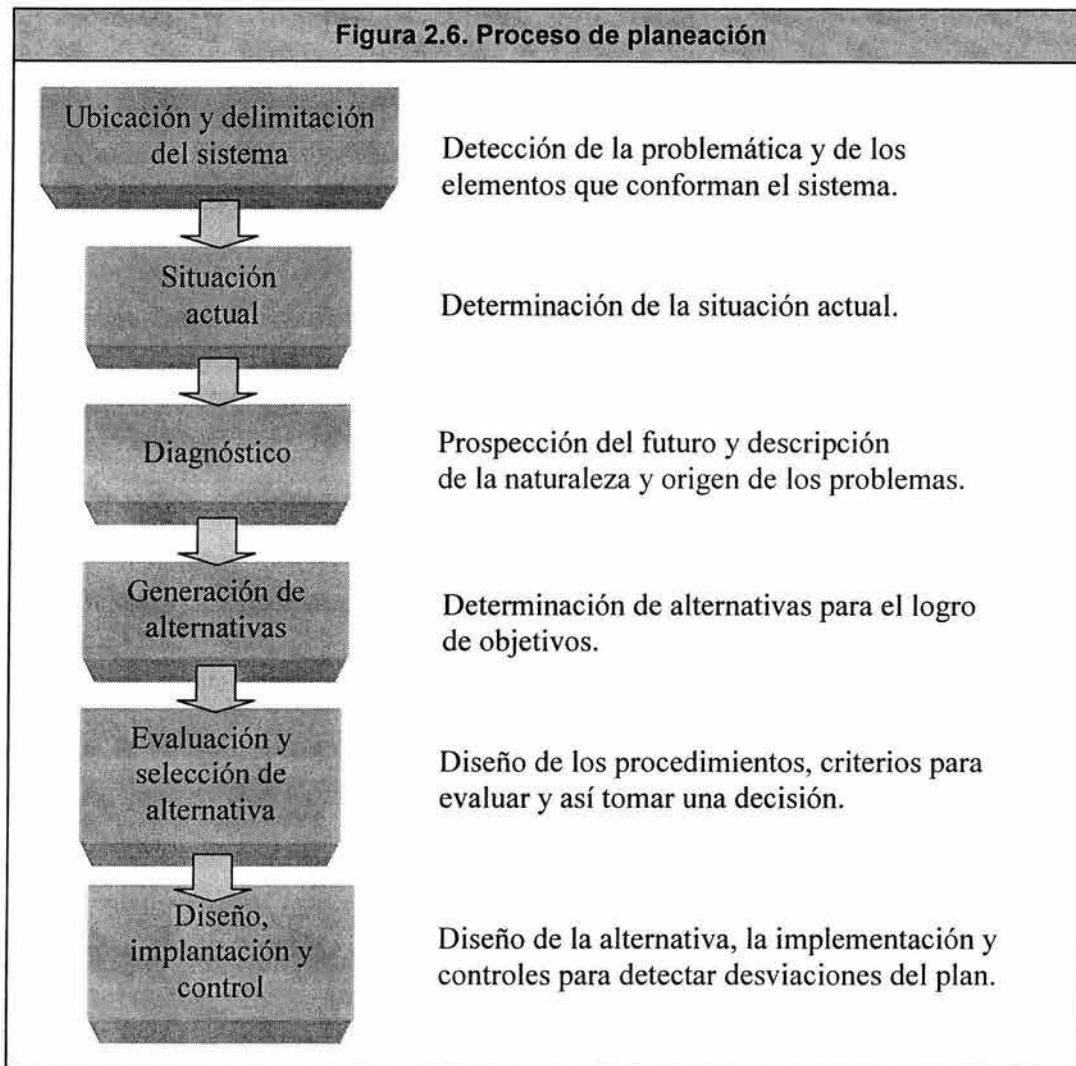
1. El incremento de la efectividad con que el sistema sirve a sus propios propósitos (**autocontrol**).
2. Los propósitos de sus componentes (**humanización**).
3. Y los propósitos de los sistemas del cual forman parte (**ambiente**).

2.2. Un proceso de planeación sistémico

Dado los conceptos del enfoque de sistemas, una forma particular de planeación sistémica de afrontar problemas es la siguiente (véanse etapas en figura 2.6):

Ubicación y delimitación del sistema:

Esta etapa comprende la determinación de los elementos que conforman el sistema en el cual se detecta una problemática, y entre estos se pueden encontrar su estructura (personal, instalaciones, equipo, etc.), proceso (organización, objetivos, programas, etc.) y su ambiente.



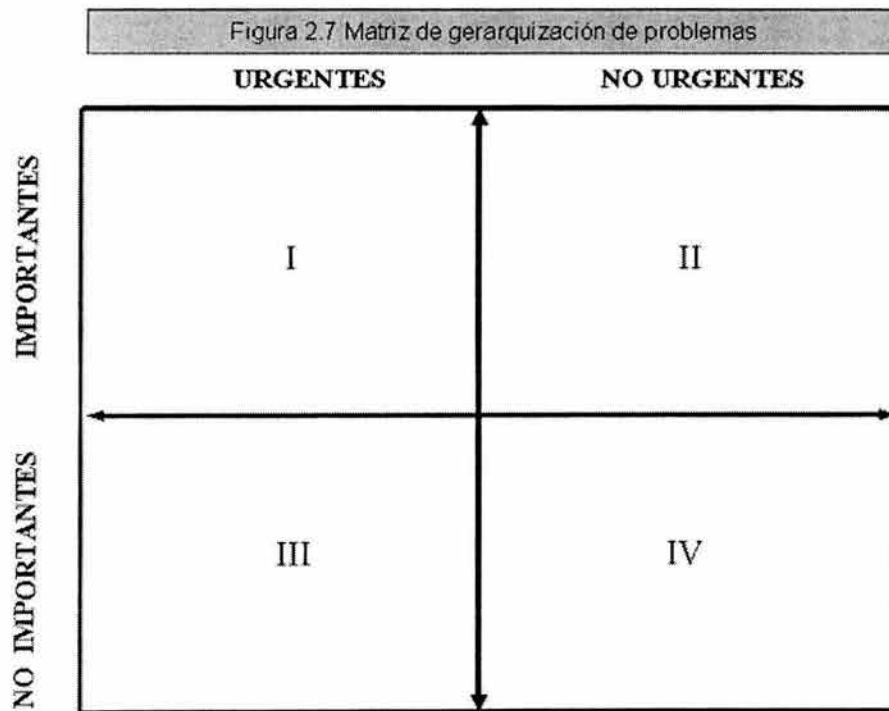
Situación actual

Esto debido a que no se podrá hacer una buena planeación a menos que se conozca la situación actual del sistema, por lo que se deben de puntualizar los elementos que conforman el sistema, sus interrelaciones en cuanto a cómo está organizada, cuál es su forma de operar y políticas para el logro del objetivo u objetivos.

Diagnóstico

Esta comprende hacer un análisis histórico y determinar la situación futura si no se hacen cambios en el sistema existente, la cual da una referencia para la búsqueda

de cambios. Posteriormente se hace una formulación de lo deseado (generalmente cualitativa), y así definir objetivos concretos a alcanzar, por lo que teniendo lo anterior y conociendo los objetivos que se desean, se hace un análisis de las discrepancias entre lo deseado y la situación actual, esto a través de bibliografía especializada, complementada por medio de entrevistas, con lo cual se determinan los problemas existentes, la solución de éstos problemas contribuyen de diferente manera al logro de objetivos, por lo cual resulta de suma importancia clasificar los problemas a atacar, y una manera de hacerlo es por medio de la matriz ideada por Covey, véase figura 2.7, en la que clasifica los problemas en base a la urgencia e importancia, representando la urgencia como la necesidad de atención inmediata, y la importancia enfocada al logro de resultados. De los cuatro cuadrantes resultantes de la matriz, dice que para tener resultados significativos se deben de abordar los problemas de los cuadrantes I y II, ya que siendo urgentes o no, éstos si son importantes. Por lo que de esta manera resaltan las áreas de mayor interés del sistema, con lo cual se puede observar que la que la importancia de cada subsistema es distinta, sin embargo no se debe de perder el sentido de la totalidad, por lo que finalmente se definen los problemas a resolver.



Fuente: Covey, R. Stephen.

Generación de alternativas

Se determinan las alternativas para lograr los objetivos deseados, como de mejoramiento, en la que primeramente debe de quedar claro que se debe de cambiar, o en el caso de futuras amenazas como evitar la aparición de estas para no ser vulnerables a sus efectos.

Evaluación y Selección de alternativa

En esta etapa se definen criterios para hacer una evaluación comparativa de los diferentes medios alternativos, esta valuación puede usar instrumentos cuantitativos como cualitativos.

Al respecto, es oportuno señalar que una tendencia en la evaluación y selección de alternativas es confundir éstas con la medición. La medición, es una tarea necesaria más no suficiente, es "objetiva" y enfoca el resultado desde el punto de vista cuantitativo; es de carácter instrumental y es un insumo para la estimación evaluativa, pero finalmente la evaluación y selección de alternativas es una apreciación cualitativa (Sánchez, G., 2003).

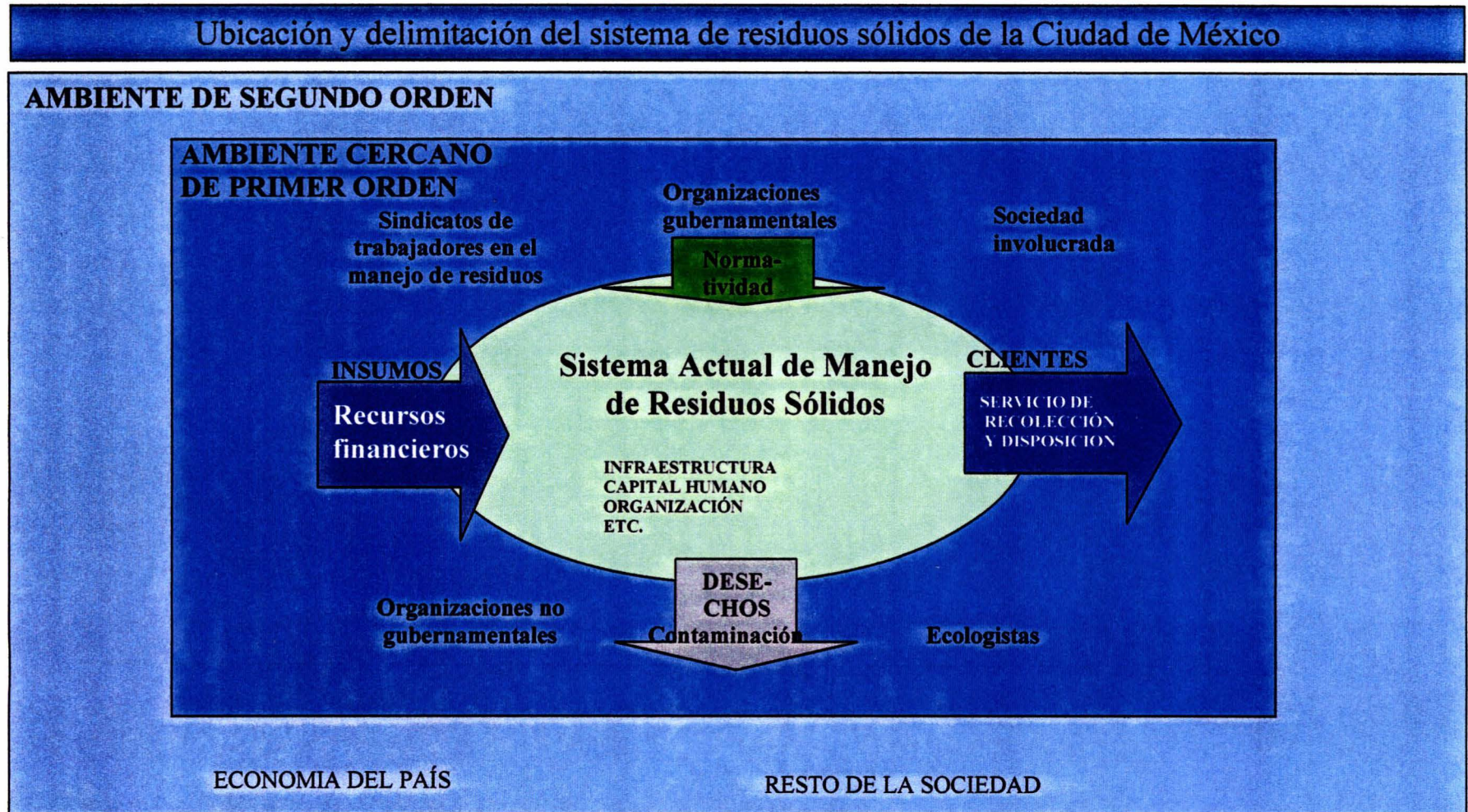
Para evaluaciones existen diferentes técnicas, entre ellas se encuentra la de ponderaciones, que es de muy sencilla aplicación, en la cual se definen primeramente los criterios que se consideren relevantes y así posteriormente proceder a hacer la evaluación global, con la cual se define la acción o alternativa que logre contribuir más un objetivo dentro de las restricciones existentes.

Diseño, Implantación y control

Se diseña la solución seleccionada, la determinación de como se va a llevar a cabo la implementación, así como también controles para determinar desviaciones del plan y así poder corregir estos sobre la marcha.

2.3 OBJETO DE ESTUDIO

Elementos representativos que conforman actualmente el sistema de manejo de residuos sólidos municipales de la Ciudad de México.

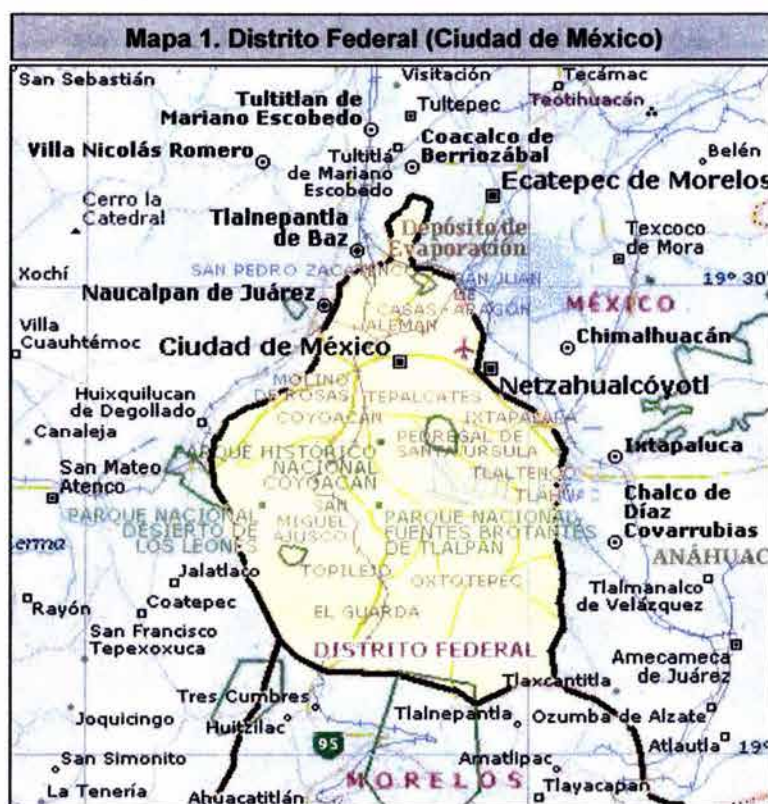


Fuente: Elaboración propia

3. GESTIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO

3.1 Antecedentes

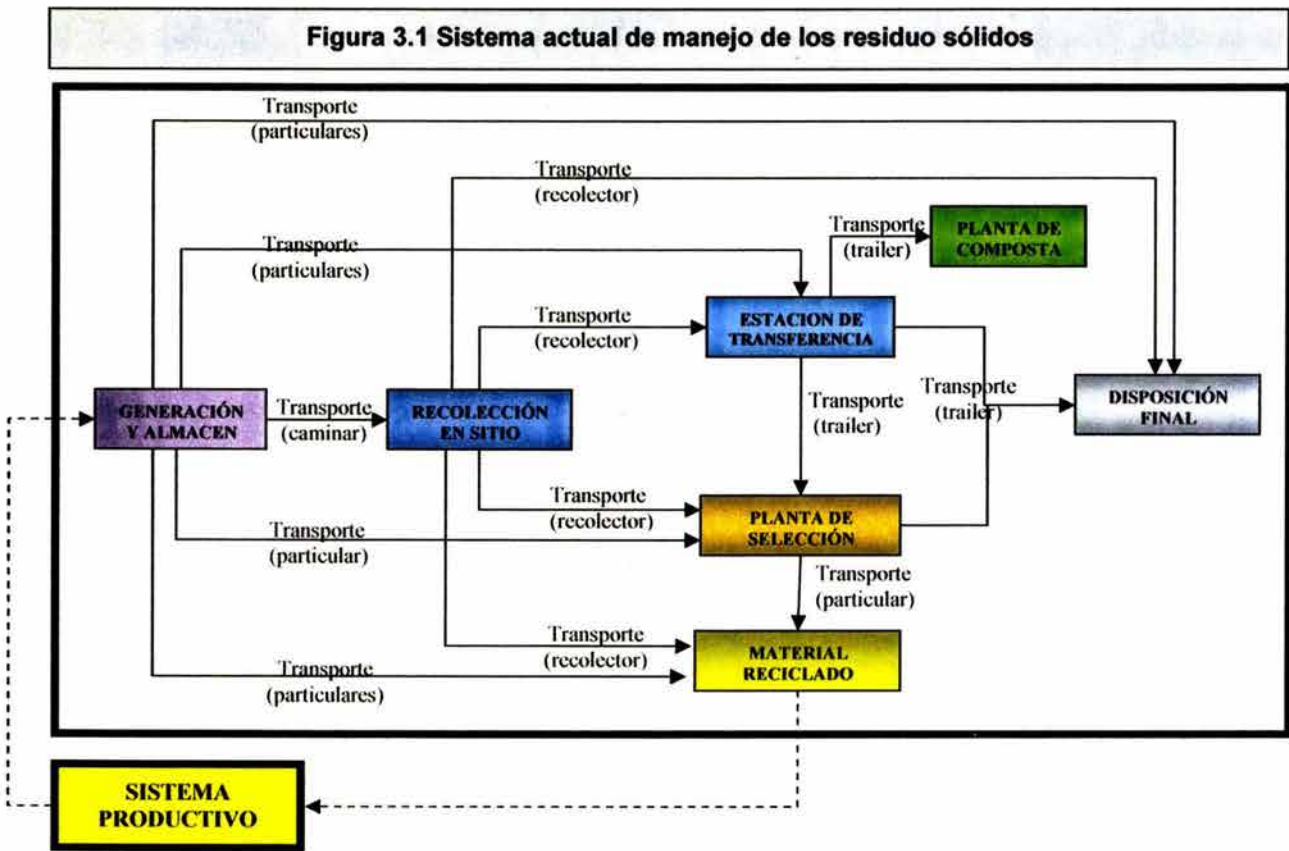
La Cd. de México (Distrito federal, 1505km², véase siguiente mapa 3.1) se encuentra localizada en la porción central de la de la República Mexicana que se localiza entre la parte austral de la altiplanicie Mexicana y el sistema Volcánico transversal, ocupando la porción suroeste de la cuenca de México. Limita al norte, oeste y este con el estado de México y al sur con el estado de Morelos. Posee un clima templado semi-seco en el noreste, templado sub-húmedo en el centro y semi-frío sub-húmedo en las alturas superiores a 2.800 m. Mantiene un régimen de lluvias de verano y poca oscilación térmica anual, aunque la diurna es muy marcada. Cuenta con una extensión territorial de 1.499 km² por lo que ocupa el último lugar de los 32 estados, y cuenta aproximadamente con el 10% de la población total, por lo que su superficie esta cubierta casi en su totalidad por la mancha urbana, con una población de 8.605 239 millones de habitantes (*XII Censo General de Población y Vivienda, 2000*).



Fuente: Enciclopedia Encarta, 2003.

3.2 Sistema operativo actual de manejo de residuos sólidos

El sistema actual de manejo de residuos sólidos en la Ciudad de México, se divide para su operación y control en los siguientes subsistemas: generación y almacenamiento, recolección, transferencia, plantas de selección, tratamiento y disposición final. Se pueden observar los componentes del sistema y los flujos principales de residuos sólidos en la siguiente figura 3.1 (elaborado en base al sistema actual de funcionamiento).



Fuente: Elaboración propia.

Generación y almacenamiento

Generación: Con este se inicia el ciclo de los residuos, por lo que la generación de residuos sólidos comprende desde el momento en que un material usado, y que después por sus características ya no es considerado útil y es desechado, por lo que ya se le considera un residuo sólido.

Actualmente la generación de residuos sólidos municipales (provenientes de casas habitación, comercios, servicios y áreas públicas) en la ciudad son de aproximadamente 12,000 toneladas diarias (*Ing. Estrada, Ricardo, DGSU 2003*), de las cuales 6 delegaciones políticas generan el 64%, 5 el 24% y el 5 restante con el 12%, distribuyéndose de la siguiente manera, tabla 3.1¹.

Tabla 3.1. Distribución de cantidades generadas (toneladas diarias)					
alta		media		baja	
Iztapalapa	2459	V. carranza	625	Xochimilco	420
Gustavo A Madero	1559	Azcapotzalco	571	Tláhuac	356
Álvaro Obregón	857	Iztacalco	539	M. Contreras	312
Coyoacán	862	Miguel Hidalgo	492	Cuajimalpa	206
Tlalpan	862	Benito Juárez	491	Milpa Alta	92
Cuauhtémoc	717				
Total	7,316		2,718		1,386

Fuente: DGSU, 1998.

El servicio de barrido en las vías primarias, secundarias y locales (17 kilómetros) las realiza la delegación a través de barridos manual y mecánico. La DGSU se encarga de la llamada red vial primaria, que consta de 9 vías rápidas, 23 ejes viales, 10 avenidas principales y 6 accesos carreteros (*DGSU, 1998*).

¹ Aunque esta tabla es del 1998, en la que la suma de residuos es de 11420 toneladas, se observa que no ha habido gran variación hasta la época actual que son de aproximadamente de 12000 toneladas, por lo que las proporciones podrían decirse se siguen conservando.

El rendimiento de barrido manual va de 0.6 a 2 km/turno de calle, dependiendo de las condiciones del lugar (clima, orografía, cooperación de la comunidad principalmente), con un costo de 12 a 18 pesos/km. En los equipos de barridos mecánico de tres ruedas se llegan a barrer a velocidades de 4 a 5 km/hrs y en los de cuatro ruedas a velocidades de 25 a 30 km/hrs, sin embargo debido al bajo mantenimiento de estas, estos han reportado velocidades de barridos menores, con problemas principales en los cepillos y bandas elevadoras de residuos (SEMARNAT, 2001, en *Minimización*).

Almacenamiento: Según el tipo de fuente de generación, estos residuos pueden ser almacenados temporalmente en el lugar de origen, con la función de mantenerlos de tal manera que no ocasionen riesgos en la salud y el ambiente. Este almacenamiento se hace en las propias casas e instituciones, ya sea a través de botes especializados de basura (forma adecuada), bolsas de plástico (forma generalmente inadecuadas, ya que estas al no ser especializadas se rompen, provocándose derrames de líquidos, así como una dispersión de los residuos), cajas de cartón (inadecuados), contenedores (adecuada) que se colocan dentro de unidades habitacionales de algunas zonas de la ciudad, para que la gente deposite en forma adecuada sus residuos y con posibilidad de separación. El almacenamiento en áreas públicas se realiza a través de pequeños y grandes contenedores en la que la gente deposita sus residuos. Véase figura 3.2.



Fuente: Elaboración propia

El almacenamiento de los residuos recolectados en la vía pública (barrido de calles) lo hacen los propios barrenderos a través de carritos con dos tambores montados de 2000 litros, aunque cabe decir que estos también recogen basura intradomiciliaria cobrando una respectiva cuota, siendo que esto es una práctica no autorizada, para así posteriormente llevarla al sitio de recolección.

Recolección y transporte

Consiste como su propio nombre lo dice en recoger los residuos en los lugares almacenados y posteriormente transportarlos hacia las estaciones de transferencia (actualmente 13 distribuidas en todo el distrito federal), plantas de selección (San Juan de Aragón, Santa Catarina o Bordo Poniente) o el sitio de disposición (Bordo Poniente), esto dependiendo de la cercanía a cada instalación.

El servicio de recolección lo otorgan las delegaciones de manera gratuita (en domicilios, comercios, oficinas, restaurantes, etc.), siempre y cuando no sobrepasen la cantidad de 200 Kg., pasando de esta se cobra una cuota (1.40pesos/10kg. o fracción en estación de transferencia o 0.50pesos/10kg. en sitio de disposición final) en la que los mismos particulares se encargan de llevar sus residuos.

El servicio de recolección se presta a través de vehículos recolectores que van recorriendo las calles y haciendo paradas en las esquinas, anunciándose por medio de una campana. Véase siguiente figura 3.3.

Para esto se cuenta con un parque vehicular de 2011 unidades, que se puede ver por delegación y tipo de carga en la tabla 3.2 (JICA, 1999), de las cuales más del 50% lo constituyen los de caja rectangular y tubulares con equipo de compactación y carga trasera.

De los vehículos recolectores 1,078 presentaban un periodo de obsolescencia de más de 15 años, lo que se traducía en grandes costos de mantenimiento e

ineficiencia con elevadas cargas administrativas, sin embargo en 1999 se sustituyeron 509 vehículos nuevos llamados ecológicos (ya que poseen motor mixto para uso de combustible gas o diesel).



Fuente: Elaboración propia

Las rutas de recorrido de los camiones recolectores se hace en base a la experiencia, ya que los chóferes hacen caso omiso de las rutas que se les asignan, además de que se presentan desvíos según la conveniencia de recoger en donde se puede generar alguna ganancia, o a causa de comercializar el material reciclado (material que se separa en el trayecto por la persona que llevan a bordo) en alguno de los 37 centros de acopio que existen.

Cabe mencionar que se tiene una alta injerencia del sindicato único de Trabajadores del Gobierno del Distrito Federal.

En cuanto a los recursos humanos con que se cuenta, se integran de la siguiente manera:

8100 trabajadores asignados al servicio de recolección (chóferes y ayudantes)

9071 para el barrido

829, actividades de apoyo

5100 voluntarios

Con todo esto se estima que solo el 85 % de los residuos sólidos son recolectados.

Tabla 3.2. Parque vehicular de recolectores

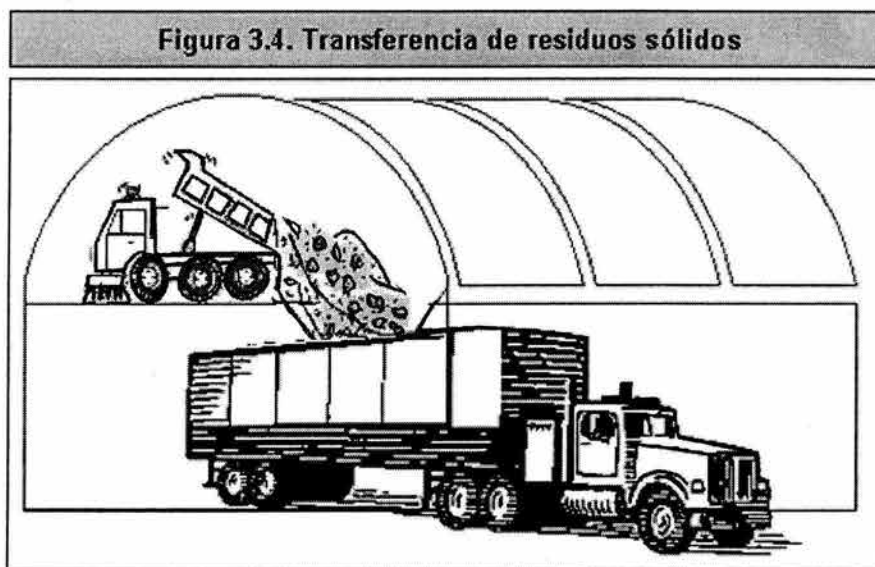
Tipo Delegación	Cargador		Rectan- gular	Tubular	Volteo	Mini- recolector	Total
	Frontal	Trasera					
Capacidad de carga	18 m ³ , 6.5 ton.	12 m ³ , 5 ton.	12 m ³ , 4.5 ton. 16 m ³ , 4.0 ton.	12 m ³ , 4.5 ton. 16 m ³ , 4.0 ton.	8 m ³ , 2.5 ton. 16 m ³ , 4.0 ton.	8 m ³ , 3.0 ton	
Álvaro Obregón	4	34	31	17	52		138
Azcapotzalco	7	63	32	34	4		140
Benito Juárez	4	22	66	38	4		134
Coyoacán	5	52	34	32	5		128
Cuajimalpa		10	8	9	4	6	37
Cuauhtémoc	12	94	44	75	26		251
Gustavo A. Madero	7	56	96	76	46		281
Iztacalco	1	37	14	15	25		92
Iztapalapa	2	50	85	42	32		211
M. Contreras		12	6	3	11	29	61
Miguel Hidalgo	3	46	43	37	44		173
Milpa Alta		1			22	3	26
tláhuac		19	8	4	16		47
Tlalpan		39	21	9	14		83
V. Carranza	8	17	73	19	38	5	160
Xochimilco	6	12	15	6	10		49
TOTAL	59	564	576	416	353	43	2011

Fuente: JICA, 1999.

Transferencia

Una vez realizada la recolección de residuos, los camiones recolectores se dirigen hacia las llamadas estaciones de transferencia, en la que a través de una rampa y tolva, vacían la carga de residuos sólidos a un trailer de mayor capacidad (aproximadamente de 70 m³ o de 20 toneladas) llamado transfer o tractocamión

(véase figura 3.4), esto se realiza con el fin de eficientar la recolección y transporte de los residuos, por lo que se reducen: tiempos muertos de cuadrilla, gastos de combustible, desgaste de unidades y llantas.



Fuente: Elaboración propia

Estas estaciones de transferencia han sido construidas con medidas de protección ambiental, como lo son techumbre y paredes acústicas, sistemas de extracción y purificación de aire, sistema de aspersion a la descarga, zonas de encolamiento y zonas de amortiguamiento jardinada, a modo de prevenir molestias.

En estas estaciones de transferencia al cargarse los transfer (mayoritariamente por recolectores y un mínimo de particulares que llevan directamente su carga), estas para su posterior recorrido son pesados (gravados), limpiados por medio de chorros de agua y por último tapados con una lona para evitar derrames, de tal manera que al trasladarse hacia su destino, ya sea a una de las tres plantas de selección o al relleno sanitario vayan limpios sin causar molestias.

El manejo de estaciones de transferencia, esta repartida entre la delegación y la DGSU. Contándose con 236 unidades de transferencia (trasfers), unos

3. Gestión actual de los residuos sólidos de la Ciudad de México

pertenecientes al sector privado y otros a la DGSU, cada unidad cuenta con sistema de localización, monitoreado desde la DGSU. Pueden verse las cantidades transferidas (DGSU, 1998) desde las estaciones de transferencia hacia las plantas de selección y relleno sanitario en la tabla 3.3.

La recolección y transporte que se realiza hacia las trece estaciones de transferencia ubicadas y distribuidas en toda la Cd. de México, se muestra en el mapa 3.2 (en la que también puede observarse la disposición de la demás infraestructura: plantas de selección y de composta, y sitios de disposición).

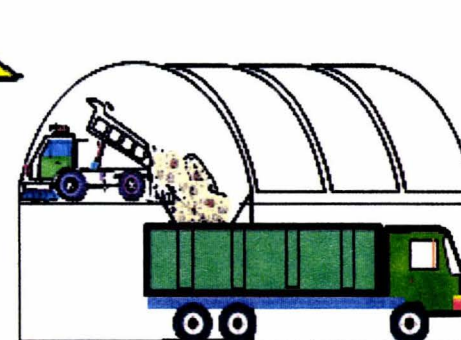
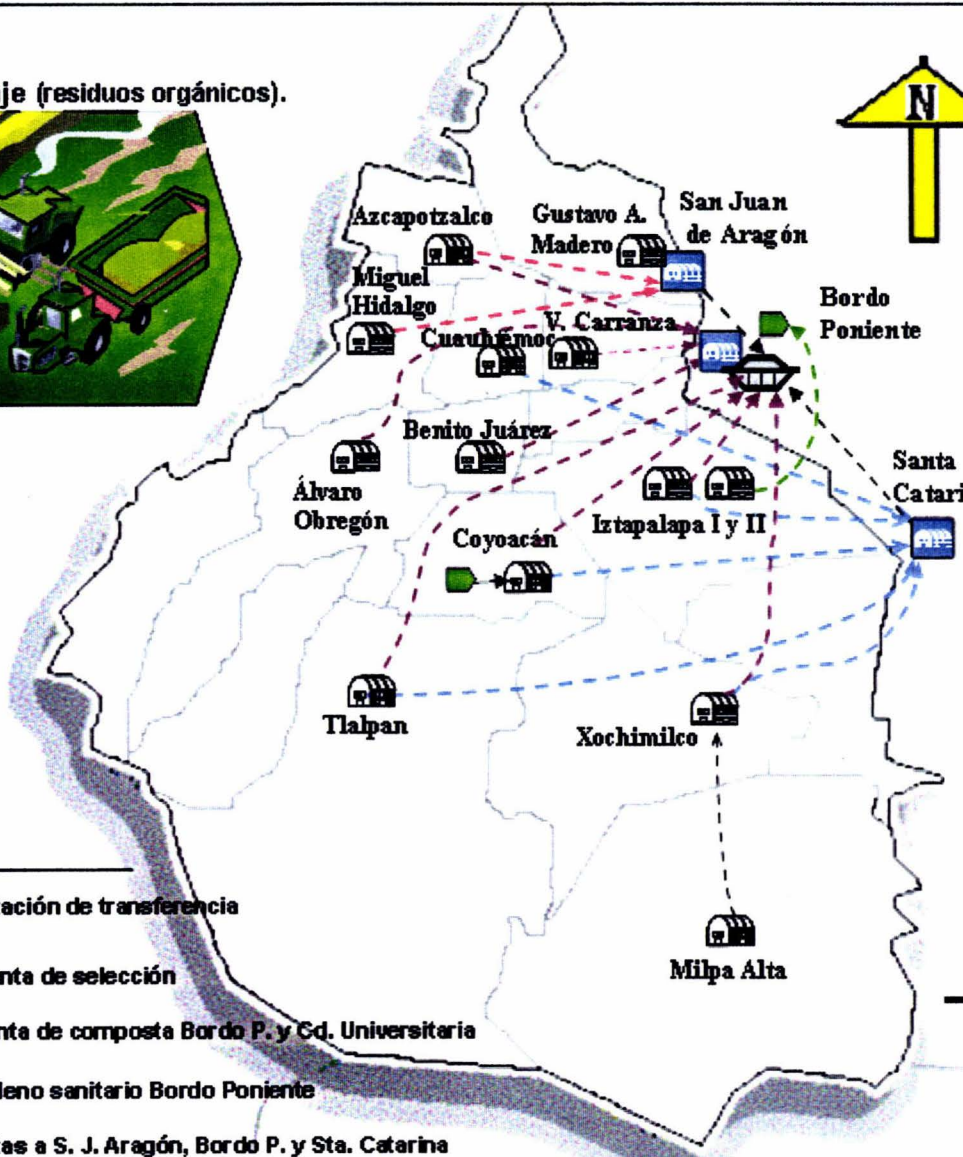
Tabla 3.3. Cantidades transferidas

DELEGACIÓN	CANTIDAD (Ton/día)
Álvaro Obregón	830
Azcapotzalco	728
Benito Juárez	No registrado
Coyoacán	1083
Cuauhtémoc	809
Gustavo A. Madero	416
Iztapalapa I	1000
Iztapalapa II	980
Miguel Hidalgo	584
Milpa Alta	49
Tlalpan	322
V. Carranza	672
Xochimilco	408
TOTAL	7881

Fuente: Registro de operaciones de la Planta/Selección (Enero-julio/1998), DGSU.

Mapa 3.2. Infraestructura de la Ciudad de México

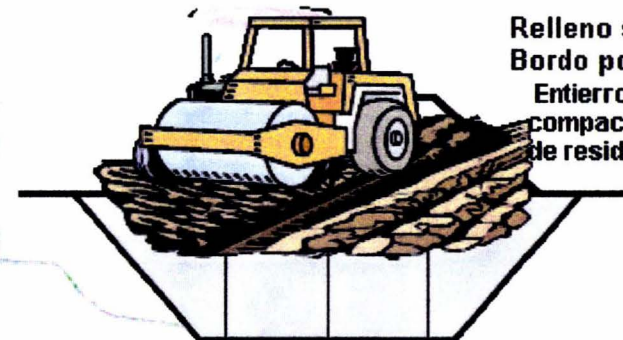
Compostaje (residuos orgánicos).



Transferencia de residuos de camiones recolectores (3 a 6 ton.) a trailers (20 ton).



Planta de selección
Recuperación de residuos aprovechables.



Relleno sanitario Bordo poniente
Entierro y compactación de residuos.

Fuente: Elaboración propia

Selección en plantas

Esta etapa comprende un esfuerzo por mejorar la capacidad de recuperación y calidad de vida de los anteriormente pepenadores, así como coadyuvar a la preservación del ambiente (principalmente debido a que muchos de los residuos no son biodegradables), esto partiendo del hecho de que muchos materiales recuperados tienen un valor comercial, por lo que pueden ser reincorporados al sistema productivo, produciendo así un beneficio derivado de la venta de material recuperado para los trabajadores y una minimización de la disposición de residuos sólidos en el relleno sanitario Bordo Poniente, prolongando así la vida útil. Por lo que esta separación se realiza formalmente a través de las tres plantas de selección, ubicadas en los límites entre el Estado de México y el Distrito Federal, San Juan de Aragón, Bordo Poniente y Santa Catarina, las dos primeras con una capacidad de procesamiento de 2000 toneladas diarias, y la última con 1500 toneladas diarias, véase características generales en la tabla 3.4. Las cantidades recuperadas en estas plantas van de 4 a 6.5% (véase tabla 3.5), de la cual se afirma que son muy bajas, ya que según muestreos de la DGSU podrían recuperarse hasta el 37%.

Además de lo anterior también se realiza la recuperación de materiales informalmente, esto en las fuentes de generación, por medio de la gente más necesitada; y en el trayecto de los camiones recolectores también por medio de voluntarios que van separando reciclables, minimizando así los residuos a disponer.

Tabla 3.4. Característica generales

	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina
Área del sitio	9500 m ²	8000m ²	5600m ²
Capacidad	2000 ton/año	2000 ton/año	1500 ton/año
No. de bandas.	4 líneas	4 líneas	3 líneas
Capacidad/ banda	500 ton/día	500 ton/día	500 ton/día
Número trabajadores	400 expepenadores	500 expepenadores	400 expepenadores
Organización laboral	Frente Único de Pepenadores A.C.	Asociación de selectores de Desechos Sólidos, A.C.	Unión de Pepenadores del D.F. Rafael Gutiérrez M.
Trabajadores/línea	42 / línea	42 / línea	62 / línea

Fuente: JICA, 1999.

Cabe mencionar que los costos de operación y mantenimiento de las plantas corren a cargo del gobierno del distrito federal, erogándose 60 millones de pesos anuales, y los beneficios derivados de la comercialización de productos recuperados que son supuestamente para los trabajadores, se los lleva el caciquismo existente, quienes son los que realmente obtienen los grandes beneficios (*en Revista CAMBIO, noviembre 2001*).

Tabla 3.5. Recuperación anual

Cantidades en Ton/año	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina	Total
Cantidad ingresada	609,974	700,470	455,438	1,765,882
Cantidad recuperada	32,040	30,646	30,169	92,856
Tasa de recuperación	5.3%	4.4	6.6%	5.3%
Costos por tonelada recobrada	\$1,061	\$1083	\$1237	Costo promedio \$1126

Fuente: JICA, 1999.

Tratamiento

Esta se ha llevado a cabo por medio de la incineración y el compostaje², sin embargo no se han dado los resultados esperados:

Con lo que respecta a la primera, se adquirieron 5 plantas de tecnología suiza en 1980 con una capacidad nominal de 50 toneladas en 24 horas, las cuales se pretendieron ubicar en tres plantas: una en la delegación Tlapan, que aunque fue suspendida, la obra civil fue concluida, otra en Santa Fe que nunca se

²Compostaje: proceso de degradación y estabilización controlada de residuos sólidos biodegradables, dando por resultado la compost o composta.

Compost o composta: abono de gran calidad, que se obtiene de la descomposición de residuos orgánicos, y sirve como acondicionador del suelo (mejorador de textura y contenido nutricional).

inicio, y la tercera en San Juan de Aragón, en la que se instalaron 2 de ellas, que se operaron de 1990 a 1992 (aunque no juntas) como instalación piloto, la suspensión de su operación se debe a que no se llevo a cabo un plan para el tratamiento con estas unidades, ya que en época de lluvias, la magnitud del secado se hacia insuficiente, lo que requeriría de combustible adicional para la ignición (JICA, 1999). Una quiso transformarse para el tratamiento de residuos sólidos biológico infecciosos, sin embargo después de hacerse los análisis de emisión de gases, esta no cumplía con la normatividad existente, lo cual provocaría su cierre (SEMARNAT, 2001, en Minimización).

Con respecto a la segunda, existe una planta de composta con capacidad de 200 toneladas por día, los residuos que son enviados a esta proceden generalmente de la planta de transferencia Central de abastos II, que en su mayoría son orgánicos provenientes el mercado del mismo nombre.

Actualmente esta planta trabaja a 50 toneladas por día, por lo que la mayor parte de la estación de transferencia es enviada al relleno sanitario Bordo Poniente, esto en combinación con otros residuos, ya que en esta, no se aceptan residuos orgánicos puros para disponer.

El producto generado del proceso de compostaje llamado composta, es utilizado solo en los parques y jardines de la Cd. de México, ya que debido a su baja calidad (ya que esta contiene residuos como: vidrios, plásticos, metales, entre otras) y a la falta de mercado, esta no ha tenido éxito para su comercialización.

Los japoneses en base a sus estudios, propusieron la construcción de una megaplanta de composta (ya que la mayoría de los residuos es de origen orgánico), sin embargo esta no se ha llevado a cabo, debido a la insuficiencia de recursos financieros.

Disposición final

Finalmente, el resto de los residuos (después de los procesos anteriores), para su disposición de tal manera que no provoquen daños, son dispuestos en rellenos sanitarios³. Aquí en la ciudad de México para esto contaba con dos sitios de disposición final, el de Santa Catarina y el Bordo Poniente en los límites del Distrito Federal y Estado de México; sin embargo actualmente se cuenta solo con el de Bordo Poniente etapa IV, ya que el de Santa Catarina debido al término de su vida útil y sobresaturación fue cerrado, aunado a una serie de problemas político sociales. Con lo que respecta al relleno sanitario Bordo Poniente Etapa IV (320 hectáreas), también ya se encuentra en el final de su vida útil; por lo que en este momento se gestionó la aprobación de un segundo piso con la Comisión Nacional de Agua para ampliar su vida útil (esta la condicionó a cuatro estudios, enfocados a garantizar que no haya deslizamientos que afecten el sistema hidrológico), con lo cual se dio ya la aprobación, por lo que tendrá espacio para alojar otros 8 millones 760 mil toneladas en el transcurso de dos años, o sea hasta el 2006.

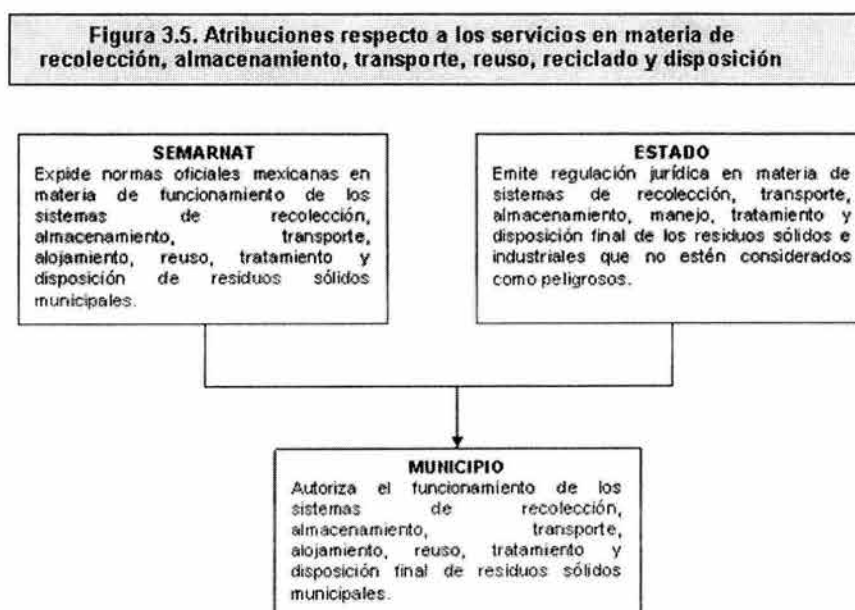
3.3 Aspectos institucionales y legales

Los lineamientos para el manejo de residuos sólidos parten de La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la cual establece que corresponde a los municipios la responsabilidad de prestar el servicio de limpia con el concurso del estado. La cual es ratificada por la Constitución Política de los Estados y sustentada en la Ley Estatal de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), en la cual se plantea que los sistemas de manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos quedan sujetos a autorización y legislación estatal o en su caso, municipal. La LGEEPA faculta al Gobierno Federal, a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para expedir normas oficiales

³ Sitio de disposición controlado con técnicas de ingeniería.

mexicanas, en las cuales establecen la forma y procedimientos aplicables al manejo disposición de residuos sólidos no peligrosos.

Se pueden ver las atribuciones respecto al manejo de residuos en la figura 3.5 (Jiménez Peña A., 1999). Por lo que aquí en la ciudad de México la Secretaría de Obras y Servicios es la encargada del control de residuos sólidos. A través de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA) y Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU) se encargan de normar y regular el sistema de manejo de residuos no peligrosos en sus etapas de barrido, recolección, transferencia y tratamiento, y el Instituto Nacional de Ecología (INE, SEMARNAT) de normar la disposición final quedando la regulación de esta a cargo de la SMA y DGSU. En lo que respecta a la autorización y manejo de residuos, esta queda a cargo de las Delegaciones y la DGSU, de la siguiente manera: responsabilidad compartida en lo que respecta al barrido de calles y la recolección, y las demás etapas a la DGSU con la respectiva autorización en la disposición final de la SMA, quedando finalmente la vigilancia en todas las etapas a cargo de la SMA, compartiendo responsabilidades con la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA, SEMARNAT) en el caso de la disposición final (JICA, 1999), véase figura 3.5.



Fuente: Jiménez Peña.

3.4 Aspectos sociales

En estas épocas el aspecto social es un factor preponderante en la implementación de soluciones alternativas para el manejo de residuos, ya que esta, al no tomarse en cuenta en forma directa ha logrado sabotear alternativas de solución, ya que al no tener una percepción global del problema, sienten que las soluciones implantadas no son las adecuadas, ya que si bien quieren una solución al problema, también no quieren la solución cerca de ellos, sintiéndose como únicos afectados.

3.5 Aspectos financieros

Los recursos que el estado genera y asigna son escasos, además de que se le da prioridad a otro tipo de obras que se consideran de mayor prioridad, aunado a esto se tiene que no se hace un cobro oficial por el servicio de limpia debido a que no se quiere perder prestigio debido a intereses políticos, ya que el pueblo considera que estos gastos están incluidos en los impuestos que se cobran, claro que esto en parte, sin embargo estos no llegan a cubrir ni siquiera los costos de operación; cabe mencionar que otra fuente de erogación de gastos fuerte, se encuentra en el subsidio de plantas de selección, en la que los líderes tienen absoluto control, caciqueando totalmente las ganancias generadas por éstas.

3.6 Clasificación y composición de los residuos sólidos municipales

Una clasificación general se realiza en base a la fuente de procedencia, ya se domiciliaria, comercial, de servicios, especiales y áreas públicas, esta clasificación es importante ya que a través de esta se pueden determinar alternativas de solución en base a su origen, por lo que una clasificación de esta manera puede observarse en la tabla 3.6, que muestra el tipo de origen de los residuos sólidos dando una subclasificación, así como la generación unitaria.

Otro factor de suma importancia a considerar es el peso volumétrico *in situ*, ya que los residuos sólidos ocupan diferentes volúmenes según la fuente de origen, y pueden llegar a ser compactados en cierta cantidad para su manejo en el transporte, así como en la disposición final, por lo que se muestran los pesos volumétricos según su origen en la tabla 3.7.

Tabla 3.6. Se muestran los indicadores de generación unitaria por tipo de establecimiento, obtenidos en la Ciudad de México.

Tipos de fuentes generadoras	Subclasificación	Generación unitaria de residuos sólidos
Domiciliarios 50%	- unifamiliar	0.605 kg/hab/día
	- plurifamiliar	0.772 kg/hab/día
Comercio 20%	- tiendas de autoservicio	2.527 kg/empleado/día
	- tiendas departamentales	
	× con restaurante	1.468 kg/empleado/día
	× sin restaurante	0.766 kg/empleado/día
	- locales comerciales	2.875 kg/empleado/día
	- mercados	
	× comunes	2.143 kg/local/día
	× especiales	3.350 kg/local/día
Servicios 18%	- restaurantes y bares	0.850 kg/comensal/día
	- hoteles y moteles	1.035 kg/huesped/día
	- centros educativos	0.058 kg/alumno/turno
	- centros de espectáculos y recreación	
	× cines	0.012 kg/espectador/función
	× estadios	0.054 kg/espectador/evento
	- oficinas	0.179 kg/empleado/turno
Especiales 5%	- terminal terrestre	2.418 kg/pasajero/día
	- terminal aérea	5.177 kg/pasajero/día
	- reclusorio	0.538 kg/interno/día
	- unidades medicas	
	× nivel 1	1.279 kg/consultorio/día
	× nivel 2	4.730 kg/cama/día
	× nivel 3	5.580 kg/cama/día
Áreas publicas 7%	- espacios abiertos	0.163 kg/m ² /día
	- vía pública	31.383 kg/m ² /día
Generación unitaria promedio per-cápita municipal		1.333 kg/hab/día ⁴

Fuente: INE, 1999; Artículo Transferencia en diagnóstico, modificado por el autor.

⁴ Aunque esta clasificación es del año 1999 si es representativa, ya que esta no se han modificado sustancialmente los residuos, en esta tabla estaba registrada 1.204 de generación per cápita, sin embargo según el estudio de JICA en 1999, esta aumento a 1.333, por cual se actualizó.

La composición de los residuos se ha hecho en base a los materiales componentes y una forma general de estos, se hace en si son orgánicos o inorgánicos en la cual son del 47% y 53% respectivamente, desglosando estos, se determinan sus componentes, como lo son el fierro, cartón, vidrio, etc. La composición de estos residuos sólidos no es homogénea en toda la Ciudad de México, es muy variable ya que depende de lo hábitos de consumo (nivel económico en diferentes zonas). Sin embargo en general el porcentaje de composición de los residuos sólidos en toda la ciudad es como se muestra en la tabla 3.8 (SEMARNAT, 2001, en Minimización), también se puede observar la evolución en la composición en los últimos años en la tabla 3.9.

Tabla 3.7. Peso volumétrico <i>in-situ</i>		
	Fuente	Peso volumétrico (Kg/m ³)
1	Unifamiliar, plurifamiliar	228
2	T. De autoservicio	148
3	T. Departamentales	113
4	L. Comerciales	209
5	Almacenamiento y abasto	139
6	Restaurantes y bares	324
7	Servicios públicos	88
8	Hoteles y moteles	144
9	C. Educativos	84
10	C. De espectac. Y rec.	73
11	Oficinas publicas y privadas	80
12	Unidades medicas	130
13	Laboratorios	196
14	Veterinarias	157
15	Transporte terrestre	122
16	Transporte aéreo	142
17	C. de readapt. Social	217
18	Espacios abiertos	117
19	Vía pública	768

Fuente: INE, 1999; Artículo Transferencia en diagnóstico.

Estos datos llegan a variar en aproximadamente $\pm 15\%$, dependiendo las condiciones climatológicas, especialmente la humedad ambiente.

En las estaciones de transferencia no se encuentran datos sobre la composición de residuos, ya que en estas se determina solo visualmente. En lo que respecta a las plantas de selección, sí se tienen datos sobre su composición, y es como se muestra en la tabla 3.10.

La clasificación y composición es de suma importancia, ya que a partir de puede determinar el potencial económico reciclable, e igualmente el poder calorífico de esta para incineración.

Tabla 3.8: Composición de residuos sólidos municipales para la Ciudad de México

Subproductos	Zona geográfica	
	México D.F.	
	74/88	91/97
Cartón	3.28	5.36
Residuos finos	0.94	1.21
Hueso	0.82	0.08
Hule	0.21	0.20
Lata	1.59	1.58
Material ferroso	0.51	1.39
Material no ferroso	0.21	0.06
Papel	12.43	14.58
Pañal desechable	3.00	3.37
Plástico película	5.04	6.24
Plástico rígido	4.76	4.33
Residuos de jardín	3.97	5.12
Residuos alimenticios	44.14	34.66
Trapo	2.37	0.64
Vidrio color	2.50	4.00
Vidrio transparente	4.32	6.67
Otros	9.91	10.41
Totales	100.0	100.0

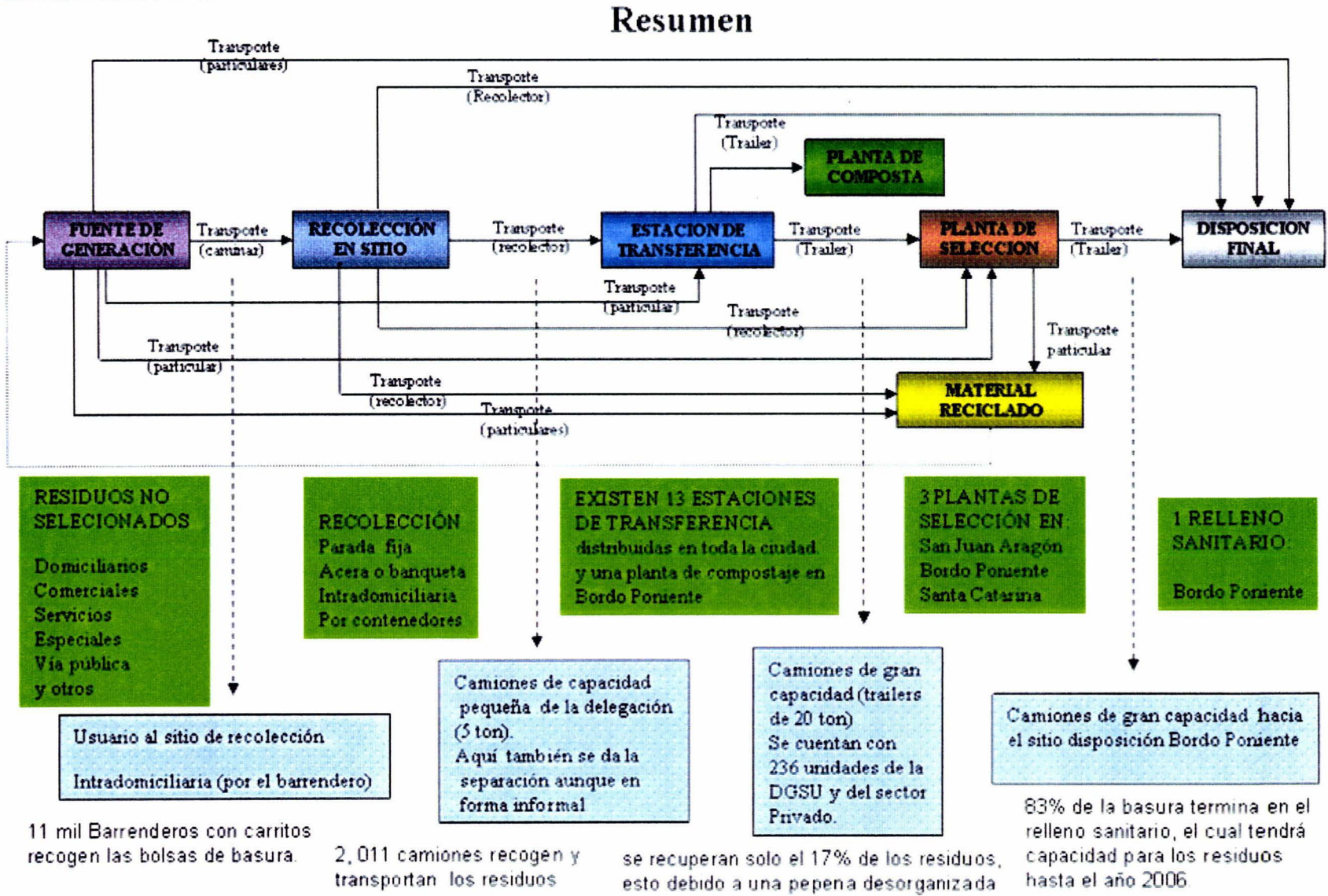
Fuente: Sedue. Políticas y estrategias en el manejo de los residuos municipales e industriales en México. México. 1998.

Tabla 3.9. Potencial económico en el área de recuperación y reciclado de residuos sólidos municipales

Subproductos reciclables	Estudios realizados 1974-1988 % en peso	Estudios realizados 1991-1998 % en peso	% Recuperable	Subproductos reciclables 1974-1988	Subproductos reciclables 1991-1998
Cartón	4.10	4.07	70	2.87	2.85
Hueso	0.80	0.35	50	0.40	0.18
Lata	2.52	2.12	60	1.51	1.27
M. ferroso	0.76	0.95	60	0.46	0.57
M. no ferroso	0.60	0.76	40	0.24	0.30
Papel	9.63	11.96	45	4.33	5.38
Plástico película	3.42	3.92	55	1.88	2.16
Plástico rígido	2.28	2.71	55	1.25	1.49
Residuos alimenticios	34.70	27.56	50	17.35	13.78
Trapo	1.94	1.60	60	1.16	0.96
Vidrio color	3.44	2.37	75	2.58	1.78
Vidrio transparente	4.25	5.08	75	3.19	3.81
Totales	68.44	73.45		7.22	34.53

Fuente: Sancho y Cervera J., Rosiles G., Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México. Sedesol, 1999.

Figura 3.5. FLUJO ACTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO



Fuente: Elaboración propia

4. DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA OPERATIVO DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Conocido el sistema en cuanto a su funcionamiento, se procede a hacer un análisis de sus componentes en cuanto a cumplimiento de los objetivos para el cual fue creado, sin embargo cada subsistema presenta ciertas características que la hacen críticas, debido a que sin ellas el sistema no funcionaría adecuadamente o inclusive perdería su razón de existir. Pero primeramente hay que imaginar que pasaría si no ocurrieran cambios importantes en el sistema, lo cual da la pauta para iniciar acciones.

4.1 Situación futura sin considerar cambios en el sistema de manejo de residuos sólidos

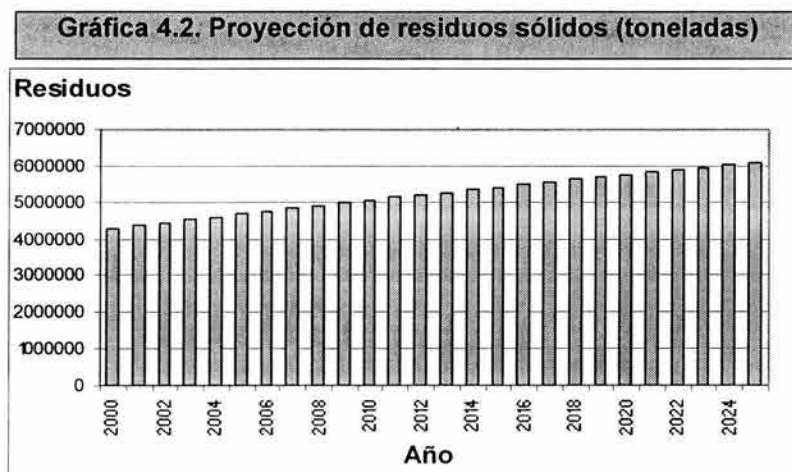
Si no se empiezan a implementar acciones para el manejo de residuos sólidos, ya se por la falta de recursos, poca concientización de la sociedad, poca responsabilidad por bloqueos a soluciones, debido a que ciertos grupos actúan solo en base a información parcializada o a sus propios intereses, y que a estos no se les adjudica ninguna responsabilidad, siendo que afectan a toda una comunidad o ciudad con sus acciones, en el futuro cercano se pueden prever situaciones muy críticas para la Ciudad de México, y esto también debido a un crecimiento de la población que actualmente (2003) es de 8813276 y que muestra su máximo en el año 2008 con una población de 8815821 habitantes (CONAPO, 2002), lo que requeriría la ocupación de los pocos espacios libres para vivienda, saturándose más la ciudad (aunque que a partir del año siguiente 2010 se muestra una disminución importante de la población, lo cual en parte es positiva, ya que habría menos generadores de residuos), se puede observar la tendencia de de la población en los próximos años en la gráfica 4.1; aunado también a lo anterior se tiene el incremento fuerte de consumo de productos, debido a un mayor poder adquisitivo en la que los ciudadanos privilegian lo desechable y a que los productos se abaratan debido a la fuerte competencia

entre productores, que además adornan sus empaques con gran cantidad de materiales procesados, ya que las materias primas actualmente son muy baratas y la tecnología para procesar cada día es más sofisticada y barata; por lo que debido a lo



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CONAPO.

anterior, el consumo per-cápita de las personas iría creciendo (incremento per-cápita 1.75% lineal, véase anexo proyecciones de generación) lo cual irá generando grandes cantidades de residuos sólidos, que presentarán un problema para su manejo y disposición, véase proyección de generación de residuos en gráfica 4.2 (en la que los residuos van en aumento, a pesar de que se pronostica una disminución de la población), en la que se observa que la generación actual es de 4513178 toneladas, para el año 2013 de 5261095 toneladas y para el año 2023 la cantidad de



Fuente: Elaboración propia.

5957717 toneladas, por lo que se necesitarían manejar y disponer aproximadamente 1.3 veces de lo que se maneja actualmente, por lo que en teoría también se necesitaría 1.3 la infraestructura actual, adicional a esto se tiene el problema de que en la Ciudad de México no se cuenta con espacio para la ubicación de infraestructura de manejo, sean Estaciones de Transferencia y Plantas de Selección, Plantas de Tratamiento y principalmente sitios de disposición para residuos en rellenos sanitarios, que es uno de los métodos más comúnmente usado, esto debido a que la ciudad está cubierta casi en su totalidad por la mancha urbana, a esto hay que sumar una falta de recursos financieros (por el no cobro de cuotas para su manejo) y la mala percepción que se tiene por parte de los usuarios hacia estas obras, ya que nadie las quiere tener cerca debido al mal manejo que se ha hecho de ellas.

Al no tenerse la infraestructura suficiente y a la gran cantidad de residuos, se irían creando tiraderos clandestinos, ya que los camiones recolectores presentarían mayor obsolescencia, con requerimiento de recursos financieros cada vez mayores para su operación y mantenimiento, por lo que el servicio se haría muy ineficiente, y la gente más afectada en principio sería la de escasos recursos debido a que la gente con recursos pagaría grandes cantidades para deshacerse de sus residuos, sin embargo esto empezaría a provocar descontentos entre la gente de escasos recursos. Aunque hubiera voluntarios para trasladar los residuos sólidos hacia las estaciones de transferencia, estas ya no alcanzarían a cubrir eficientemente el traspaso de residuos debido a la falta de mantenimiento y organización, así como la necesidad de más de estas, por lo que se generarían grandes encolamientos, en la que todos los recolectores y particulares quisieran el servicio de transferencia y disposición de residuos.

La gente de escasos recursos al ver que no pasan los recolectores empezarán a tirar sus residuos en lotes baldíos, en las calles, en los parques, generándose tiraderos clandestinos, provocándose grandes altercados entre vecinos debido a la mala imagen que se va generando a sus alrededores, ya que mucha gente tiraría sus residuos en las colindancia de sus vecinos, lejos de su casa, sin embargo estos

harían lo mismo, en estos tiraderos se generarían malos olores por el desprendimiento de gases, plagas nocivas, focos de infección, provocándose enfermedades inclusive mortíferas (ya que hay productos que requieren especial tratamiento para su disposición), también se provocarían incendios inclusive intencionales, con lo que se provocarían altos índices de contaminación atmosférica por la generación gases y partículas. También se provocarían taponamiento de coladeras de desagüe debido a los residuos y más en época de lluvias lo que generaría grandes inundaciones (actualmente se destinan 100 millones de pesos anuales para desazolve el drenaje (Rivero, M. 2003)), provocándose también muchas enfermedades y decesos.

Llegaría un momento en que empezaría a buscarse culpables, y empezarían a desencadenarse olas de violencia entre los ciudadanos y agresiones contra los recolectores y demás servidores, debido a que la gente exigiría el servicio de recolección; sin embargo debido a la falta de lugares y a la gran cantidad de residuos generado, no habría tampoco en donde disponer los residuos, por lo que se provocaría el colapso del sistema de manejo de residuos sólidos y por ende el de la Ciudad de México.

Los culpables de esto no serían solo unos cuantos, sino todos, ya que todos interactúan y son alcanzados por los efectos negativos generados, por lo que se debe de hacer conciencia de estos efectos negativos, que pueden llegar en un momento a hacerse realidad y desestabilizar la ciudad si no se actúa.

4.2 Objetivo del sistema de manejo de residuos sólidos

El objetivo para el cual se ha creado el sistema, es proporcionar servicio de recolección y disposición de los residuos sólidos a la población en forma eficiente, con procesos intermedios que van encaminados a reducir la cantidad generada y a la recuperación de materiales, a fin de tener que manejar menor cantidad de estos y

disponer también la menor cantidad posible en los sitios de disposición, todo esto en un marco de desarrollo sustentable.

4.3 Análisis del sistema operativo de manejo de residuos sólidos

Del sistema se observa que la generación de residuos sólidos en la ciudad de México es alta 1.333 kg. por habitante al día (esto en comparación con el promedio del país, que es de 0.853 kg. por habitante al día), esto debido a que los productos generados por el sistema productivo - sistema que es parte de su ambiente (entorno) por lo que no pertenece al sistema y no puede ser controlado por sistema de manejo de residuos sólidos, pero que sin embargo es que más lo afecta ya que de este sistema parten los futuros candidatos a residuos- cuentan con un alto contenido de material que se desechara al ocupar el producto (ya que con el fin de dar una buena imagen del producto esta en su mayor parte es envuelto con materiales de gran volumen y de gran procesamiento tecnológico, lo cual lo hace poco o nada biodegradables), lo cual aunado a la gran cantidad de población con que cuenta la ciudad, y a sus altos hábitos de consumo se están generando un total de 12 000 toneladas de residuos al día (o sea 43800 toneladas al año), cantidad que irá en aumento debido al incremento de la población y a la elevación del nivel de vida, ya que al aumentar esta, paradójicamente aumenta la generación de basura debido al aumento de consumo; en esta primera etapa de generación que es considerado parte del sistema, es difícil de ser controlado, ya que se tiene una cultura altamente consumista, que privilegia lo desechable y a que no se esta conciente del problema que se esta generando debido a una falta de información.

Otro de lo problemas que se detecta en el sistema la gente cuenta con poca cultura para la separación y recuperación de materiales reciclables, esto debido a la poca concientización que se tiene sobre el problema, y a que no les proporcionaría un mayor beneficio separarla, ya ganarían muy poco comercializándola ellos mismos (de la encuesta levantada por JICA (1999) se concluyó que sí habría gran apoyo por parte de la comunidad, sin embargo en una de las preguntas hechas se refleja que si

no hay necesidad o beneficio al hacerlo no hay apoyo; además de que se tendrían que salvar otros obstáculos, como el conocimiento, espacio y recursos para hacerlo entre otros), por lo que los usuarios prefieren mantener todo junto en una bolsa, ya que les es más cómodo y luego entregarla al barrendero con cierta propina o al camión.

En los lugares en donde no llega el barrendero o el camión se provocan tiraderos en las esquinas o lotes baldíos, generándose una mala imagen de la ciudad y descontento de los vecinos aledaños. Los pocos usuarios concientes del problema tratan de almacenarla en forma adecuada y en dado caso separar los residuos, sin embargo estos no cuentan con apoyo formal por parte del sistema, debido a que la basura separada en casa al llevarse al camión recolector esta es revuelta con toda la demás, ya que estos camiones no cuentan con compartimentos separados para dicho servicio.

De los **programas de separación** que se han hecho, estos no han tenido éxito debido a las mismas causas anteriores. Muchos de los trabajadores, unos con sueldo y otros voluntarios de limpia contribuyen a la reducción de residuos, por medio de la llamada prepepena, en la que ellos mismos van recuperando los materiales más comercializables, ya sea en la fuente o en la travesía del camión recolector, aunque en una forma más difícil, ya que estos residuos se encuentran muy revueltos, por lo que lo rescatable es de poco valor económico debido a que se encuentran muy sucios. En la actualidad ya se creó la ley del reciclaje (Publicada en la **Gaceta Oficial del Distrito Federal** el 22 de abril de 2003) que entrará en vigor a partir de octubre del año 2004, la cual obligará a separar los residuos en orgánicos e inorgánicos desde origen (casas habitación, centros comerciales, servicios), y se le multará o no se le recogerán los residuos al que no lo haga, principalmente a los comercios y los que proporcionan servicios. Por lo que para su implementación se está informando a la población; sin embargo los medios para hacerla se han mostrado muy débiles, ya que gran parte de la población aun no se ha enterado, además de que esta cuenta con poco conocimiento sobre la separación y los medios para almacenarla, y que además no se cuenta con la infraestructura de camiones adecuada. Por lo que se

prevé que su implementación sería lenta; sin embargo este ya es un gran paso, y a largo plazo generará grandes beneficios.

Estos programas de separación, también enfrentan cierta resistencia por parte del sindicato de trabajadores, ya que se sabe que si se implementan programas de separación en origen (casa, centros comerciales, etc.) estos se pondrían en paro total, suspendiendo el servicio de limpia y recolección a lo que no existe un plan de contingencia por parte del gobierno del D.F. (Deffis, 1994), esto debido a que se afectarían sus intereses, ya que al separarse la basura en casa posiblemente entrarían más voluntarios que comercializarán los productos reciclables, reduciendo así la cantidad de ingreso de los recolectores (ayudantes y chofer del recolector, así como prima que estos dan al sindicato).

Por otro lado se observa que de los camiones recolectores 2011 en total, 569 presentan una obsolescencia de 15 años, además los recolectores no siguen rutas establecidas, ya que estas no existen, y por lo que no siempre alcanzan a cubrir toda la recolección en la ciudad (baja eficiencia de la recolección), esto es como ya se comento anteriormente debido que en ellos se van separando los residuos para después desviarse hacia los centros de venta de reciclables en donde los venden. Esto esta fuera de lo establecido para ellos, sin embargo estos tienen un fuerte apoyo por parte del sindicato, ya que estos también obtienen un porcentaje de las ganancias de la venta de reciclables, por lo que los recolectores están fuera del control del gobierno (Delegaciones y la DGSU), y solo pueden ser controlados por el sindicato.

De lo recolectado por los camiones el 74% de estas llegan a las **estaciones de transferencia**, ya que algunos camiones recolectores debido a su cercanía con las plantas de selección o relleno sanitario se dirigen directamente a ellas, en estas estaciones generalmente se presentan problemas de encolamiento de camiones recolectores, esto en determinadas horas (horas pico), ya que los camiones recolectores no presentan una distribución de frecuencia constante de llegadas,

debido a lo anteriormente comentado (desviaciones hacia centro de ventas de reciclables y a que no tiene establecidas claramente sus rutas de recolección). También se ha detecta que en estas estaciones no se tiene un control de los tipos de residuos que transfieren, no tienen un control especializado para la detección de residuos peligrosos en la entrada, ya que solo se pregunta al recolector de que lugar viene y se hace le una inspección visual rápida, lo cual hace peligroso su manejo. Cuando los residuos son vaciados por medio de tolvas de los recolectores hacia los trailers (70 m³) se presenta el problema de generación de polvos, por lo que al vaciarlos se les rocía agua a través de aspersores, sin embargo a estos no se les da el mantenimiento adecuado por lo que presentan fallas, aunque también cuentan con extractores de polvos, estos presentan el mismo problema, y esto lo presentan la mayoría de las estaciones; volcados los residuos en los trailers, estos son cubiertos y lavados para su posterior traslado ya sea hacia las Plantas de selección o los sitios de disposición, de estos cabe decir que los trailers no llegan a llenarse con la cantidad de recolectores que se debería, por lo que estos van cargados solo en una quinta parte, con la argumentación de estos se hundirían en las carreteras (JICA, 1999), aunque esto no esta del todo fundamentado, por lo que debería de hacerse un estudio a mayor profundidad.

Aunque hacia el interior y exterior de la estaciones de transferencia se presentan problemas, como algunos de los mencionados anteriormente, estos no llegan a impactar en forma importante al sistema, ya que aun con la presencia de problemas operativos internos, estas sí alcanzan a cubrir los objetivos para el cual fueron creadas. Inclusive algunas de las 13 podrían cubrir más de lo que manejan actualmente, como lo es la estación de transferencia Tlalpan que es una de la más subutilizadas, ya que muchos de los recolectores que deberían entregar allí se dirigen a la estación de transferencia Coyoacán debido a su cercanía y mayor facilidad de acceso, ya que en esta no se tienen que librar pendientes como en la de Tlalpan, que se encuentra en una zona alta. Por lo que el subsistema de transferencia, podría por así decirse que se encuentra con buena capacidad y estado para la actualidad, aunque esto no quiere decir que no deban de afrontarse los problemas, ya que en un futuro cercano es importante que funcionen

eficientemente de lo contrario no podrán cumplir con su objetivo. Cabe decir que las estaciones sí están bajo un mejor control del gobierno (DGSU y Delegaciones).

De las **plantas de separación** se puede observar que estas son una parte del sistema formal y que contribuyen a reducir gran parte de los residuos que se dispondrán en los sitios de disposición final. En estas se observa que se encuentran trabajando a baja eficiencia (ya que solo se recupera el 5.3% de lo que ingresa a las plantas, siendo 2.19% del total generado) esto debido a la poca capacidad de los selectores en las bandas (antes pepenadores) y a la alta velocidad de las bandas, cabe decir que los selectores se quejan y argumentan que tiene bajas tasas de recuperación debido a que en la prepepena ya se logró reciclar lo mejor, quedándoles a ellos los desechos de desechos.

Por lo que junto con la prepepena se logran recuperar el 17% de lo residuos generados, pero que podrían recuperarse hasta el 37% (*Estudio de la DGSU*), esto con una buena organización y separación en origen.

También se observa que las plantas de selección se encuentran fuera de control de la DGSU, ya que los líderes de los pepenadores son las que tienen el control absoluto. Además de que el gobierno esta erogando una cantidad considerable de recursos financieros para el mantenimiento de estas (60 millones de pesos anuales), aunque no debería de ser así, ya que las plantas generan recursos suficientes que podrían cubrir sus propios gastos (200 millones de pesos anualmente) (*JICA, 1999*). Por lo que estos recursos deberían de enfocarse a la construcción de más plantas o mejorar otras partes del sistema.

Si bien estas plantas se encuentran trabajando a baja eficiencia, sí contribuyen en forma importante para un mejor manejo del sistema, y aunque no se encuentran bajo el control del gobierno, si se podrían mejorar para la recuperación de materiales, pudiendo instaurarse más bandas en algunas de ellas o capacitar a los selectores o inclusive construir más plantas de selección. Lo cual podría impactar en forma importante en el sistema de manejos de residuos.

Se observa que otra parte fundamental que maneja el sistema para la reducción de desechos lo constituye el tratamiento por medio de la **planta de compostaje** en Bordo Poniente, que solo recibe residuos de la estación de transferencia Central de abastos II, que constituyen solo residuos orgánicos provenientes del mercado con el mismo nombre, la capacidad máxima de esta planta es 200 ton/día y su contribución real de 50 toneladas por día, el producto composta genera utilidades, sin embargo debido a su baja calidad (presenta impurezas como vidrios) y al poco mercado para comercializarse, actualmente solo se utiliza en los parques de la ciudad. Este proceso logra minimizar muy poco los residuos (0.40) hacia los sitios de disposición final.

De los estudios realizados por los japoneses se concluyo que una de las mejores alternativas para la reducción de residuos sólidos es por medio del composteo, esto en base a que la mayoría de los residuos generados son orgánicos (50%). Pero que sin embargo, esta no se ha podido llevar a cabo debido a la falta de recursos financieros, y otros problemas que se presentarían si se llevara a cabo es que se tiene que contar, con una separación en origen para tener una mayor efectividad del proceso y una mejor calidad, así como una forma de comercialización, y el mercado para el producto.

Con respecto a los proceso de reducción por **incineración**, se han hecho pruebas piloto, que no han dado los resultados esperados, debido en primer lugar a la emisión de contaminantes hacia la atmósfera, la cual provocó el cierre de la planta San Juan de Aragón, y además de que no ha habido una adecuada planeación para el tratamiento de residuos en época de lluvias, ya principalmente que se ha presentado insuficiencia de área de secado (en la época de lluvias el contenido de humedad aumenta (hasta el 77.34%) y se reduce el poder calorífico de los residuos (hasta 1200 kc./kg.), requiriéndose por tanto más combustible para la ignición). Es mencionar que para este tipo de tratamiento hay presiones en contra por parte de grupos ecologistas (Greenpeace), debido a que hay un agotamiento de recursos naturales y que en los residuos se encuentran desechos que podrían recuperarse en vez de incinerarse; además de que se genera contaminación del aire con efectos

dañinos a la salud y a que las cenizas presentan grandes concentraciones tóxicas, haciéndolas sumamente peligrosas si no se disponen en forma efectiva.

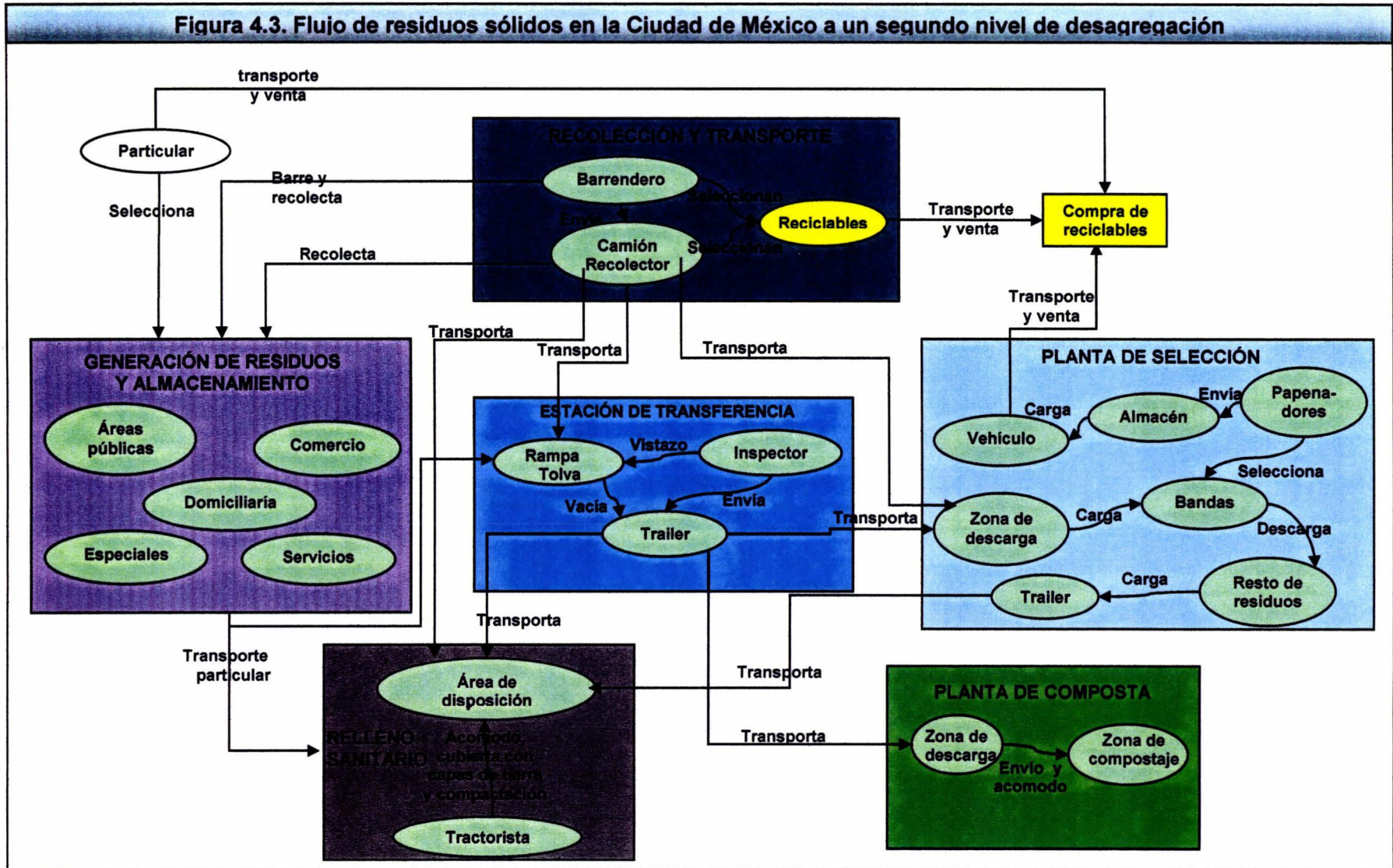
Finalmente los residuos que no lograron recuperarse en los procesos anteriores llegan al único **relleno sanitario**, que se encuentra en Bordo Poniente etapa IV, segundo nivel, en el que se disponen 3 745 263 toneladas anualmente, las cuales son dispuestas en celdas y luego compactadas, en estas se generan lixiviados que se recuperan por medio del escurrimiento de estas en las laderas, ya que el relleno esta impermeabilizado.

Este último subsistema del manejo de residuos sólidos, es imprescindible para el sistema, ya que sin este, el sistema se colapsaría, presentándose grandes dificultades para la disposición de residuos. Por lo que siempre se tiene que estar buscando sitios de disposición para mantener el objetivo del sistema, y aquí en la Ciudad de México (Distrito Federal) ya no se disponen de espacios para el entierro de residuos, por cual se ha estado negociando con el Estado de México sitios de disposición final como el de Bordo Poniente (cabe decir que aunque el uso de terrenos para rellenos sanitarios que es el método más comúnmente aceptado, también va en contra del concepto de desarrollo sustentable, ya que al usar estos como tiraderos se reducen espacios que podrían ser aprovechados para otros fines, como cultivo, vivienda, etc.).

Por lo que se observa que la disposición de residuos en la Ciudad de México está llegando a ser muy crítica, y esto también a que se a politizado negativamente el asunto ya que algunos políticos del Estado de México han empezado a comprometer en sus campañas en forma irresponsable no permitir que el Distrito Federal tire sus desechos en sus terrenos, lo que en un futuro puede presentar fuertes choques, no llevándose a cabo ninguna solución negociada.

Se pueden observar los procesos un segundo nivel de desagregación en la figura 4.3 y las cantidades de residuos que fluyen en todo el sistema en las figuras 4.4 y 4.5, que se generaron en base a los estudios realizados por JICA (1999) y datos

proporcionados por la DGSU (2003), en la que se observó que algunos datos no están del todo claros, ya que unos son contradictorios, aunque esto también puede deberse a que proceden de diferente fuente y año, sin embargo no se notan cambios significativos algunas cantidades, por lo que se tomaron como base los que son aproximadamente igual y los demás se procedieron a ajustar, a manera de poder representar los flujos en la forma en que se muestra; por lo que esta se presenta como una buena aproximación de los flujos actuales del Distrito Federal.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4. Flujos del sistema de residuos sólidos municipales de la Ciudad de México (toneladas/año).

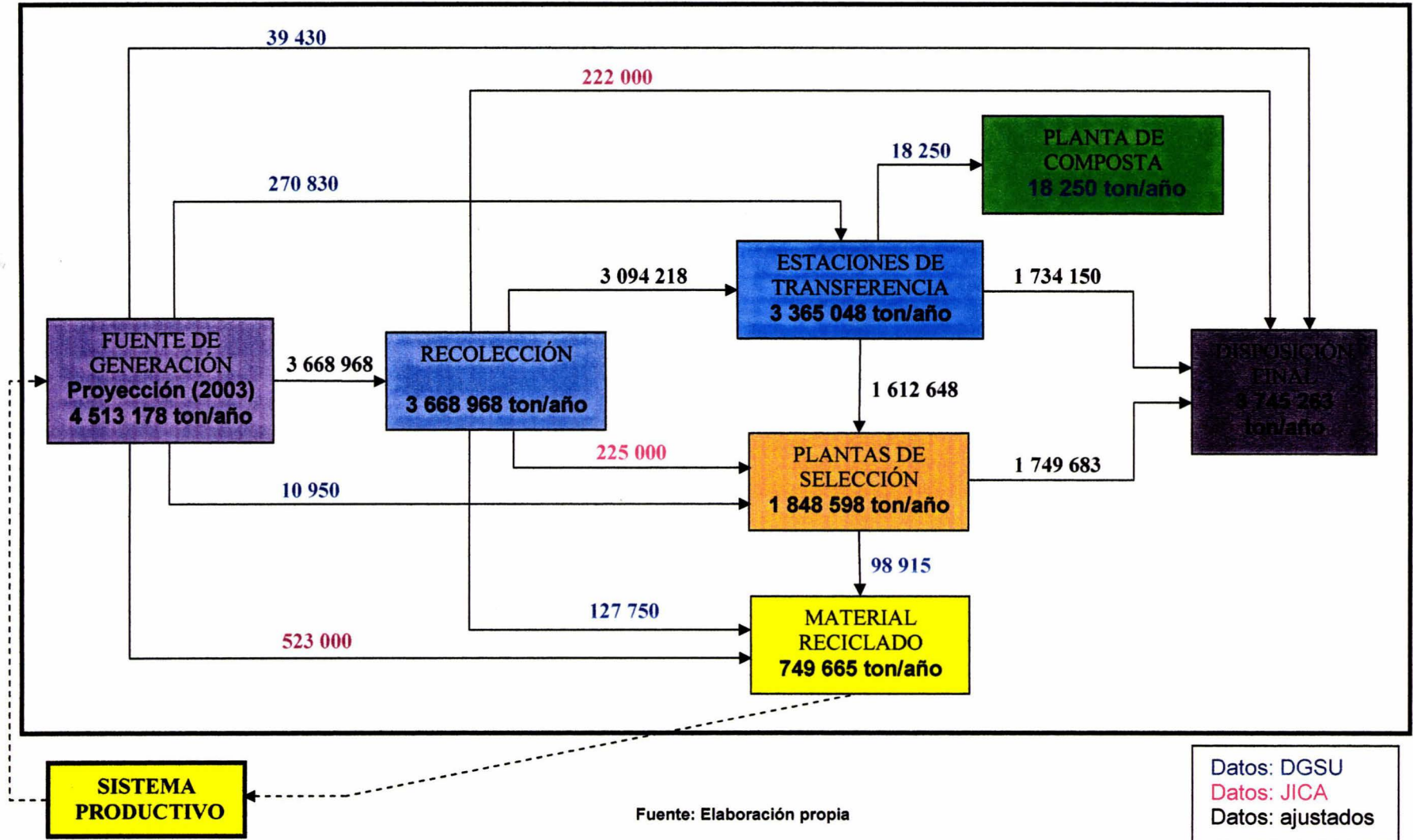
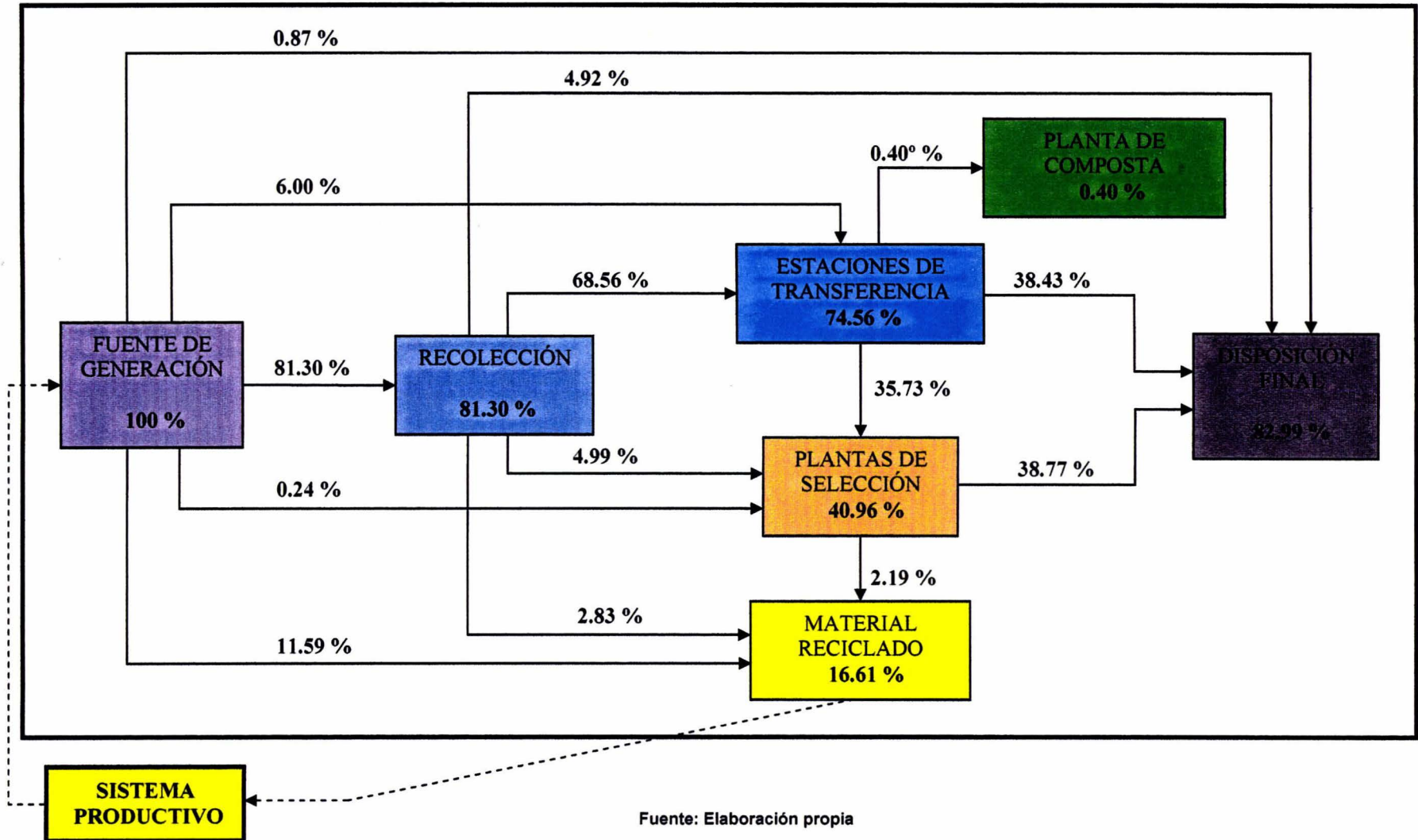


Figura 4.5. Flujos del sistema de residuos sólidos municipales de la Ciudad de México (en porcentaje).



4.4 Problemas del sistema de manejo de residuos sólidos, propuestas y jerarquización

Problemas que enfrenta el sistema

Problemas detectados	Propuestas
Población no conciente del problema que se esta generado con los residuos evacuados.	Hacer campañas de concientización a través de medios de comunicación masiva, Radio, Televisión.
Hábitos de consumo de la población altos, por lo que generan grandes cantidades de residuos.	Es difícil cambiar los hábitos de la gente; pero lo que se puede hacer es lo que se marca en el siguiente punto.
Productos con gran cantidad de empaques.	Concienciar que la gente compre productos con pocos empaques, crear talleres que fomenten la creatividad para darle usos alternativos a los empaques.
Población con poca cultura de separación (No encuentran beneficio).	Concienciar sobre el problema que se genera por no separar los residuos.
Almacenamiento inadecuado de los residuos.	A través de talleres, enseñar a disponer los residuos en contenedores especializados de tal modo que no les provoquen problemas.
Falta de recursos económicos para fomentar cultura de separación.	Buscar ayuda de los medios, que promuevan en sus programas, como telenovelas la cultura de separación, ya que este tipo de programas son los que más llegan a las amas de casa, que son las que están en contacto con la fuente.

4. Diagnóstico del sistema de manejo de residuos sólidos

Camiones no cuentan con compartimentos separados para servicio de recolección separada.	Dotar al sistema de nuevos equipos con compartimentos separados, o usar los actuales en las que hagan recorridos y recojan cada día ciertos tipos de residuos.
Residuos sólidos generados muy revueltos y sucios.	Emprender campañas de separación en origen.
Residuos poco o nada biodegradables.	Proponer a los fabricantes que generen empaques de preferencia con materiales degradables en corto tiempo.
Provocación de tiraderos en las esquinas o lotes baldíos.	Hacer campañas de concientización sobre los problemas que acarrea el disponer los residuos en lugares inadecuados, así como eficientar el recorrido de los recolectores.
Camiones recolectores no siguen las rutas establecidas.	Elaborar programas de recorrido de tal modo que se reduzcan tiempos muertos.
No se cuenta con buena organización y mantenimiento de camiones recolectores.	Realizar programas de mantenimiento, y que estos se hagan permanente, ya que el no realizarse baja la eficiencia de recolección.
Obsolescencia de camiones recolectores.	Cambiar recolectores que presenten seria obsolescencia.
En la travesía del camión se van separando residuos, lo cual repercute en la recolección eficiente.	Difícil ya que esto les genera ganancias extras, y además contribuyen a la reducción de residuos, por lo que debería de formalizarse, y cuando funcione bien la separación en origen, esto se haría más eficiente.

Desviación de recolectores hacia los centros de venta de reciclables.	Igual que lo anterior, sin embargo podrían normarse los recorridos o en dado caso concesionar la recolección.
Sindicato Único de trabajadores con alta ingerencia y control de los recolectores, presenta resistencia al tratar de implantar reorganización de rutas en la recolección.	Difícil ya que estaría en contra de sus intereses.
Falta de recursos económicos para mantenimiento de equipo recolector.	Empezar hacer el cobro de cuota por recolecta.
Se generan encolamientos en estaciones de transferencia en determinadas horas.	Establecer rutas de recorrido para los recolectores y así de esta manera hacer una programación de llegadas en las estaciones de transferencia.
Trailers de transferencia (transfers) no llegan a llenarse con la cantidad de recolectores que se debería.	Hacer un análisis y validar si en realidad se hundirían las calles, y en su caso llenar los trailers hasta donde se debe.
No existen controles sobre los tipos de residuos que se recolectan en las estaciones de transferencia.	Llevar a cabo registros, en la que por medio de muestreos periódicos se determinen los tipos de residuos. Hacer inspecciones a recolectores que se piense puedan acarrear residuos peligrosos según la zona, o también podrían hacerse muestreos aleatorios.
El pretil de protección en las tolvas de algunas estaciones de transferencia es muy baja (20 cm.) lo que presenta riesgo para los camiones recolectores.	Elevar el nivel de pretil en algunas estaciones de transferencia unos 20 cm y así evitar riesgos en los recolectores por falta de tope al acercarse a la tolva.
Falta de elaboración de planes de mantenimiento para estaciones.	Diseñar planes de mantenimiento y programas para todas las estaciones de transferencia.

Obsolencia y mal funcionamiento de equipo de transferencia.	Cambiar equipo obsoleto, ya que se generan altos costos de mantenimiento y alta contaminación atmosférica.
Valor económico de los residuos bajo debido a su estado de suciedad.	Fomentar cultura de separación.
Poca capacidad de los selectores en las bandas.	Motivar y capacitar a los selectores para subir niveles de eficiencia.
Bandas de selección a alta velocidad y angostas.	Disminuir la velocidad de bandas como lo propuso JICA.
Plantas de selección operan a baja eficiencia.	Evaluar tecnología alternativa para ayudar a mejorar el proceso selección y ver u factibilidad.
Residuos recuperados de muy baja calidad.	Fomentar la separación en origen.
Precios de reciclables bajos en comparación con la materia virgen.	Esto solo lo puede controlar al mercado, por lo que es difícil hacer algo, a menos que se subsidien y se les de facilidades para crear negocios a los que utilicen reciclables.
Líderes de pepenadores son las que tienen el control absoluto de las plantas	Difícil ya que se escudan en los trabajadores; pero pueden darse facilidades para la creación de nuevas empresas de separación y reciclaje.
Erogación considerable de recursos financieros para el mantenimiento de P/S por parte del gobierno (60 millones anuales)	Dejar de erogar estos gastos en las plantas y enfocarlos a la creación de empresas recicladoras o de separación.
Que los recursos no se enfocan a la creación de otras plantas	Enfocarlos a la creación de empresas de separación.

Falta de calidad y de mercado para la composta.	La calidad se puede controlar a través de la separación y buena selección de residuos para la composta, con lo cual se abrirá en parte el mercado para el producto.
No existen más sitios disponibles para la disposición, solo el Bordo Poniente.	Negociar con el Estado de México nuevos sitios de disposición y tratar de reducir las cantidades a disponer por medio de tratamiento intermedio.
Los pepenadores se quejan, ya que dicen que solo les llega la basura de la basura	Sería difícil solucionarlo, ya que el sector informal, no es controlable.

Jerarquización de problemas

Se hizo en base a la importancia y urgencia por resolver los problemas, y se muestra esta clasificación en la siguiente matriz A.

En esta matriz se observa que uno de los principales problemas que se deben de afrontar son la de encontrar sitios de disposición o reducir las cantidades de cantidades de residuos hacia estos; pero debido a que en la Ciudad de México ya no se disponen de grandes espacios para colocar los residuos, la minimización se presenta como uno de los lineamientos a seguir, la cual es el punto de análisis del siguiente apartado, en la que se analizan acciones existentes y así ver cuales se podrían implantar en esta Ciudad.

Matriz A. Jerarquización de problemas.

URGENTES

NO URGENTES

IMPORTANTES

- Encontrar sitios para disposición
- Reducir cantidades hacia los sitios de disposición
- Reducir cantidades de generación
- Población no enterada del problema que se genera con los residuos sólidos
- Encontrar mecanismos de financiamiento
- Fomentar cultura de separación
- Resolver ineficiencia en recolección
- Generación de tiraderos en esquina y lotes baldíos
- Contar con camiones con compartimentos separados
- Que los recursos no se enfocan a la creación de otras plantas
- Que los trabajadores de las estaciones usen los aditamentos para su seguridad
- Almacenamiento inadecuado por falta de cultura
- Residuos muy sucios lo que le da baja calidad

- Capacitación para los selectores de las plantas
- Camiones recolectores no siguen las rutas establecidas
- Resolver problemas de encolamientos en E. transferencia
- No existen controles sobre los residuos que se recolectan en las estaciones de transferencia
- Recursos financieros para mantenimiento (recolectores)
- No se cuenta con buena organización y mantenimiento de camiones recolectores
- Sindicato con alta ingerencia y control de los recolectores, presenta resistencia al a implantar redistribución de horarios en la recolección
- El pretil de protección en las tolvas de las ET, es muy baja (20 cm.) lo que presenta riesgo para los camiones recolectores
- Incrementar la calidad de la composta
- Encontrar mercado para la composta
- Transfer no llegan a llenarse a su máxima capacidad
- Obsolescencia de equipo en estaciones de transferencia
- Problema de caciquismo en Plantas de Selección
- Residuos poco biodegradables
- Baja eficiencia en plantas de selección
- Precios de reciclables bajos en comparación con la materia virgen
- Los pepenadores se quejan ya que dicen que solo les llega la basura de la basura

NO IMPORTANTES

- Lejanía de la estación de transferencia tlálpán

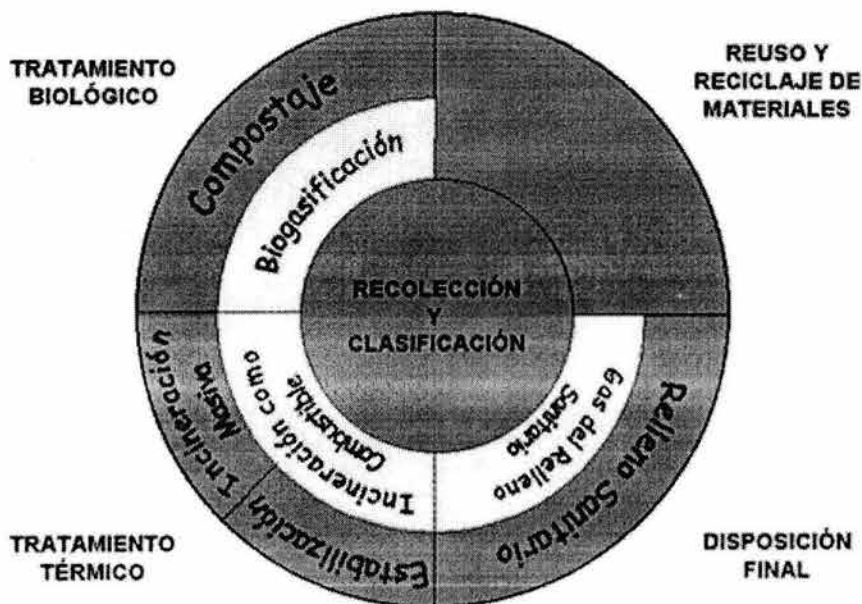
Fuente: Elaboración propia.

5. ACCIONES Y ANÁLISIS DE PRIORIDADES PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

5.1 Acciones para el manejo de residuos sólidos

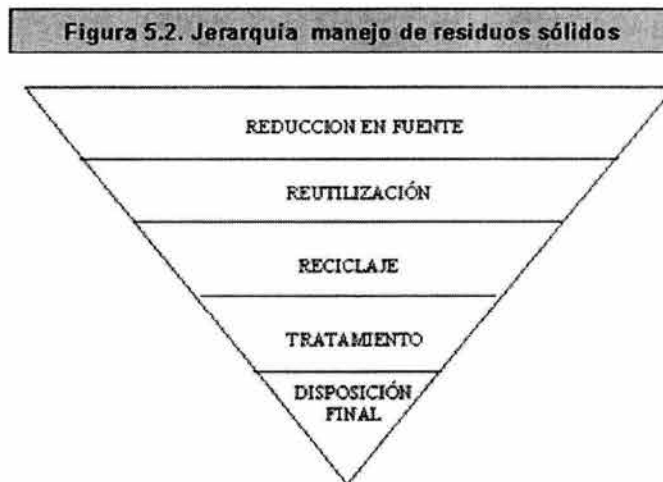
En el contexto del desarrollo sustentable, el objetivo fundamental de cualquier estrategia de manejo de residuos sólidos debe ser la maximización del aprovechamiento de los recursos y la prevención o reducción de los impactos adversos al ambiente, que pudieran derivar de dicho manejo (SEMARNAP, 2001 en Minimización). De las acciones que más comúnmente se siguen en el manejo de residuos sólidos son: Re-uso, reciclaje de materiales, tratamiento biológico (compostaje), tratamiento térmico (incineración) y la disposición en rellenos sanitarios, cada una con sus diferentes ventajas y desventajas, véase figura 5.1, de las cuales pueden combinarse varias opciones y así hacerse un manejo integral.

Figura 5.1. Manejo integral y sustentable de los residuos sólidos



Fuente: Minimización y manejo ambiental de residuos sólidos, 1999.

Partiendo de lo anterior, las soluciones a implantar en el problema de manejo de residuos sólidos radica en que se deben de minimizar los impactos sobre la flora y fauna, la salud de las personas, la calidad de vida, ciclos ecológicos así como los sistemas artificiales (CEPAL, 1997), en cuanto a esto existe una jerarquización de priorización de implantación de acciones, dando un orden de preferencia, que empieza por la reducción en la fuente, re-uso, reciclaje, tratamiento (compostaje, pirólisis e incineración) y disposición en sitios controlados como última opción, véase jerarquización en la figura 5.2; sin embargo es muy importante mencionar que esta es solo una recomendación, por lo que se deben de aplicar en base a las condiciones existentes del lugar (factores económicos, políticos, sociales, ambientales, disponibilidad tecnológica, así como de espacios físicos disponibles), y que además, como se menciono anteriormente, estas se pueden aplicar simultáneamente, ya que son acciones complementarias al logro del objetivo de manejo de residuos sólidos.



Fuente: MI. Gutiérrez, Constantino; Clase de residuos sólidos DEFFI.

La reducción en fuente: comprende la disminución de residuos generados para crear productos y la disminución de empaques en los productos generados de el sistema productivo, lo cual requeriría de la responsabilidad de productores, fabricantes, distribuidores, comerciantes, consumidores y autoridades, para hacerse responsables de los residuos que generan; sin embargo reducir cantidades de materia prima en productos está en contradicción con los fines del mercado, en la

que se busca vender productos vistosos, con una gran presentación y procesamiento tecnológico, que además esta, se ve favorecida por los bajos costos de las materias primas. Por lo que de aquí se origina la gran cantidad de productos que se desecharán; además de que la población de la Ciudad de México presenta una cultura altamente consumista, ya que esta acostumbrado a comprar cosas con gran procesamiento tecnológico, esto debido a que los costos son cada vez más bajos y a que relaciona los productos procesados con una mejor calidad.

Esta acción sería sumamente difícil aplicarla en estos tiempos como solución, ya que el sistema actual de manejo de residuos sólidos no tiene influencia sobre el sistema de producción, ya que esta es parte de su ambiente (por lo que es una variable incontrolable por parte del sistema de manejo de residuos), aunque esto no quiere decir que no pueda ser controlada por otros sistemas (mercado de materias primas, sistema legal, etc.) y actuar a favor del sistema de manejo de residuos sólidos, aunque cabe decir que esto funcionaría, solo cuando se encuentren en un equilibrio los diferentes sistemas que interactúan, ya que de lo contrario se presentarían contradicciones entre sistemas, generando problemas a los demás sistemas (por ejemplo, si se pusieran restricciones legales drásticas, habría inversionistas que saldrían del país debido a que no les convendría invertir en México, generándose con esto una gran falta de empleos, contrario a lo que el gobierno busca generar).

La reutilización: comprende el re-uso de los materiales para otro fin diferente para el cual fueron creados, a los cuales se les puede hacer un cambio o no, en sus características físicas, por ejemplo usar envases como floreros, llantas para mecedoras, llantas para calzado o alguna otra forma. Esta se lleva a cabo principalmente entre las partes de la sociedad menos favorecidas, ya que ellos debido a sus bajos ingresos tratan de rescatar productos para su venta, o inclusive usarlos ellos mismos. Por lo que aunque no se sepa exactamente cuanto se podría reutilizar aquí en México, lo que si es realmente importante darle impulso, ya sea a través de talleres en los que se desarrolle la creatividad y se enseñe a crear formas artísticas, u otras con los residuos.

Reciclaje: consiste en la recuperación de materiales valorizables (vidrio, papel, aluminio, cartón, pet, entre otros) para reincorporarlos al sistema productivo, como fuente de materia prima, de tal modo que se favorezca la conservación de los recursos naturales, y principalmente ayude a evitar que más residuos sólidos lleguen a los sitios de disposición; por lo que esta acción es una gran oportunidad, ya que se podría recuperar hasta el 37 % (*Estudio de la DGSU, mencionado en JICA, 1999*), sin embargo para esto se requiere de un gran apoyo por parte de la comunidad, debido a que se lograría recuperar la cantidad citada, siempre y cuando haya una separación en origen y una buena organización en el sistema de recolección, por lo que esta es una acción que en parte si puede ser controlada por el actual sistema de manejo, esto tomando en cuenta que ya hay programas en marcha a favor de la separación en origen; aunque cabe decir que esta requiere de ciertos elementos y grandes esfuerzos para realizarse de manera adecuada, como se puede ver en el cuadro 5.1, y aun siendo optimistas se tendrían que salvar otros obstáculos como a continuación también se menciona:

Cuadro 5.1. Elementos a considerar en los Programas Municipales de Reciclaje

- **Selección.** Para que se lleve a cabo la separación domiciliar de los residuos sólidos, se requiere otorgar facilidades a los habitantes y establecer programas educativos al respecto.
- **Recolección.** La recolección selectiva directa en los hogares requiere altas tasas de participación, así como la inversión en camiones especiales en los que se separen los residuos.
- **Centros de acopio poblacionales.** Dichos centros pueden ser operados por las asociaciones de vecinos, los cuales recibirían un pago por los residuos seleccionados.
- **Centros regionales de procesamiento.** En los cuales se seleccionan y preparan los materiales reciclables para su embarque hacia centros regionales de comercialización. Estos centros estarían alimentados por los centros de acopio poblacionales y ubicados en sitios estratégicos.
- **Centros regionales de comercialización.** Cuya función es vender los residuos recibidos de los centros regionales de procesamiento, a los compradores de la región.
- **Departamento de promoción de mercados.** Estos departamentos deben de conformarse en los municipios, para la búsqueda y establecimiento de mercados estables a largo plazo para los subproductos reciclables, así como el acopio y difusión de información respecto de los residuos reciclables y directorios de empresas recicladoras o consumidoras de los productos reciclados.
- **Mercados industriales.** Su fortalecimiento requiere que las industrias y empresas de servicios se conviertan al uso de insumos provenientes de los residuos reciclables.
- **Consumidores.** Los gobiernos deben mostrar el ejemplo para alentar a otros consumidores a consumir productos provenientes del reciclado de residuos.

Fuente: Careaga J. A., Manejo y Reciclaje de los Residuos de Envases y Embalajes. Sedesol. Instituto Nacional de Ecología. Serie Monografías No. 4. 1993.

Se debe de tomar en cuenta que el reciclaje es un proceso complejo que en sí consume recursos durante el transporte, selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables. Además, en este proceso también se producen residuos. Por lo que las metas que se establecen únicamente en función de tasas de reciclado, no necesariamente se concentran en el beneficio final y es poco probable que contribuyan al desarrollo de un manejo de residuos sustentable. El beneficio ambiental de reciclar varía de acuerdo con los materiales y también conforme a las tasas de reciclaje, de manera que altas tasas de reciclaje no son necesariamente iguales a mejoras ambientales globales. Por ejemplo, se ha encontrado que bolsas de plástico no reciclables son mejores que botellas reciclables en términos de consumo de energía, emisiones al aire y al agua y generación de residuos sólidos, ya que desde un inicio usaron mucho menos materia. Sin embargo hay materiales que si han mostrado ventajas para su reciclamiento como: papel, pet, metales ferrosos, vidrio y aluminio entre otros

En países como Alemania se ha promovido el reciclaje a través de la aplicación estricta de la ley, lo cual parece no ser consistente con los aspectos económicos de manejo sustentable de los residuos, por ejemplo, el reciclado forzoso de empaques de plástico ha resultado en costos aproximados de 500 dólares por tonelada de plástico reciclado. Esto representa 200 dólares más que el costo del material virgen, de manera que pudiera ser una asignación equivocada de recursos y de costos de oportunidad. Asimismo, no existe evidencia de que este costo de oportunidad sea compensado por beneficios ambientales, en tanto que haciendo ese gasto directamente en proyectos ambientales como tratamiento de agua ó de emisiones a la atmósfera, muy probablemente se tendrían beneficios ambientales significativos y tangibles.

Incrementar la demanda y, por lo tanto, el precio de materiales secundarios a través del desarrollo de nuevos usos de materiales reciclados, puede resultar en incrementos de tasas de reciclaje derivadas del mercado. Hasta que esto ocurra, la recuperación debe llevarse a cabo por otros medios que sean más viables económicamente, dentro de una estrategia de manejo integral de residuos sólidos, como pudiera ser la recuperación de energía. De esta manera, el mercado y una estrategia de manejo integral de residuos sólidos trabajarán juntos para alcanzar tasas de reciclaje económica y ambientalmente sustentables (SEMARNAT, 2001, en Minimización).

Tratamiento: esta se puede llevarse a cabo de dos maneras, por medio de compostaje o la incineración:

Compostaje: es un proceso de degradación aerobia microbacteriana, que se usa para transformar la fracción orgánica de los residuos sólidos en un material llamado composta, el cual puede usarse como abono en cosechas de productos agrícolas y en parques; el proceso de descomposición se puede realizar a través de varias técnicas, sean hileras, pilas estáticas o compostaje en reactor.

El compostaje es un proceso que puede ser controlado por el sistema de manejo de residuos sólidos, por lo que esta se presenta como una buena acción a seguir, ya que se podría procesar hasta el 50 % de los residuos, ya que esta es la proporción de orgánicos en los residuos del Distrito federal (JICA, 1999).

El problema que se encuentra para la implementación de este tipo de plantas es que se requiere: de una separación ya sea desde la generación en la que se requeriría de una gran participación de la comunidad, o desde antes del proceso por medios mecánicos aunque con un mayor costo; una gran cantidad de espacio (por ejemplo para procesar 50 ton/día se requeriría un espacio de aproximadamente de 1 hectárea y por cada 50 toneladas más, un adicional de 0.6 Ha.); un periodo de compostaje largo (por ejemplo en la técnica de hileras en una primera etapa del proceso ocupa de 4 a 5 semanas y su periodo de curación otra 2 a 8 semanas) (Tchobanoglous, 1994); una buena calidad del producto (que requeriría que hubiera una buena separación en origen); y finalmente un mercado en donde venderse con todos los procesos intermedios que esta involucra; y sus principales problemas en cuanto a contaminación son la producción de olores, presencia de órganos patógenos y metales pesados.

La Incineración: es un proceso exotérmico que involucra la descomposición de materia constituida a base de carbono, en gases y cenizas, en presencia de oxígeno, este tratamiento puede hacerse con residuos seleccionados o no seleccionados, llamándosele este último incineración en masa (mas comúnmente usada), esto puede llevarse a cabo con una subsiguiente emisión de energía a través del calor desprendido. Esta acción puede ser controlada por parte del sistema de manejo de residuos, en la que se requeriría de poco espacio, sus resultados son a muy corto plazo, ya que los productos pueden incinerarse en un tiempo aproximado de 30 a 90 minutos, y reducir el volumen de los residuos de un 85% a un 95% (Tchobanoglous, 1994); sin embargo los factores en contra es que: este proceso elimina materiales reciclables, lo cual refuerza el agotamiento de recursos (aunque actualmente los residuos pueden ser aprovechados como

combustible y generar energía eléctrica a través del calor desprendido); que emite contaminantes hacia la atmósfera, principalmente dioxinas y furanos, a los que se les asocia propiedades cancerígenas, aunque esto en animales se ha comprobado, en humanos esto se ha cuestionado, ya que si bien en altas dosis (en accidentes industriales) tiene un bajo riesgo cancerígeno, en bajas dosis no presenta ningún riesgo en la salud (V.N. Houk, citado en Tchobanoglous, 1994), esto además está reforzado por evidencia estadística (Crittenden, citado en Tammemagi, 1999); que sus residuos (cenizas) son tóxicos, lo cual necesita una disposición especializada, aunque esto no del todo, ya que los residuos sólidos municipales no son tóxicos, y bien estas cenizas podrían utilizarse como material en la industria de la construcción (ya sea para carreteras o bloques para casas).

En la actualidad este tipo de tecnología ha presentado avances en cuanto al control de emisiones, por lo que se puede cumplir con la normatividad de emisión de contaminantes para la Ciudad de México, ya que estas pueden controlarse hasta en un 99.99%. Por lo que la incineración se presenta como una buena acción a seguir, aunque cabe decir que esta es más costosa (50 dólares/tonelada) que el tratamiento por composta (28 dólares/tonelada), disposición (14 dólares/tonelada) (Camacho, 2003) y reciclaje (8 dólares/ton) (JICA, 1999).

Disposición. Consiste en enterrar los desechos, por lo que este puede aceptar todo tipo de desechos, aunque también genera contaminación ya que: contaminan los suelos y mantos acuíferos debido al escurrimiento de lixiviados, generan gases que pueden producir explosiones, contaminan el aire debido a las emisiones gaseosas, todo esto cuando no son bien manejados; sin embargo en la actualidad esta disposición se realiza en forma sofisticada por métodos de ingeniería, llamándose rellenos sanitarios (donde principalmente se impermeabiliza la superficie donde se dispondrán los residuos, y se colocan instalaciones adicionales para recolectar lixiviados y liberar gases a través de respiraderos). Aunque esta opción es

la menos recomendada desde el punto de vista de jerarquización, sigue siendo la más popular y “económica” (ya que para llegar al relleno se tienen que cubrir los costos de recolección y transporte, transferencia y finalmente los de la propia disposición).

Es importante mencionar que la disposición de residuos sólidos en terrenos va también en contra del concepto de desarrollo sustentable, ya que al usar estos como tiraderos se reducen espacios que podrían ser aprovechados para otros fines como cultivo y vivienda entre otros (Tammemagi, 1999), que además se desperdician productos reciclables, contribuyendo así al agotamiento de recursos naturales, y que a largo plazo los rellenos sanitarios serán una fuente de contaminación, debido a que la impermeabilización de fondo presentará filtraciones, contaminando así el subsuelo. Sin embargo son y seguirán siendo una parte fundamental del sistema de manejo:

Los rellenos sanitarios han sido y continuarán siendo en el futuro próximo, elementos esenciales de los sistemas de manejo integral de los residuos sólidos, siempre y cuando se ubiquen en lugares apropiados, se diseñen, construyan y operen de manera segura y ambientalmente adecuada. Ello significa considerar en su establecimiento, los factores referidos en el cuadro 5.2 (SEMARNAT, 2001, en Minimización).

Cuadro 5.2. Elementos a considerar en relación con los rellenos sanitarios
<ul style="list-style-type: none">• Establecer y dar cumplimiento a las normas relativas a la ubicación, diseño, preparación del terreno, operación y control de rellenos sanitarios.• Continuar los programas de reubicación de pepenadores fuera de los tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios.• Considerar el espacio que ocupan los rellenos sanitarios como un recurso valioso, a fin de evitar que se depositen, cuando sea viable su reciclado o tratamiento, materiales con un valor en el mercado, residuos industriales no-tóxicos, residuos de jardinería y de centrales de abasto, residuos voluminosos y cascajo, así como residuos peligrosos.• Establecer programas de capacitación y certificación de operadores de rellenos sanitarios.

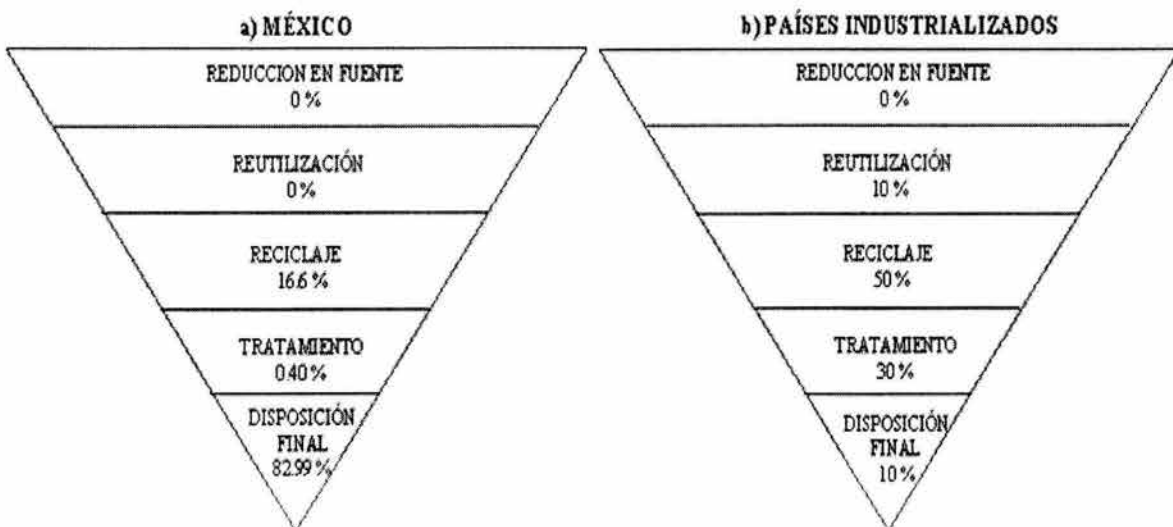
Fuente: Careaga J. A., Manejo y Reciclaje de los Residuos de Envases y Embalajes. Sedesol. Instituto Nacional de Ecología. Serie Monografías No. 4.1993.

Los rellenos sanitarios requieren de grandes extensiones de superficie terrestre y debido a que en la ciudad de México ya no se dispone de lugares para esta, podría decirse que no tiene ninguna opción para llevarse a cabo, no obstante cabe decir que hay un acuerdo metropolitano para llevar a cabo el manejo de residuos entre los

límites del Estado de México y Ciudad de México. Sin embargo hay que mencionar que estos límites en su mayoría están siendo cubiertos por la mancha urbana.

Habiendo hecho una descripción de cada una de las acciones, a continuación se presenta la jerarquización triangular sugerida para el manejo de residuos sólidos, en donde se pueden observar las cantidades que son manejadas actualmente por las diferentes acciones en la Ciudad de México en la figura 5.3a, así como las cantidades manejadas en los países industrializados (figura 5.3 b), en la que puede observarse, que las proporciones en las acciones seguidas son muy diferentes, y que las acciones que más comúnmente se han implantado y han tenido éxito en países industrializados son en primer lugar el reciclaje, seguido del tratamiento (ya sea por compostaje o por incineración) y por último el re-uso y la disposición final.

Figura 5.3. Comparación de la situación en la Ciudad de México con los países industrializados



Fuente: Propia en base a los flujos de materiales

Fuente: Gutiérrez, Constantino; Apuntes de clase de residuos sólidos DEPFI, 2003.

5.2 Criterios y análisis de prioridades de acciones a seguir

Teniendo en cuenta las acciones anteriores, se hará una evaluación de estas, para lo cual se utilizará la técnica de ponderaciones, en la cual primeramente será necesario definir criterios de valoración, lo cual se hace a continuación.

Criterios son un punto de partida para tratar de dar una base común para valorar acciones a seguir (reutilización, reciclaje, compostaje, incineración y disposición en relleno sanitario). Para todo criterio primero se determina una escala de valoración, en este caso se tomó una escala que va desde cero a diez, en la cual diez (10) representará una calificación de valoración positiva, también será la valoración más alta que pueda obtener una acción, en el otro extremo de la escala se tiene el cero (0) como una valoración negativa, por lo que representa la más baja calificación, y entre estos dos extremos se tienen valoraciones intermedias. Por lo que teniendo la escala se procede a valorar las acciones con respecto a cada criterio, y finalmente la ponderación total de las acciones.

Los criterios que se consideraron relevantes para valorar estas acciones son: el impacto ambiental, el requerimiento de espacio y ubicación para la implementación de la acción, la disposición de la comunidad a participar para llevar a cabo la acción, la contribución de la acción a solucionar el problema, el tiempo en resolver el problema, la aceptación vecinal y el requerimiento de recursos económicos, los cuales se desglosan a continuación:

A. Impacto ambiental: este criterio en la actualidad es de indispensable en la implementación de acciones de manejo de residuos, y toma en cuenta el efecto sobre los recursos naturales (suelo, agua, aire, flora, fauna y estética). Para hacer la comparación de impactos generados por las acciones, se tomó la matriz de evaluación de impactos 5.1 (Camacho R., I., 2003), en la que se hace una comparación de las principales acciones compostaje, incineración y relleno sanitario, y se llega a la conclusión de que la incineración es la mejor opción desde un análisis costo-beneficio socio-ambiental. Para este caso se

modifico, tomando solo los impactos con respecto al ambiente y se le agregaron las acciones de reutilización y reciclaje, las cuales se valoraron ambientalmente poniéndole como límite máximo negativo los de la composta, ya que los efectos de estas dos acciones no causan una modificación ambiental en mayor grado a la de la composta. Por lo que en la matriz pueden verse los impactos negativos que se producen en cada acción, de tal modo que se puede hacer una valoración comparativa de impacto ambiental entre las acciones.

5.1. Matriz de evaluación de impactos																
IMPACTO AMBIENTAL		CONSTRUCCION					OPERACION					CIERRE				
		Reutilización	Reciclaje	Incineración	Relleño sanitario	Composta	Reutilización	Reciclaje	Incineración	Relleño sanitario	Composta	Reutilización	Reciclaje	Incineración	Relleño sanitario	Composta
Generación y proliferación de vectores								-1	0	-3	-1				-3	
Generación de agentes patógenos								-1	0	-3	-1				-5	
Daños a la salud					-1			-1	-3	-4	-1				-4	
Generación de ruido		-1	-1	-1	-3	-1	-1	-1	0	-1	-1					
Generación de olor									0	-4	-4				-4	
Contaminación de corrientes de agua	Superficiales	0	0	0	0	0			0	-1	-1					
	Subterráneas	0	0	0	0	0			0	-1	-1					
Contaminación atmosférica	Emisiones de PST			0	-2	0			0	-2	-2					
	Emisiones de SO ₂			-2	-3	-2			-2	0	0					
	Emisiones de NO _x			-2	-3	-2			-2	0	0					
	Emisiones de CO ₂			-2	-3	-2			-5	-4	-2				-2	
	Emisiones de CO			-2	-3	-2			0	-2	0					
	Emisiones de CH ₄									-5					-5	
	Emisiones de H ₂ S									-3	-2				-2	
	Emisiones de sustancias cancerígenas								-3	-2					-2	
Contaminación del suelo				0	-2	0			0	-3	-2				-3	
Contaminación estética			-1	-1	-1	-1		-1	-3	-4	-1			0	-4	0
Impacto total		-1	-2	10	-21	-10	-1	-5	-18	-42	-19	0	0	0	-34	0
VALORACION DE IMPACTO AMBIENTAL																
REUTILIZACION		RECICLAJE			INCINERACION			RELLENO SANITARIO			COMPOSTA					
-2		-7			-28			-97			-29					

Fuente: Camacho R., 2003, modificada por el autor

A. Escala	
Mayor posibilidad de aceptación	10
Posibilidad de aceptación	8
Regular posibilidad	6
Menor posibilidad de aceptación	4
Mucho menor posibilidad	2
Nula posibilidad de aceptación	0

A. Valoración de impacto ambiental	
Reutilización	9
Reciclaje	8
Compostaje	7
Incineración	7
Relleno Sanitario	2

B. Requerimientos de espacio y ubicación: este criterio determina el grado de necesidad y disposición de lugar en cuanto a extensión para cada acción. Para el caso de la Ciudad de México, debido a que ya no existe suficiente espacio disponible para la habilitación de infraestructura, este criterio cobra mucha importancia.

Cada acción a seguir requiere cierto espacio; por ejemplo en lo que respecta al reciclaje, si se ubicara una planta de separación de 135 000 ton/año esta requeriría de 10 hectáreas (Tammemagi, 1999), el re-uso podría decirse que necesitaría el mismo espacio que reciclaje, a menos que se usara directamente por los generadores de estos, una planta de composta como la propuesta por JICA en la que se procesaran 431 000 ton/año requeriría de 36 hectáreas, una planta de incineración de 350 000 ton/año no requeriría espacio mayor que la de una planta de composta, además de que la disposición de residuos se reduciría a un 10 %, en cambio un relleno de capacidad de 18,580,800 ton. ocuparía 256 hectáreas (JICA, 1999). Ahora para hacer un análisis comparativo, sí se supone que se maneja aproximadamente la misma cantidad de residuos al año y que el requerimiento de espacio necesario fuera proporcional a la cantidad manejada, se tendría tomando como base la composta que maneja 431 000 ton/año en **36 hectáreas** aproximadamente, que para una planta de reciclaje con la misma cantidad de manejo, el espacio que se requeriría sería de:

$$\frac{(431\ 000\ \text{ton/año})_{\text{compostaje}}}{(130\ 000\ \text{ton/año})_{\text{reciclaje}}} \times (10\ \text{ha}) = \mathbf{33.15\ \text{hectáreas}}$$
 para el reciclaje

En cambio el espacio que ocupa una incineradora (no se obtuvieron datos específicos de esta) se sabe que es mucho menor que las dos anteriores, ya que esta procesa rápidamente los residuos sin tanta necesidad de tiempo de almacenamiento de residuos, y que además reduce la cantidad de residuos a un 10 %. En lo que respecta a la disposición de espacio en relleno sanitario según los datos que se tienen, se requeriría por año:

$$\frac{(431\ 000\ \text{ton/año})_{\text{compostaje}}}{(18\ 580\ 800\ \text{ton/8años})_{\text{disposición}}} \times (256\ \text{ha/8/años}) = \mathbf{5.94\ \text{ha.}}$$
 para disposición en un año

Sin embargo para hacer las comparaciones, no solo hay que tomar fríamente estos resultados, ya que a pesar de que la disposición requiere en un año de un menor espacio para manejar la misma cantidad de residuos, este espacio ya no se recupera, ya que aquí los residuos se acumulan ocupando permanentemente el espacio, por lo que cada vez se necesitaría más de este, en cambio en los demás acciones, si puede seguirse usando el mismo espacio para su proceso. Además con respecto al reciclaje, esta podría hacerse por medio de centros de acopio (pequeños espacios distribuidos estratégicamente) que sin duda alguna dan una ventaja para la ubicación de estas, así también, las plantas de incineración presentarían la misma ventaja, en cambio el compostaje difícilmente se haría en pequeñas cantidades sin provocar incomodidad.

Por lo que valorando con respecto al espacio, se tiene que en el re-uso y reciclaje se almacenarían temporalmente los reciclables, por lo que se le pondría un 6 indicando que esta en desventaja con las demás acciones, esto debido al requerimiento de espacios en donde alojar los residuos, lugares para los centros de acopio, la incineración presentaría mayor ventaja en cuanto a espacio 9 ya que necesitaría menos que el reciclaje y que la

composta 4, y la disposición se valoraría con 0, ya que a largo plazo ocuparía cada vez más espacio.

B. Escala	
Nula necesidad de espacio	10
Mínima necesidad de espacio	8
Menor necesidad de espacio	6
Regular necesidad de espacio	4
Mayor necesidad de espacio	2
Necesidad de gran espacio	0

B. Valoración de espacio y ubicación	
Reutilización	6
Reciclaje	6
Compostaje	4
Incineración	9
Relleno sanitario	0

C. Disposición de la comunidad a participar: toma en cuenta la necesidad del apoyo de la comunidad en cuanto a la acción a seguir, por ejemplo si se necesita el apoyo de esta en mayor grado, la acción presentara calificación baja, ya que esta depende mucho de un esfuerzo de la comunidad para su implementación y esto dependerá en mayor o menor grado de conciencia del problema de residuos sólidos, por lo que no habiendo esto, solo la necesidad incitará al apoyo; en lo que respecta al reciclaje, según una pregunta de las encuestas de JICA las personas no tienen ninguna necesidad de separar los residuos, debido a que no tendrían ningún beneficio, por lo que en este caso la calificación sería de 3, el compostaje necesita de una separación en origen sin embargo se encuentran lugares como los mercados en la que se encuentran casi en su mayoría residuos orgánicos puros, por lo que se le asignaría una calificación de 5, y en lo que respecta a la incineración en masa y la disposición, la calificación será de 10, ya que en estos no se necesita la participación de la comunidad. La reutilización requiere también del esfuerzo de la gente, pero para esto se necesitaría enseñarles a dar formas creativas para el re-uso, y mientras no haya esto, será mínimo el esfuerzo, por lo que se le asignará una calificación baja 1.

C. Escala	
Nula necesidad de apoyo	10
Mucho menor necesidad de apoyo	8
apoyo Menor necesidad de apoyo	6
Regular necesidad de	4
Necesidad de apoyo	2
Mucha necesidad de apoyo	0

C. Valoración respecto a la disposición a participar	
Reutilización	1
Reciclaje	3
Compostaje	5
Incineración	10
Relleno sanitario	10

D. Contribución a solucionar el problema: en que grado o porcentaje contribuye a resolver o eliminar el problema. Esto puede realizarse en base al porcentaje aproximado de residuos que debería manejarse con cada acción, por ejemplo para reciclar residuos, en este solo se podría esperar reciclar el estimado por JICA que es del 37 %, por lo que este tendría una calificación de 4 (que es aproximadamente el 40 % del total generado), en lo que respecta al re-uso, aquí en México no se tienen datos específicos de cuanto se podría reutilizar, sin embargo en países industrializados se ha llegado a reciclar el 1%, por lo que también esta cantidad podría esperarse que se re-use, y como este es muy poco se le pondría cero (0), ya que en este criterio cada unidad representa el 10 %. En cambio para la composta se sabe que el 50% se podría procesar, ya que este representa el porcentaje de residuos orgánicos, por lo que esta obtendría una calificación de 5, sin embargo con respecto a la disposición e incineración, estas pueden solucionarlas totalmente, ya que se podría enterrar o incinerar el 100%, por lo que estas obtienen una calificación de 10.

D. Escala	
En mayor grado un (100%)	10
En un 80%	8
En regular grado (60%)	6
En un 40%	4
En menor grado (20%)	2
En ningún grado (0 %)	0

D. Valoraciones de la contribución a solucionar el problema	
Reutilización	0
Reciclaje	4
Compostaje	5
Incineración	10
Relleno sanitario	10

E. Tiempo en solucionar el problema: aquí se trata de medir la rapidez con que cada acción podrían deshacerse o reducir el problema de residuos: a corto, mediano o largo plazo. Por ejemplo en lo que respecta al re-uso y reciclaje se requeriría de cambios en la infraestructura actual (requerimiento de nuevos equipos recolectores, equipo para la manipulación de reciclables, centros de acopio, principalmente), de tal modo que se haga eficiente el sistema, y así recuperar materiales, por lo que este lograría resultados a muy largo plazo (2). En lo que respecta al compostaje, esta presenta mayor ventaja que la anterior (el proceso de composteo natural emplea de 60 a 90 días para alcanzar la bioestabilización y de 90 a 120 para la humidificación, en cambio el composteo acelerado tarda de 45 a 60 para el semicurado y de 60 a 90 para el curado completo o humidificación (CEMPRE, 1997)), por lo que podrían procesarse cantidades de residuos en un mediano plazo por lo que le calificaría con 6, en lo que respecta a la incineración este presenta una gran ventaja, ya que este puede procesar y reducir los residuos en un lapso de 30 a 90 minutos (Tchobanoglous, 1994)), por lo que solucionaría el problema en un corto tiempo, valorizándosele con (10), y por último se tiene a la disposición, que aunque aparentemente soluciona el problema rápidamente (por no decir que lo oculta), esto no es así ya que en el interior del relleno aunque empiezan a degradarse los compuestos orgánicos, los inorgánicos no se descompondrán permaneciendo por muchos años, por lo que a esta se le dará una calificación muy baja (1).

E. Escala	
A corto plazo	10
A un entre corto y mediano	8
A mediano plazo	6
A no muy largo plazo	4
A largo plazo	2
A muy largo plazo	0

E. Valoraciones en cuanto a tiempo a solucionar el problema	
Reutilización	2
Reciclaje	2
Compostaje	6
Incineración	10
Relleno sanitario	1

F. Aceptabilidad de vecinos: se trata de valorar la aceptación o rechazo de la acción, en cuanto a si los vecinos perciben efectos negativos por ser colindantes de alguna obra para el manejo de residuos, por lo que la percepción será desfavorable cuando esta sea rechazada, poniéndosele una valoración baja, y una valoración alta cuando esta sea totalmente aceptada. Aunque para esto no se tienen datos específicos, puede hacerse una valoración en base al conocimiento transmitido de las pláticas hechas con los concedores del sistema de manejo de residuos sólidos; por lo que aunque no es muy objetiva puede hacerse un acercamiento a este.

De las acciones que más aceptación tienen son el re-uso y el reciclaje, ya que la gente no percibe efectos negativos, a estos se les pondrá una calificación de 7, en lo que respecta a la composta, esta es menos aceptada ya que se piensa que podría producir muy malos olores (6), aunque es de mayor aceptación que la incineración de la que se cree que puede provocar daños a la salud, por lo que a esta se le valoraría con 5, y por último se tiene a los rellenos sanitarios que en su mayoría son rechazados por los malos olores y por el hecho de sentir la gente de que esta cerca de un basurero como los que comúnmente conoce, por lo que a este se le daría una valoración de (2).

F. Escala	
Total aceptación	10
Gran posibilidad de aceptación	8
Posibilidad de aceptación	6
Regular posibilidad	4
Menor posibilidad	2
Rechazo total	0

F. Valoración de aceptación vecinal	
Reutilización	7
Reciclaje	7
Compostaje	6
Incineración	5
Relleno sanitario	2

G. Requerimiento económico: aquí se determina la comparación de costos con respecto a cada acción de manejo, para esto se tienen que los costos unitarios para cada acción son: para la disposición \$14/ton, para la incineración \$50/ton, para el compostaje de \$28/ton (Camacho, 2003)¹, para el recuperado de reciclaje de \$8/ton. (JICA, 1999), por lo que las valoraciones para cada uno quedan de la siguiente manera:

G. Escala	
Gran posibilidad de existencia	5
Posibilidad existente	4
Regular posibilidad	3
Alguna posibilidad	2
Casi no existe posibilidad	1
Nula existencia	0

G. Valoración de requerimiento económico	
Reutilización	9
Reciclaje	9
Compostaje	7
Incineración	5
Relleno sanitario	8

¹ Camacho obtiene los costos a través del promedio de costos unitarios de diferentes países.

Ponderación de acciones

Criterios	Impacto ambiental	Requerimiento de espacio ubicación	Disposición de la comunidad a participar ²	Contribución a solucionar el problema	Tiempo en solucionar el problema	Aceptación vecinal	Requerimiento económico		
	Peso de criterios	10	10	6	8	9	5	6	Suma = 54
	0.19	0.19	0.11	0.15	0.17	0.09	0.11	Peso/suma	
Acciones	Valoraciones								
Reutilización	9	6	1	0	2	7	9	Valoraciones determinadas anteriormente de cada acción con respecto a cada criterio	
Reciclaje	8	6	3	4	2	7	9		
Compostaje	7	4	5	5	6	6	7		
Incineración	7	9	10	10	10	5	5		
Disposición	2	0	10	10	1	2	8		
	Valoraciones ponderadas							Preferencia	
Reutilización	1.67	1.11	0.11	0.00	0.33	0.65	1.00	4.87	4
Reciclaje	1.48	1.11	0.33	0.59	0.33	0.65	1.00	5.50	3
Compostaje	1.30	0.74	0.56	0.74	1.00	0.56	0.78	5.67	2
Incineración	1.30	1.67	1.11	1.48	1.67	0.46	0.56	8.24	1
Disposición	0.37	0.00	1.11	1.48	0.17	0.19	0.89	4.20	5

Las valoraciones ponderadas de la parte inferior se determinan, multiplicando el peso de cada criterio (en porcentaje) por las valoraciones determinadas de la parte superior, posteriormente se realizan las sumas horizontales de cada fila, de las cuales el mayor valor numérico representa la mejor acción a seguir. Numerándose finalmente el orden de preferencia a seguir.

De los resultados se observa que la **incineración** presenta mayor ventaja de acuerdo a las condiciones de la ciudad, seguida del compostaje, reciclaje, re-uso y finalmente la disposición.

² Se requiere contar con la información necesaria para actuar.

6. LA INCINERACIÓN COMO UNA ACCION A SEGUIR

Al seguir el objetivo de reducir las cantidades hacia el relleno sanitario y de la evaluación de acciones, se observa del resultado anterior, que debido a las condiciones actuales de la Ciudad de México, el tratamiento por medio de incineración, el compostaje y el reciclaje se presentan como mejores acciones. Por lo que al seguir la primera, puede observarse inicialmente, que esta puede causar un gran impacto en el sistema, ya que podría reducir las cantidades a disponer hasta en un 90% de su volumen, aunque cabe decir que esta, como ya se mencionó tiene su contraparte ambiental, económica, y social, pero que valuando globalmente se presenta como mejor opción, lo que se busca es una mejora satisfaciente en todos los aspectos y no solo los puntuales, ya que de lo contrario se podría empeorar las condiciones actuales.

6.1 La incineración

Cuando las tecnologías de incineración empezaron a aparecer, estas presentaban grandes deficiencias, emitían gran cantidad de contaminantes, pero que estas para esas épocas se consideraba de poca importancia, ya que no se pensaba que fueran a causar gran impacto en el ambiente, sin embargo al evaluarlas desde esta época, parecería que son un método inaceptable para el tratamiento de residuos sólidos, no obstante en la actualidad los métodos de incineración son muy sofisticados, ya que se cuentan con controladores eficientes de emisiones de partículas y gases hacia la atmósfera, por lo que se puede cumplir con la normatividad actual de la Ciudad de México, y que además puede recuperarse energía a través del calor generado, por lo que podría decirse que de alguna manera se recuperarían los recursos aprovechándose en forma de calor.

Etapas generales de la incineración

Las etapas de la incineración pueden dividirse generalmente en tres que son: pre-tratamiento y alimentación (almacenamiento de residuos y alimentación a través de un cucharón), incineración (transformación de residuos a altas temperaturas) y control de emisiones (control de contaminantes, partículas y gases):

Primera etapa: el **pre-tratamiento y alimentación** consiste en almacenar y separar los residuos que no se consideren aptos para incinerarse, ya sea porque pueden causar daños al sistema de incineración (como las pilas) o para que no produzcan contaminantes, ya que estos últimos también dependerán de los residuos que serán incinerados, y entre los residuos que más contaminan se tienen a los que contienen compuestos clorados, principalmente el PVC (policloruro de vinilo).

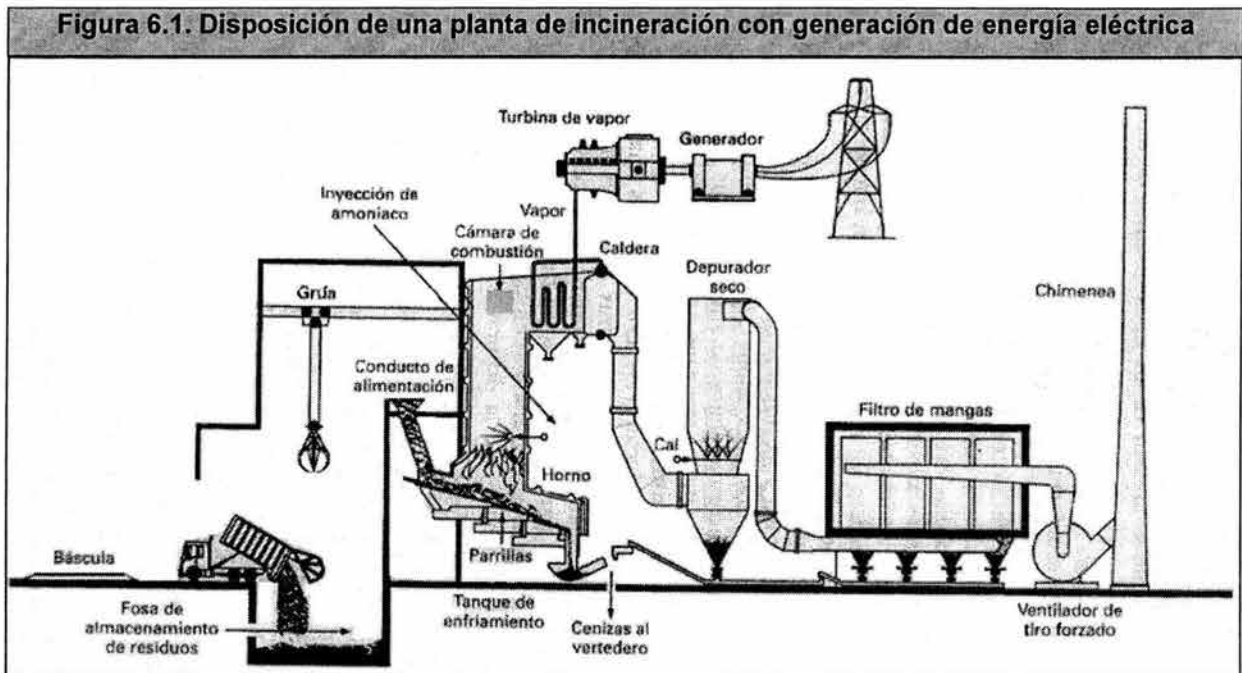
La segunda etapa es en sí, la de la **incineración**, consiste en un proceso de combustión que utiliza la reacción de oxidación con oxígeno a altas temperaturas para destruir los residuos. En esta etapa se pueden encontrar dos fases, la de combustión primaria y secundaria: en la combustión primaria se calientan los residuos (en esta hay una liberación de sustancias volátiles) generalmente a una temperatura de 600 a 648 °C, aquí se debe de buscar la combustión completa, ya que de lo contrario pueden emitirse contaminantes; en la combustión secundaria se succionan los gases hacia la cámara de post-combustión, para la destrucción de sustancias volátiles a una temperatura aproximada de 1000 °C.

A fin de evitar una combustión incompleta y eficientar el proceso de incineración se recomienda: controlar la temperatura de combustión, cantidad de oxígeno, la mezcla eficiente de los residuos y el tiempo de residencia de los gases a la temperatura de combustión. Información adicional con respecto a la incineración se puede observar en el anexo B, así como los límites de emisión de contaminantes de la Norma Oficial Mexicana.

Entre las tecnologías existentes para incineración se pueden mencionar los de inyección de líquido, los rotatorios y los de lecho fluidizado.

La tercera etapa consiste en **controlar las emisiones hacia la atmósfera**, la cual se puede realizar a través de filtros de bolsa, precipitadores electrostáticos y lavadores vénturi.

La disposición general de una planta de incineración es como la que se muestra en la figura 6.1, en la que se puede observar que estas también pueden ser aprovechadas para generar energía eléctrica, debido al calor generado. El cual puede ser recuperado a través de una caldera y generador.



Fuente: Tchobanoglous, 1994.

El principal factor que se considera en el diseño de un incinerador, es el poder calorífico y el contenido de humedad de los residuos, por lo que es muy importante conocer los componentes de los residuos sólidos, además de que conociendo esto, se pueden también prever el tipo de emisiones atmosféricas, a través de las reacciones químicas que se producirían en su interior, por lo que se puede evitar alimentar los incineradores con ciertos productos que producirían más

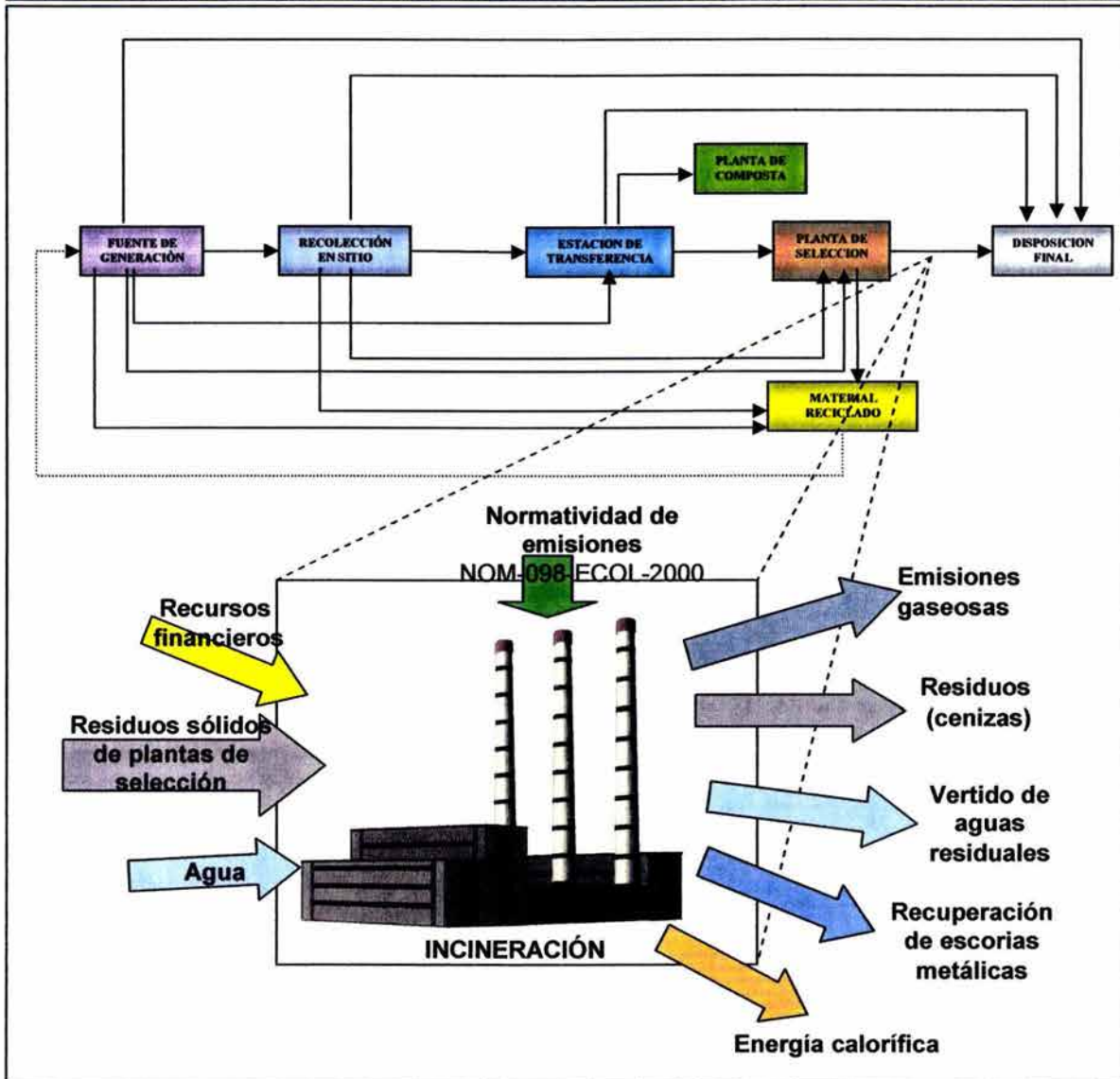
contaminantes, como los de compuestos clorados. En lo que respecta a la humedad, cabe mencionar que este influye de manera importante en el poder calorífico, ya que al aumentar esta el poder calorífico disminuye. Por lo que en la Ciudad de México, sobre todo en épocas de lluvia de verano, el poder calorífico de los residuos llega a caer a 1200 KCal/Kg o sea 5015 KJ/Kg (JICA, 1999), por lo cual se requeriría áreas de secado para los residuos, o combustible adicional para iniciar la incineración.

¿Pero cuantas plantas se necesitan? y ¿En que parte del sistema se conectarían?, aunque podrían incinerarse todos los residuos en masa, es importante observar que no en todas las partes del sistema fluye el mismo tipo de residuos, ya que los residuos generados son de diferente fuente, además de que son modificados en cada una de las etapas subsiguientes de manejo, en la pre-pepena se recuperan reciclables, por lo que a las estaciones de transferencia no llega con las mismas características, de aquí en base a una inspección visual se decide que residuos se mandan hacia las plantas de selección, en la que se recuperan también materiales modificando una vez más la composición de los residuos, y por ende su poder calorífico, por lo que en esta parte del sistema es donde se presenta una mayor ventaja para conectar los incineradores, ya que aquí se le han quitado materiales recuperables (por lo que no habría choque con los reciclados de las plantas, ya que si estos de antemano se han estado quejando, de que solo llegan residuos de residuos lo que les repercute en sus tasas de recuperación, también podrían quejarse de que se están incinerando productos que ellos pudieran recuperar).

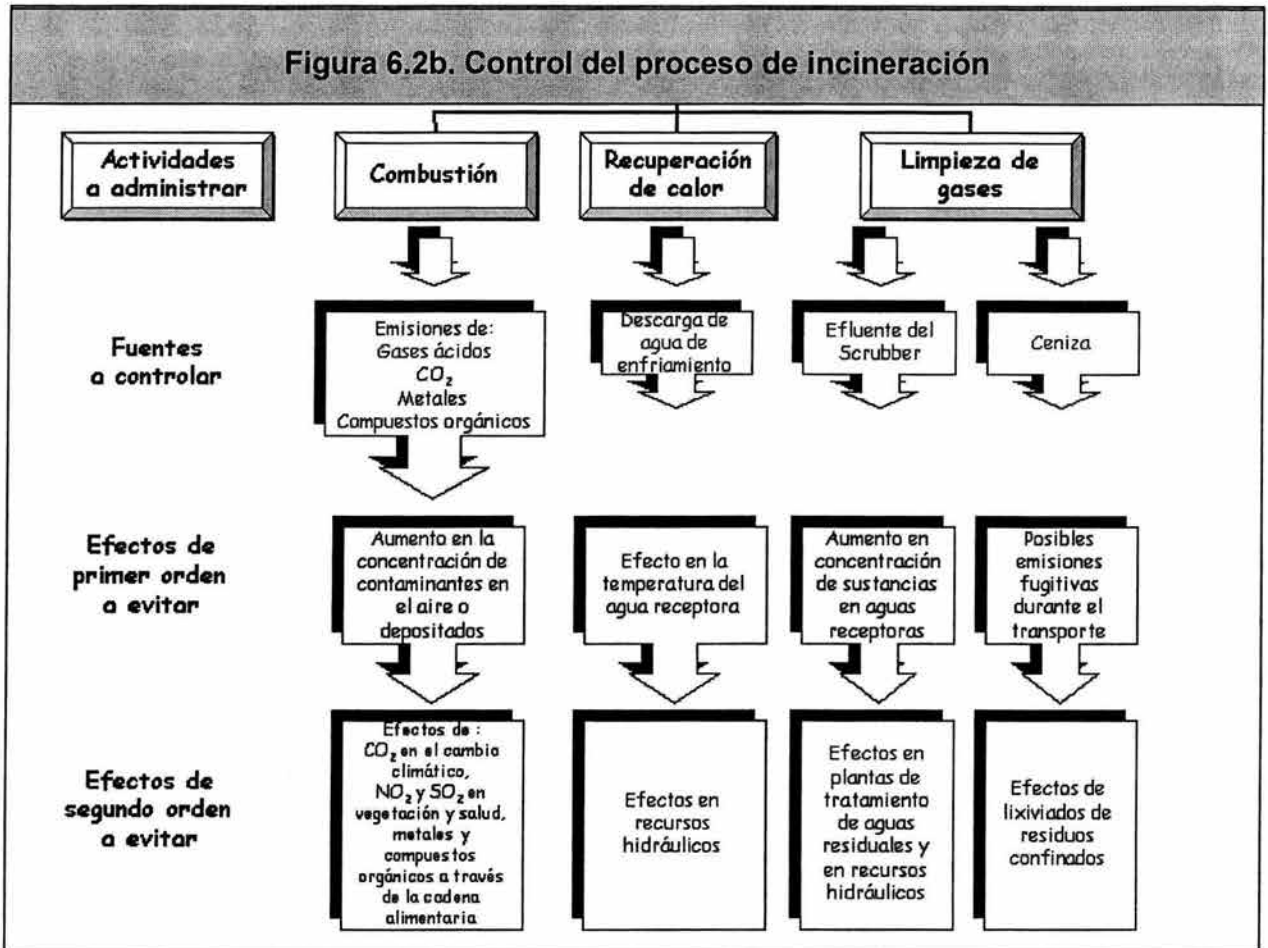
Por lo que se observa que lo más conveniente para alimentar las plantas de incineración sería a través de estas plantas de selección (véase figura 6.2 y 6.2b, en la que también se muestra la entrada y salida de subproductos a controlar del proceso de incineración) ya que aquí se conoce con más precisión el tipo de residuos sólidos, por lo que podría seleccionarse el tipo de residuos a enviar hacia las plantas de incineración.

Por lo tanto ahora toca determinar el número de incineradores necesarios, estos con recuperación de energía, la cual se hará a continuación, esto en base a los costos aproximados que se presentarían.

Figura 6.2. Definición de la conexión de plantas de incineración con recuperación de energía.



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Semarnat, 2001, en Minimización.

De tal modo que se previenen y reducen la liberación al ambiente de sustancias tóxicas, y así evitar efectos potenciales sobre la salud humana y los ecosistemas.

6.2. Determinación actual y futura de incineradores en la salida de las plantas de selección

Se utilizarán incineradores con recuperación de energía (generación de energía eléctrica). Las características y costos aproximados (en dólares estadounidenses) en que se incurren para los módulos de incineración pueden verse en la Tabla 6.1¹:

Tabla 6.1. Características y costos (dólares USA) de los módulos de incineración.		
Costos de inversión son \$450 000/(1000 ton/año)		\$450 /(ton/año)
Promedio mínimo de vida útil del módulo de incineración		22 años
Tiempo promedio anual de operación		7 500 horas/año
Costo anual de mantenimiento por modulo de incineración		\$150 000 /año/mod.
Costos de operación	Salarios:	
	2 Ingenieros (\$1 500/mes) =	\$3000 /mes
	3 Técnicos (\$ 450/mes) =	\$1350 /mes
	4 Administradores (\$750/mes) =	<u>\$3000 /mes</u>
	Salarios = \$7 350 /mes	
Gastos generales (55% Salarios)		
= 0.55 x 7350 =		\$4 043 /mes
Subtotal = Salarios + Gast. Grals. (1 turno)		
=		\$11 393 /mes
Total (3 turnos) =		\$34 179 /mes
		\$410 148 /año
Electricidad y químicos para purificación de gases =		\$130 000 /año/mod.
		\$130 000 /año/mod.

Fuente: Elaboración propia

¹ Proporcionados por el Ing. Günter Bush en el Seminario Waste incineration technologies, presentado en la DEPMI, 2002, los salarios son aproximaciones del autor.

La cantidad de residuos sólidos municipales que actualmente descargan las plantas de selección (2003), son de aproximadamente el 38.77% del total generado, por lo que son de 749 683 toneladas (38.77% x 4 513 178 ton., véase flujos en diagnóstico y proyecciones en anexo A), sin embargo a manera de que los incineradores cumplan con las expectativas a largo plazo, se determinarán el número de incineradores para los años 2008, 2013, 2018 y un periodo máximo de planeación de 22 años (2023) que es el mínimo de vida útil de un incinerador.

A continuación se calculará el número de incineradores que se necesitan en la actualidad (2003), esto considerando en primer lugar que se conservaran las actuales cantidades de reciclaje y compostaje, y segundo considerando que los niveles de reciclaje empezaran aumentar gradualmente en 1 % anualmente.

Ejemplo de determinación del número de incineradores en base a la gráfica 6.1

El poder calorífico en salida de las plantas de selección es de 11 065 KJ/Kg (véase cálculo en anexo A)

Capacidad mecánica anual del modulo de incineración

$$= \text{Horas operación anual (Hrs/año)} \times \text{Capacidad mecánica (ton/hrs)}$$

$$\text{Horas de operación de un incinerador en un año} = 7500 \text{ hrs/año (dato, tabla 6.1)}$$

$$\text{Capacidad mecánica de un incinerador} = 25 \text{ ton/hrs (de gráfica 6.1) *}$$

*Se elige una capacidad de incineración

$$\text{Capacidad mecánica anual de incinerador} = 7500 \text{ hrs/año} \times 25 \text{ ton/hrs} = 187500 \text{ ton/año}$$

Cálculo de número de incineradores

$$= \text{Cantidad de residuos sólidos (ton/año)} / \text{Capacidad anual mecánica de incinerador (ton/año)}$$

$$\text{Cantidad de residuos sólidos en salida de plantas (2003)} = 1\,749\,683 \text{ ton/año}$$

$$\text{Número de incineradores} = 1\,749\,683 \text{ ton/año} / 187500 \text{ ton/año/mod} = 9.33 \text{ módulos de incineración}$$

Por lo tanto se necesitan = 10 módulos de incineración

Debido a que existen varias opciones en cuanto a tamaño a elegir, lo anterior se hará para 3, presentándose estos en tablas con sus respectivos costos, para así determinar el óptimo. Lo cual se presenta a continuación:

Capacidad y número de incineradores

A	B	C=Bx7500	D	E = D/C	F	G = C x F	H = D/G
Opción	Capacidad mecánica máxima incineración (de gráfica 6.1)		Cantidad a incinerar en salida de plantas (2003)	Número de módulos de incineración para el año 2003 (mod)		Capacidad máxima total de incineración de RSM *c	Trabajo real de incineración *d
	(ton/hr)	(ton/año) *a	(ton/año)	Del cálculo	Real *b	(ton/año)	(adimensional)
a	25	187500	1,749,683	9.33	10	1,875,000	0.93
b	30	225000	1,749,683	7.78	8	1,800,000	0.97
c	35	262500	1,749,683	6.67	7	1,837,500	0.95

*a. 7500 horas de incineración en un año.

*b. La columna anterior se cierra al entero superior, ya que no se pueden tener fracciones de incineradores.

*c. Es la capacidad máxima que podría incinerarse con los incineradores.

*d. Es la proporción a que se ponen a trabajar los incineradores, por lo que es la cantidad de residuos que se ponen a incinerar entre la capacidad máxima del incinerador.

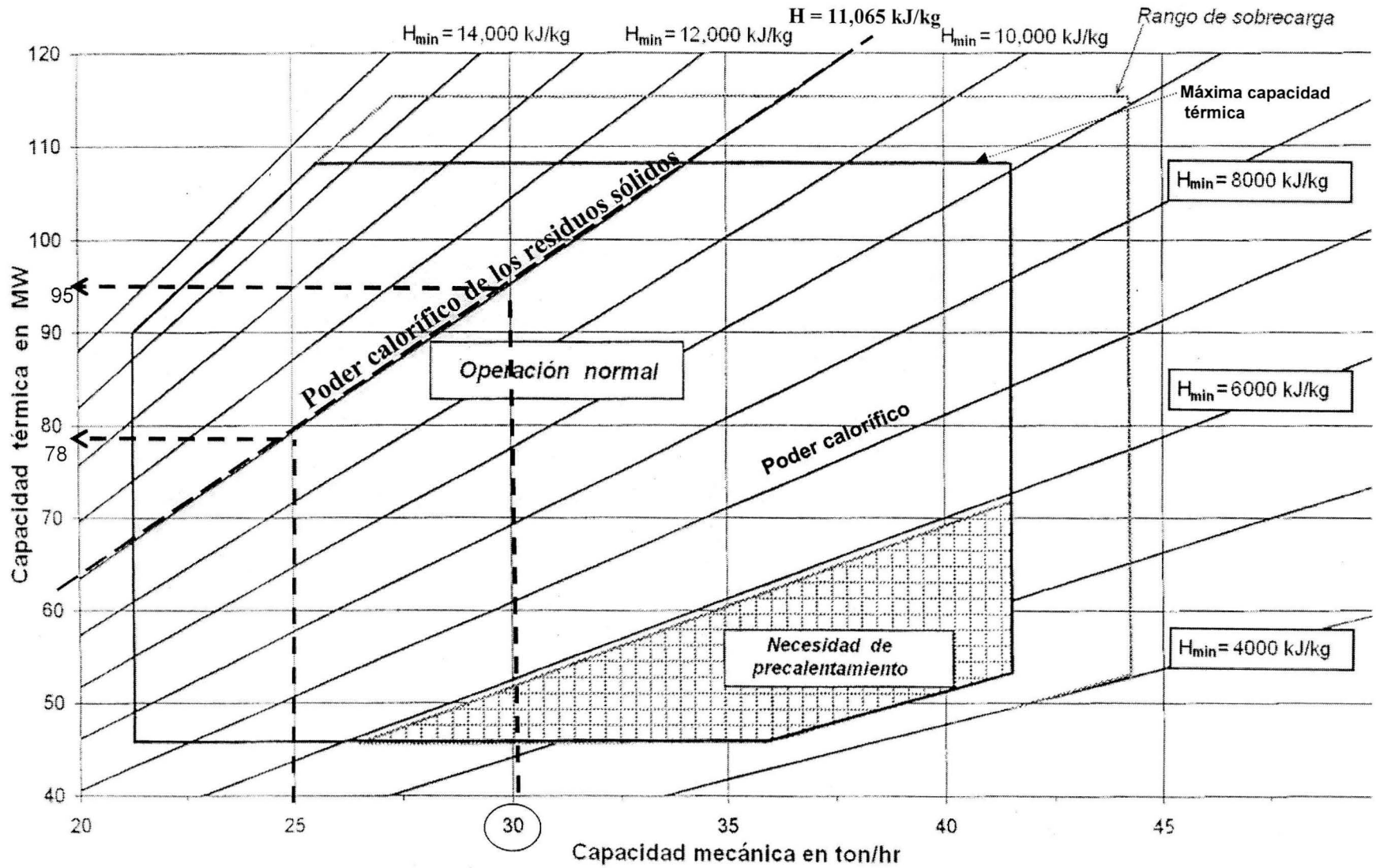
Capacidad térmica generada

A	B	C	D	E = 7500xD	F	G = E x F	H = C x G
Opción	Capacidad mecánica de los incineradores (ton/hr)	Número de módulos de Incineración (mod)	Capacidad térmica generada por hora y por módulo *a (MWH/hrs/mod)	Capacidad térmica máxima generada por año y por módulo (MWH/año/mod)	Trabajo real de incineración *b	Capacidad real generada por año y por módulo (MWH/año/mod)	Capacidad total real generada por año (MWH/año)
a	25	10	79	592,500	0.93	552,900	5,528,998
b	30	8	95	712,500	0.97	692,583	5,540,663
c	35	7	108	810,000	0.95	771,289	5,399,022

*a. Se determina entrando a la gráfica 6.1, con la capacidad del incinerador elegido y el poder calorífico de los residuos, que es de 11 065 KJ/Kg.

*b. Determinado en la tabla anterior.

Gráfica 6.1. Capacidad de una planta de incineración



Costo promedio de inversión = \$450 (dólares/(ton/año))

Inversión inicial

A	B	C	D	E = C x D	F = B x E
Opción	Número de incineradores (mod)	Capacidad mecánica (ton/año/mod)	Costo promedio de inversión (dólares/(ton/año))	Inversión por planta (dólar/mod)	Inversión por el número de plantas (dólares)
a	10	187,500	\$450	\$84,375,000	\$843,750,000
b	8	225,000	\$450	\$101,250,000	\$810,000,000
c	7	262,500	\$450	\$118,125,000	\$826,875,000

Costos de operación

A	B	C	D	E = C + D	F = B x E
Opción	Número de incineradores (mod)	Salarios anuales (dólar/año/mod)	Electricidad y químicos (dólar/año/mod)	Costos operativos por módulo de incineración (dólar/año/mod)	Costos totales de operación por plantas (dólar/año)
a	10	\$410,148	\$130,000	\$540,148	\$5,401,480
b	8	\$410,148	\$130,000	\$540,148	\$4,321,184
c	7	\$410,148	\$130,000	\$540,148	\$3,781,036

Costos de recolección y transporte

A	B	C = A x B
Residuos (cenizas) (ton/año)	Costos de recolección y transporte (dólar/ton)	Costo de recolección y transporte (dólar/año)
262,452	9	2,362,072

Costos por tonelada de ceniza dispuesta

Reducción de residuos a un 15% de cenizas

A	B = 15% x A	C	D = B x C
Residuos a incinerar 2003 (ton/año)	Cenizas generadas (ton/año)	Costo de la disposición (dólar/ton)	Costo total de la disposición (dólar/año)
1,749,683	262,452	\$800	\$209,961,960

Costos por mantenimiento = \$150,000 /mod

A	B	C	D = B x C
Opción	Número de incineradores (mod)	Costo mantenimiento (dólar/año/mod)	Costo total de mantenimiento (dólar/año)
a	10	\$150,000	\$1,500,000
b	8	\$150,000	\$1,200,000
c	7	\$150,000	\$1,050,000

Ingresos por la energía generada

A	B	C	D	E = 1000 x D	F = C x E
Opción	Número de incineradores (mod)	Capacidad total anual generada (MWH/año)	Precio del KWH (dólar/KWH)*	Precio del MWH (dólar/MWH)	Ingresos por energía (dólar/año)
a	10	5,528,998	0.0422	\$42.2	\$233,323,727
b	8	5,540,663	0.0422	\$42.2	\$233,815,972
c	7	5,399,022	0.0422	\$42.2	\$227,838,721

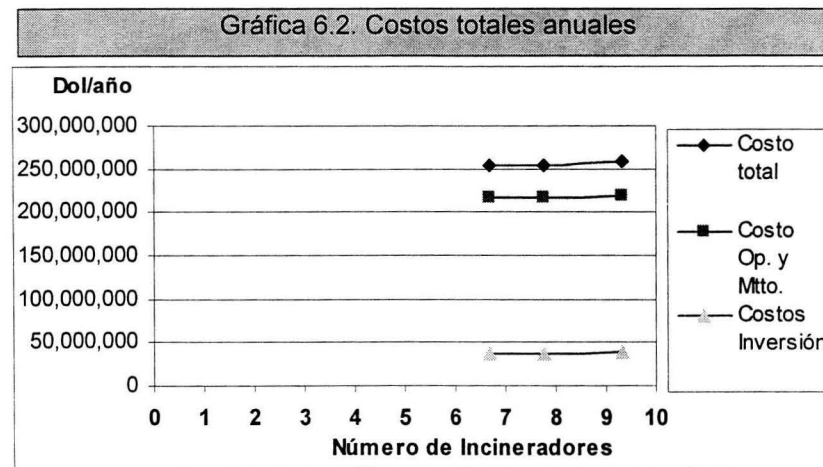
* JICA, 1999.

Elección de número de incineradores							
A	B	C	D	E	F = D + E	G = C - F	
Opción	Número de incineradores (mod)	Ingresos por energía (dólar/año)	Costo de Inversión por el número plantas (dólar/año)*a	Costos de operación y mantenimiento, recolección y transporte (dólar/año)	Costos totales (dólar/año)	Utilidad Bruta (dólar/año)	Costo unitario de incineración (dólar/ton) *b
a	10	\$233,323,727	\$38,352,273	\$219,225,512	\$257,577,785	-\$24,254,057	-14
b	8	\$233,815,972	\$36,818,182	\$217,845,216	\$254,663,398	-\$20,847,426	-12
c	7	\$227,838,721	\$37,585,227	\$217,155,068	\$254,740,295	-\$26,901,574	-15

* a. Se obtuvo dividiendo la inversión inicial entre el número de años de vida útil (22 años).

* b. Es la razón de la utilidad bruta entre la cantidad de residuos que sale de plantas de selección para incinerarse.

Se puede observar que los costos más bajos se presentan cuando el número de módulos de incineración es igual a 8 con una capacidad de 30 ton/hr, sin embargo se puede observar que no se encuentra mucha diferencia entre escoger estos o 7 incineradores de una capacidad de 35 ton/hr. (Véase grafica 6.2).



Fuente: Elaboración propia.

Por lo que siguiendo el criterio del costo más bajo se escogerían 8 incineradores de 30 ton/día (262 500 ton/año).

Cálculo de número de incineradores sin considerar cambios en el sistema.

Véase anexo A en la que se muestran la cantidades a incinerar que salen de la plantas de selección, sin considerar cambios en los demás subsistemas de manejo de residuos sólidos.

AÑO	RSM en las salida de plantas de selección (ton/día)	Tamaño de modulo de incineración (ton/año)	Número de incineradores
2003	1,749,683	225,000	8
2008	1,903,945	225,000	9
2013	2,056,030	225,000	10
2018	2,202,993	225,000	10
2023	2,341,366	225,000	11

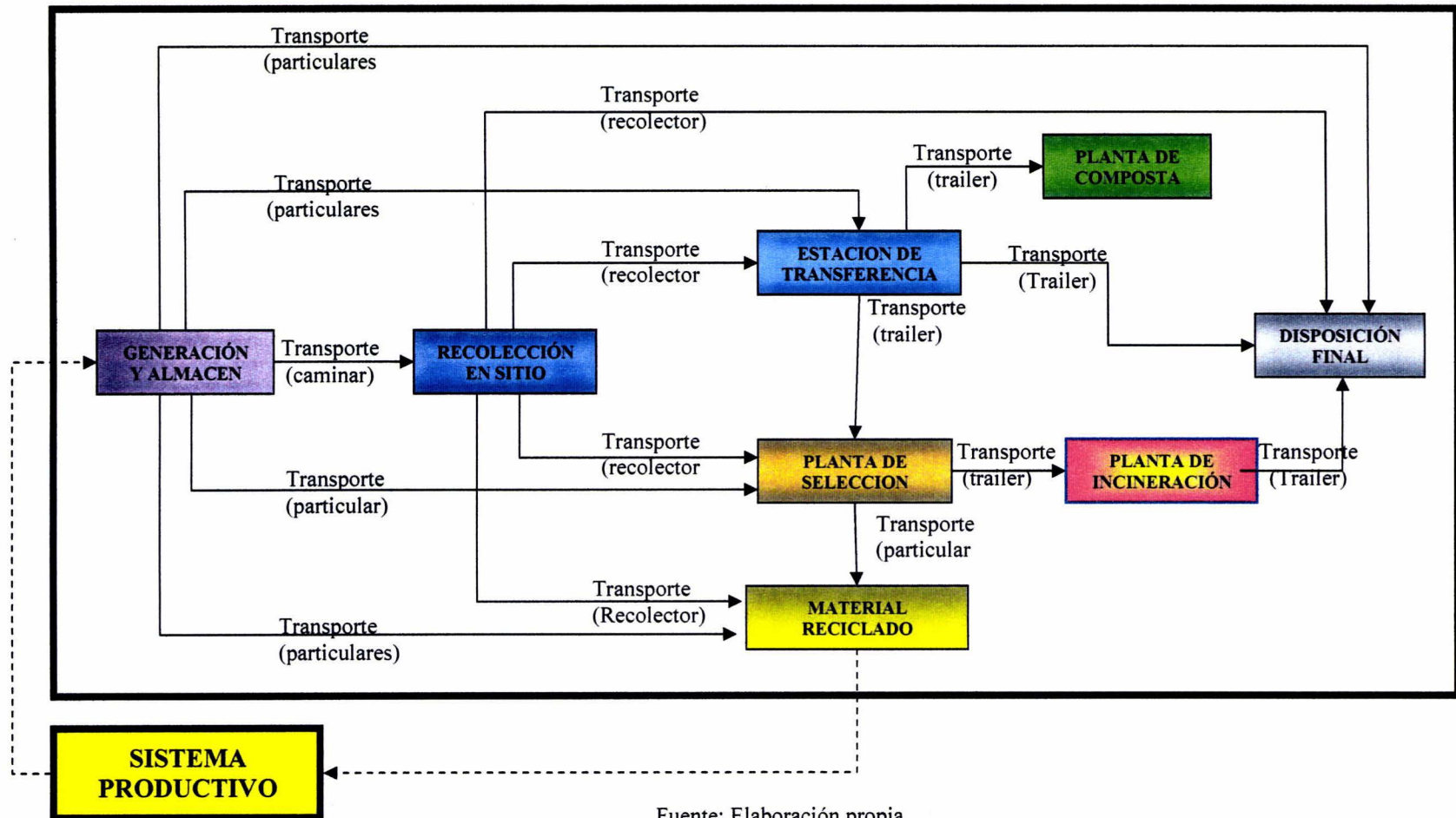
Cálculo de número de incineradores considerando incremento de recuperación anual del 1% del total de residuos, esto en plantas de selección.

Véase en anexo A las cantidades que salen de plantas de selección considerando aumento en reciclaje.

AÑO	RSM en las salida de plantas	Tamaño (ton/día)	Número de incineradores
2003	1,749,683	225,000	8
2008	1,501,167	225,000	7
2013	1,352,102	225,000	7
2018	1,163,318	225,000	6
2023	935,362	225,000	5

Se puede observar que se necesitarán menos módulos de incineración en las salidas de las plantas de selección. Esto debido a que se considera que se mantiene el mismo porcentaje de residuos actuales, en la entrada de las plantas de selección o sea el 40.96 %, véase figura 6.3 de flujos propuestos.

Figura 6.3 Flujo propuesto de manejo de residuo sólidos con subsistema de incineración



Fuente: Elaboración propia.

Por lo que debe de planearse en un futuro a medida que se vaya incrementando el reciclaje, el cambio de flujos en el sistema hacia las plantas de incineración (no debe olvidarse que al incrementarse el reciclaje, el poder calorífico de los residuos tenderá a disminuir), para abastecer estas también desde las estaciones de transferencia o directamente desde la fuente de generación. Ya que al estar separados los residuos, estas presentarán mucha ventaja en seleccionar el tipo de residuos que alimentarían a las plantas de incineración. Además de que podrían también incrementarse las cantidades a compostar, debido a la mayor limpieza de los residuos orgánicos.

Por lo que podría mejorarse el manejo integral de residuos sólidos, esto complementándolo por supuesto con la incineración, ya que no todo lo orgánico puede compostarse, ni todo lo inorgánico reciclarse, y todavía habría la necesidad de buscar lugares para depositar la parte restante, pero sin duda alguna, estas últimas serían menores.

Finalmente para llevar a cabo la implementación de la incineración, debe empezarse a concienciar a la comunidad del problema que se está afrontando, a modo de tener el apoyo de esta, tanto en recursos financieros como en la implementación de acciones, ya que solo así el sistema de manejo de residuos sólidos será autosuficiente, y en un futuro se podrá sostener al ambiente de una mejor manera, de lo contrario podrían pagarse costos altísimos para contrarrestar el daño que se está causando al ambiente, por lo que más que reparar daños, lo que se debe de hacer es, prever dichas situaciones.

Debido a que actualmente no se cuentan con los recursos económicos suficientes, para la propuesta de incineración deben de buscarse mecanismos de financiamiento o abrirse esta a la iniciativa privada, ya que el problema de manejo de residuos sólidos municipales, es un problema que amerita la implementación de acciones inmediatas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el sistema actual de manejo de residuos se observa que existen muchos vicios, que han llegado a establecerse (cobro de propinas en recolección, rutas de recolección a criterio del chofer y separación en los mismos camiones, control político de las plantas de selección por parte de los caciques), por lo que su erradicación más que difícil será lenta; pero lo que si no hay que olvidar que de alguna manera contribuyen en mayor o menor grado a reducir la cantidad de residuos sólidos (principalmente la separación en trayecto de recolección).

Es cierto que se tiene la posibilidad de negociar con otros estados la disposición de residuos; pero que sin embargo se deben de tratar de encontrar soluciones a los problemas que los mismos habitantes generan. No debe haber desentendimiento de estos y tratar de solucionarlos, solo trasladando los residuos a otros lugares.

Por lo que es importante empezar a concienciar a la gente de que si se quiere vivir en una ciudad limpia y sana, será importante, unir esfuerzos, en la que todos deben hacerse responsables de los residuos que generan, se necesita un esfuerzo mucho mayor y no solo esto, si no también en cuanto recursos financieros, por lo que ya es momento que los habitantes de la ciudad empiecen a ver que es necesario a aportar recursos económicos al sistema, para que este pueda proporcionar un mejor servicio. Ya que en un futuro se requerirá que todas las partes del sistema funcionen adecuadamente (actualmente recolección desorganizada, vehículos de recolectores obsoletos y con falta de mantenimiento, estaciones de transferencia subutilizadas, como la de Tlalpan, y plantas de separación operando a muy baja eficiencia con respecto a su diseño) a modo de manejar eficientemente los residuos sólidos.

Entre las acciones existentes para el manejo de residuos sólidos, sin duda alguna cada acción a seguir tiene sus ventajas y desventajas, la incineración no es la excepción, es cierto que tiene efectos negativos, principalmente en la emisión de contaminantes a la atmósfera, pero este es solo un efecto puntual y que sin embargo

puede ser controlado eficientemente. Los residuos sólidos municipales cuando no son manejados adecuadamente producen efectos negativos al ecosistema, ya que afectan al suelo, agua, aire, la imagen urbana y por ende la salud humana. Por lo que más que ver efectos puntuales de alguna acción, lo que se debe ver, son los efectos globales que se producen, y la incineración ayuda a reducir los efectos negativos producidos, ya que este proceso en gran parte elimina la peligrosidad de estos convirtiéndolos en cenizas, y éstos últimos pueden ser utilizados en la industria de la construcción (pavimentos para carreteras o bloques de construcción).

Por lo que es importante, informar a los habitantes de las consecuencias que pueden llegar a hacerse realidad en un futuro cercano, si no se actúa desde ahora, ya que como se observa en las proyecciones de generación de residuos, a pesar de que la población pronosticada del Distrito Federal tenderá a disminuir, los residuos a disponer seguirán en aumento, y esto aún considerando la implementación de la incineración e incremento en las tasas de reciclaje; sin embargo estos logran contribuir en la disminución de estos, por lo que es importante llevar a cabo la implementación urgente de la incineración, claro esto en combinación con los demás acciones de manejo. Y no solo en la salidas de la plantas de selección, sino también en las demás partes del sistema (principalmente estaciones de transferencia), ya que solo así se pueden llegar a reducir las cantidades a disponer en mayor grado.

Debido a que en la actualidad no se cuentan con los recursos financieros suficientes, es muy importante empezar a buscar mecanismos de financiamiento. Las empresas privadas pueden ayudar a contribuir con el objetivo buscado, es momento de reconocer que no se puede avanzar sólo con recursos públicos. El ser fanáticamente nacionalista puede llevar a no ver soluciones donde las hay, en donde todos los involucrados pueden tener algún beneficio.

Para la implementación de la incineración es importante lograr la cooperación de grupos que se oponen (principalmente a los desinformados), haciendo comprender que lo que realmente se busca, es un mejor bienestar para todos los habitantes, y que debido a la situación actual que se presenta en la ciudad, por no tener más

espacio disponible para la disposición de residuos, la incineración se presenta como una de las mejores acciones a seguir.

El oponerse a una solución también debería de responsabilizarse, por los efectos que pueden sufrirse si no se aplica dicha acción. Por lo que cada acción a seguir debe de demostrarse con bases sólidas la conveniencia o no de seguirla. Así como se demuestra la conveniencia por parte de los que buscan soluciones, es importante que los grupos que se muestran en contra, también argumenten su posición con bases firmes y no solo el simple hecho de oponerse, cuando ya hay análisis que respaldan dicha acción.

El resultado a que se llegó a aquí, es un punto de vista, en la que se observaron las principales interrelaciones del manejo de residuos sólidos, y se trato de ser lo más objetivo; sin embargo, en la implementación de la acción, debe de analizarse con mayor profundidad, ya que en la ubicación de una planta de incineración se presentarán condiciones específicas que dependerán de las condiciones del lugar (disponibilidad de terreno, distancias de las plantas de selección, accesos viales, distancias al sitio de disposición, requerimiento de agua y forma de distribuir la energía eléctrica generada), ya que estos en gran medida influirán en el costo de proyecto, también pueden aprovecharse las construcciones mencionadas de incineración, en la que se requeriría cambiar los equipos de incineración.

Para el análisis de los proyectos de incineración, no solo deberían de incluirse a los profesiones directamente involucrados, si no también a los que defienden otra postura, a modo de analizar un problema desde varios aspectos, ya que no todos tienen la misma visión sobre un problema, claro, esto comprendiendo de antemano que no se pueden optimizar todos los aspectos de la solución a un problema, ya que sólo así se podrán encontrar soluciones satisficentes para todos desde un punto de vista mejor, y así lograr llegar a una implantación de de la acción con el apoyo de la mayoría (por no decir de todos, ya que siempre habrá grupos aislados con ciertos intereses particulares que se opondrán al beneficio de las mayorías).

Referencias:

Ackoff L., Russell, (1974); Redesigning the future; by John Wiley & Sons, Inc. New York.

Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, 1999); El estudio sobre el manejo de residuos sólidos de la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos. México.

Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana de la Salud, Guido Acurio, Rossin, Texeira y Zepeda, 1998); Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe; 2da. Edición, Washington, D.C.

Camacho R., Irene, (2003); Análisis costo-beneficio ambiental de la incineración de residuos sólidos municipales de la ciudad de México; Tesis: DEPMI, UNAM.

Cárdenas, Miguel, (1978); El enfoque de sistemas; editorial Limusa, México.

Churchman, C. West, (1973); El enfoque de sistemas; editorial Diana, México.

Consejo Nacional de Población (CONAPO), 2002; Proyecciones de la Población de México, 2000-2030, Distrito Federal; diciembre, Colección Prospectiva Demográfica.

Covey R., Stephen, (1996); Los 7 hábitos de la gente altamente efectiva; editorial Paidós Mexicana.

Deffis C. Armando (1994); La basura es la solución; Árbol editorial, México Distrito Federal.

Dirección General de Servicios Urbanos (DGSU), 1998; Manejo y control de residuos sólidos en la Ciudad de México; Gobierno del Distrito Federal.

Fuentes Zenón, A. y Sánchez Guerrero de las Nieves, G, (1990); Metodología de la planeación normativa, Cuaderno No. 1 de planeación y sistemas de sistemas, DEPFI UNAM.

Jiménez Peña A., (1999); Marco legal aplicable a los residuos sólidos y la restauración de suelos contaminados en México. Trabajo presentado en II Seminario internacional sobre residuos sólidos y restauración de suelos contaminados. INE-JICA. 1999

Van Gigch, John P., (1981); Teoría general de sistemas aplicada; Trillas 1981, México.

Instituto Nacional de Ecología, (INE, 1999); Artículo transferencia en diagnóstico; México D.F.

Ochoa, R., Felipe, (1983); El método de los sistemas; 2ª ed., DEPFI UNAM.

Sánchez, G., Gabriel, (2003); Técnicas Participativas para la planeación; DEPFI, UNAM.

Sancho y Cervera J., Rosiles G., (1999); Situación Actual del Manejo Integral de los Residuos Sólidos en México, SESDESOL.

Sedue, (1998); Políticas y estrategias en el manejo de los residuos municipales e industriales en México; México.

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

SEMARNAT, (2001); Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos; México.

Suárez Rocha, Javier; (1989); El modelo del diamante; Cuaderno No. 5 de planeación y sistemas; DEPFI UNAM.

Tammemagi, Hans, (1999), The waste crisis; Oxford University Press Inc. Estados Unidos de America.

Tchobanoglous, G., Theisen, H. y Vigil, S., (1994); Gestión integral de residuos sólidos municipales; Volúmenes I / II; McGraw-Hill, España.

Toledo, W., (2001); Planeación del diseño de un sistema integral para el manejo separado de residuos sólidos municipales; Tesis: DEPFI, UNAM.

Rivera, Marisa (2003); Noticieros televisa Ciudad de México, México, 26 mayo.

ANEXO A

Cuestionario para identificar problemas

y

proyecciones de generación
de residuos sólidos

CUESTIONARIO PARA IDENTIFICAR PROBLEMAS EN EL SISTEMA

1. ¿Conoce las partes que conforman el sistema de manejo de residuos sólidos?
2. ¿En que qué parte del sistema o área de manejo de residuos sólidos labora usted?
3. ¿De dónde provienen y hacia dónde se mandan los residuos sólidos, que maneja su área?
4. ¿De que manera se detectan el tipo de residuos que se manejan en su área?
5. ¿De la parte del sistema en que labora, que tipo de problemas se presentan con mayor frecuencia?
6. ¿Existe algún método o técnica para identificar los problemas?
7. ¿Los problemas identificados se resuelven con prontitud, o en su caso por que creé usted que no se resuelven?
8. De las otras partes del sistema de manejo de residuos sólidos ¿Dónde creé que presentan mayores problemas que afectan el desempeño de su área?
9. ¿Cuáles son lo problemas que con mayor frecuencia se presentan en esas otras áreas?
10. ¿Cómo afectan al área en que usted labora?
11. ¿A qué cree que se deba que no se han resuelto los problemas identificados en esas áreas?
12. De los problemas detectados, ¿Cuáles cree usted que requieran de atención inmediata?

PROYECCIÓN DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO FEDERAL

Año	Residuos sólidos	Población
1990	4,011,350 toneladas	8,235,744 habitantes, INEGI 2002
2000	4,325,250 toneladas*	8,605,239 habitantes, INEGI 2002

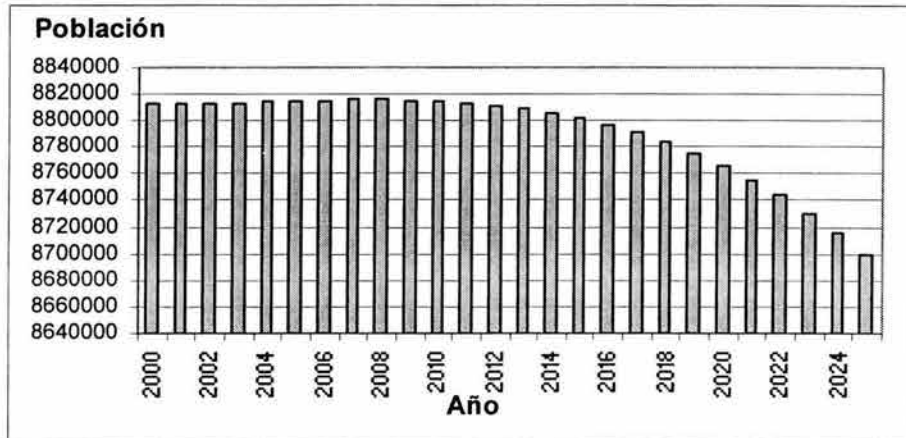
*Esta cantidad registrada en el año 2000 incluye parte de la generación del Estado de México, sin embargo en la actualidad el Distrito Federal solo, ya logró rebasar esta cantidad.

Aunque se cuentan con los datos históricos de población y generación; para la proyección de residuos se utilizaron las proyecciones de población del Consejo Nacional de Población para el Distrito Federal 2000-2030 (CONAPO 2002), y para el incremento de generación per-cápita de residuos se usó una tasa de 1.75% anual (proyección lineal), que es el promedio entre lo recomendado de 0.5% y 3% (Guido Acurio, 1998) para incremento per-cápita, la generación per-cápita base utilizada es de 1.333 kg/hab/día (JICA, 1999) por lo que al contarse solo con estos datos, la proyección se realizará suponiendo que se está en al año 2000. Por lo que la generación total de residuos sólidos se calculará multiplicando la generación per-cápita por la población, se muestra este resultado en la columna F. También se muestran las cantidades a disponer en la columna I*.

A	B	$C=1.333(1+0.0175n)$	$D=365xC$	E	$F=D \times E$	G	H	$I=F-G-H$
n	Año	1.75% Generación per-cápita (kg/hab/día)	Tasa de generación anual Kg/hab/año	Población Distrito Federal Conapo, 2002	Proyección de generación total de residuos D.F. (Ton/año)	Cantidad reciclada (ton/año)*1	Com- postaje ton/año *1	Cantidad total a disponer*1 (ton/año)
0	2000	1.333	486.545	8,813,141	4,287,990			
1	2001	1.356	495.060	8,812,401	4,362,663			
2	2002	1.380	503.574	8,812,585	4,437,789			
3	2003	1.403	512.089	8,813,276	4,513,178	749,665	18,250	3,745,263
4	2004	1.426	520.603	8,814,123	4,588,660	749,665	18,250	3,820,745
5	2005	1.450	529.118	8,814,797	4,664,065	749,665	18,250	3,896,150
6	2006	1.473	537.632	8,815,298	4,739,388	749,665	18,250	3,971,473
7	2007	1.496	546.147	8,815,694	4,814,663	749,665	18,250	4,046,748
8	2008	1.520	554.661	8,815,821	4,889,795	749,665	18,250	4,121,880
9	2009	1.543	563.176	8,815,587	4,964,726	749,665	18,250	4,196,811
10	2010	1.566	571.690	8,814,867	5,039,375	749,665	18,250	4,271,460
11	2011	1.590	580.205	8,813,585	5,113,685	749,665	18,250	4,345,770
12	2012	1.613	588.719	8,811,688	5,187,612	749,665	18,250	4,419,697
13	2013	1.636	597.234	8,809,103	5,261,096	749,665	18,250	4,493,181
14	2014	1.660	605.749	8,805,763	5,334,078	749,665	18,250	4,566,163
15	2015	1.683	614.263	8,801,630	5,406,516	749,665	18,250	4,638,601
16	2016	1.706	622.778	8,796,633	5,478,346	749,665	18,250	4,710,431
17	2017	1.730	631.292	8,790,692	5,549,495	749,665	18,250	4,781,580
18	2018	1.753	639.807	8,783,737	5,619,894	749,665	18,250	4,851,979
19	2019	1.776	648.321	8,775,679	5,689,459	749,665	18,250	4,921,544
20	2020	1.800	656.836	8,766,429	5,758,104	749,665	18,250	4,990,189
21	2021	1.823	665.350	8,755,901	5,825,741	749,665	18,250	5,057,826
22	2022	1.846	673.865	8,744,035	5,892,298	749,665	18,250	5,124,383
23	2023	1.870	682.379	8,730,799	5,957,717	749,665	18,250	5,189,802
24	2024	1.893	690.894	8,716,164	6,021,945	749,665	18,250	5,254,030
25	2025	1.916	699.408	8,700,021	6,084,868	749,665	18,250	5,316,953

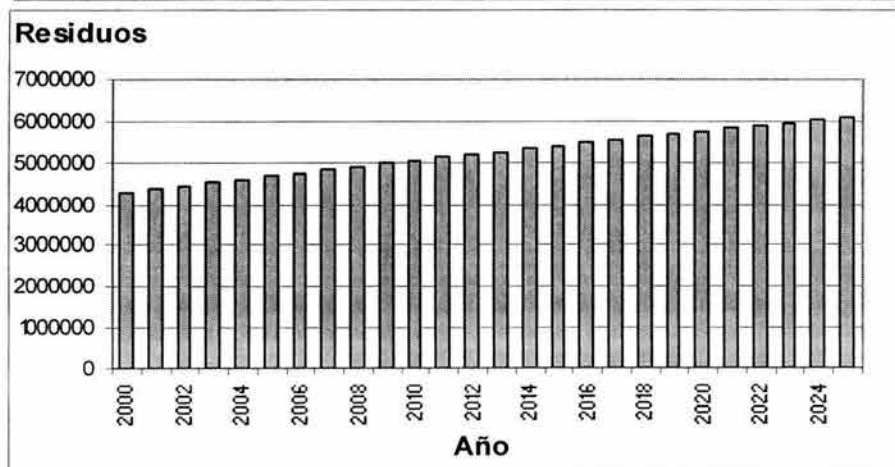
*1. Sin considerar algún cambio en el sistema.

Figura 4.1. Proyección de población del D.F.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CONAPO.

Gráfica 4.2. Proyección de residuos sólidos (toneladas)



Fuente: Elaboración propia.

CANTIDADES A DISPONER CON TRATAMIENTO DE INCINERACIÓN, SIN CONSIDERAR CAMBIOS EN LOS DEMÁS SUBSISTEMAS

A	B	C	D	E	F = 40.96% x C	G	H = F - G	I = 15% x H	J = C-D-E-G-0.85H
n	Año	Generación total de residuos (Ton/Año)	Cantidad reciclada en la prepepena (Ton/año) *1	Cantidad actual compostada (ton)	Cantidad de residuos que entra a las plantas de selección*2	Cantidad reciclada en plantas (ton)	Cantidad de residuos que sale de las plantas de selección para incinerar *2	Salida de la planta de incineración 15% de lo que entra (ton)	Cantidad a disponer con tratamiento de incineración en plantas (ton)
0	2000	4,287,990							
1	2001	4,362,663							
2	2002	4,437,789							
3	2003	4,513,178	650,750	18,250	1,848,598	98,915	1,749,683	262,452	2,258,033
4	2004	4,588,660	650,750	18,250	1,879,515	98,915	1,780,600	267,090	2,307,235
5	2005	4,664,065	650,750	18,250	1,910,401	98,915	1,811,486	271,723	2,356,387
6	2006	4,739,388	650,750	18,250	1,941,253	98,915	1,842,338	276,351	2,405,486
7	2007	4,814,663	650,750	18,250	1,972,086	98,915	1,873,171	280,976	2,454,553
8	2008	4,889,795	650,750	18,250	2,002,860	98,915	1,903,945	285,592	2,503,527
9	2009	4,964,726	650,750	18,250	2,033,552	98,915	1,934,637	290,195	2,552,369
10	2010	5,039,375	650,750	18,250	2,064,128	98,915	1,965,213	294,782	2,601,029
11	2011	5,113,685	650,750	18,250	2,094,566	98,915	1,995,651	299,348	2,649,467
12	2012	5,187,612	650,750	18,250	2,124,846	98,915	2,025,931	303,890	2,697,656
13	2013	5,261,096	650,750	18,250	2,154,945	98,915	2,056,030	308,404	2,745,555
14	2014	5,334,078	650,750	18,250	2,184,838	98,915	2,085,923	312,888	2,793,128
15	2015	5,406,516	650,750	18,250	2,214,509	98,915	2,115,594	317,339	2,840,346
16	2016	5,478,346	650,750	18,250	2,243,931	98,915	2,145,016	321,752	2,887,168
17	2017	5,549,495	650,750	18,250	2,273,073	98,915	2,174,158	326,124	2,933,545
18	2018	5,619,894	650,750	18,250	2,301,908	98,915	2,202,993	330,449	2,979,434
19	2019	5,689,459	650,750	18,250	2,330,402	98,915	2,231,487	334,723	3,024,780
20	2020	5,758,104	650,750	18,250	2,358,519	98,915	2,259,604	338,941	3,069,525
21	2021	5,825,741	650,750	18,250	2,386,224	98,915	2,287,309	343,096	3,113,614
22	2022	5,892,298	650,750	18,250	2,413,485	98,915	2,314,570	347,186	3,156,998
23	2023	5,957,717	650,750	18,250	2,440,281	98,915	2,341,366	351,205	3,199,641
24	2024	6,021,945	650,750	18,250	2,466,588	98,915	2,367,673	355,151	3,241,507
25	2025	6,084,868	650,750	18,250	2,492,362	98,915	2,393,447	359,017	3,282,523

*1. Suponiendo que se conservara el mismo nivel de reciclaje, informal 650,750 ton/año (14.42%).

*2. Suponiendo que se conservaran las mismas proporciones actuales de los flujos que entra en las plantas, donde es del 40.96% y se recuperara la misma cantidad que la actual en plantas o sea 98,915 ton/año

CANTIDADES A DISPONER CON TRATAMIENTO DE INCINERACIÓN, CONSIDERANDO INCREMENTO DE RECUPERACIÓN ANUAL DEL 1% DEL TOTAL EN PLANTAS DE SELECCIÓN

A	B	C	D	E	F=40.96%xC	G *3	H=C x G	I = F - H	J = 15% x I	J=C-D-E-H-0.85xI	
n	Año	Generación total de residuos (Ton/Año)	Cantidad reciclada en la prepepna (Ton/año) *1	Porcentaje reciclado prepepna	Cantidad actual com-postada (ton)	Cantidad de residuos que entra a las plantas de selección*2	Aumento del 1% anual de reciclaje en plantas a partir del 2003	Cantidad reciclada en plantas (ton)	Cantidad de residuos que sale de las plantas de selección para incinerar *2	Salida de la planta de incineración 15% de lo que entra (ton)	Cantidad a disponer con tratamiento de incineración en plantas (ton)
0	2000	4,287,990									
1	2001	4,362,663									
2	2002	4,437,789									
3	2003	4,513,178	650,750	14.42%	18,250	1,848,598	2.19%	98,915	1,749,683	262,452	2,258,033
4	2004	4,588,660	650,750	14.18%	18,250	1,879,515	3.19%	146,378	1,733,137	259,971	2,300,116
5	2005	4,664,065	650,750	13.95%	18,250	1,910,401	4.19%	338,611	1,571,790	235,768	2,320,432
6	2006	4,739,388	650,750	13.73%	18,250	1,941,253	5.19%	391,473	1,549,780	232,467	2,361,602
7	2007	4,814,663	650,750	13.52%	18,250	1,972,086	6.19%	445,838	1,526,248	228,937	2,402,514
8	2008	4,889,795	650,750	13.31%	18,250	2,002,860	7.19%	501,693	1,501,167	225,175	2,443,110
9	2009	4,964,726	650,750	13.11%	18,250	2,033,552	8.19%	559,028	1,474,524	221,179	2,483,353
10	2010	5,039,375	650,750	12.91%	18,250	2,064,128	9.19%	617,827	1,446,301	216,945	2,523,192
11	2011	5,113,685	650,750	12.73%	18,250	2,094,566	10.19%	678,075	1,416,491	212,474	2,562,593
12	2012	5,187,612	650,750	12.54%	18,250	2,124,846	11.19%	739,753	1,385,092	207,764	2,601,530
13	2013	5,261,096	650,750	12.37%	18,250	2,154,945	12.19%	802,843	1,352,102	202,815	2,639,966
14	2014	5,334,078	650,750	12.20%	18,250	2,184,838	13.19%	867,321	1,317,517	197,628	2,677,867
15	2015	5,406,516	650,750	12.04%	18,250	2,214,509	14.19%	933,165	1,281,344	192,202	2,715,209
16	2016	5,478,346	650,750	11.88%	18,250	2,243,931	15.19%	1,000,346	1,243,585	186,538	2,751,953
17	2017	5,549,495	650,750	11.73%	18,250	2,273,073	16.19%	1,068,833	1,204,240	180,636	2,788,058
18	2018	5,619,894	650,750	11.58%	18,250	2,301,908	17.19%	1,138,590	1,163,318	174,498	2,823,483
19	2019	5,689,459	650,750	11.44%	18,250	2,330,402	18.19%	1,209,579	1,120,823	168,124	2,858,180
20	2020	5,758,104	650,750	11.30%	18,250	2,358,519	19.19%	1,281,754	1,076,765	161,515	2,892,099
21	2021	5,825,741	650,750	11.17%	18,250	2,386,224	20.19%	1,355,067	1,031,156	154,673	2,925,191
22	2022	5,892,298	650,750	11.04%	18,250	2,413,485	21.19%	1,429,471	984,014	147,602	2,957,415
23	2023	5,957,717	650,750	10.92%	18,250	2,440,281	22.19%	1,504,919	935,362	140,304	2,988,740
24	2024	6,021,945	650,750	10.81%	18,250	2,466,588	23.19%	1,581,363	885,226	132,784	3,019,140
25	2025	6,084,868	650,750	10.69%	18,250	2,492,362	24.19%	1,658,735	833,627	125,044	3,048,550

*1. Suponiendo que se conservara el mismo nivel de reciclaje, informal (650,750 ton).

*2. Suponiendo que se conservaran las mismas proporciones actuales de los flujos que entra en las plantas, donde es del 40.96% y se recuperara la misma cantidad que la actual en plantas o sea 98 915 ton.

*3. $G = 2.19\% \cdot (n-3) / 100$.

ANEXO B

Cálculo del poder calorífico,
normatividad de emisiones para la
Ciudad de México

y

tecnología de incineración

CÁLCULO DEL PODER CALORÍFICO

Composición en las salidas de las plantas de selección					Cálculo del poder calorífico		
No.	Subproductos	Bordo Poniente	San Juan de Aragón	Santa Catarina	Promedio de las tres plantas %	Poder calorífico de los residuos (Kcal/Kg)	Poder calorífico total Kcal/Kg
1	Algodón	0.08	0.26	0.02	0.12	4167	5.00
2	Cartón	5.54	6.54	5.60	5.89	3889	229.19
3	Cuero	0.92	0.43	0.73	0.69	4167	28.89
4	Envase de cartón	1.59	1.21	1.02	1.27	6292	80.12
5	Fibra dura vegetal	0.50	0.09	0.18	0.26	1445	3.71
6	Fibra sintética	0.50	0.31	0.80	0.54	1445	7.75
7	Gasa	0.09	0.00	0.00	0.03	1467	0.44
8	Hueso	0.87	0.67	0.41	0.65	998	6.49
9	Hule	0.12	0.84	0.65	0.54	6050	32.47
10	Lata de aluminio	0.80	0.64	0.51	0.65	---	---
11	Loza y cerámica	0.29	0.26	0.14	0.23	---	---
12	Madera	2.14	3.23	3.62	3.00	4444	133.17
13	Material construcción	4.47	6.13	4.70	5.10	---	---
14	Material ferroso	1.77	0.70	1.85	1.44	167	2.40
15	Material no ferroso	0.37	0.03	0.01	0.14	---	---
16	Papel bond	1.68	6.89	10.14	6.24	4431	276.35
17	Papel periódico	4.57	0.79	2.01	2.46	4431	108.85
18	Papel sanitario	5.04	3.56	1.99	3.53	3777	133.33
19	Papel desechable	4.69	4.46	5.19	4.78	4431	211.80
20	Placas radiológicas	0.04	0.00	0.01	0.02	6224	1.04
21	Plástico de película	9.11	8.30	7.67	8.36	6224	520.33
22	Plástico rígido	5.27	2.06	3.27	3.53	5419	191.47
23	Poliuretano	0.30	0.17	0.16	0.21	6224	13.07
24	Poliuretano expandido	0.19	1.02	2.22	1.14	6224	71.16
25	Residuo alimenticio	13.22	12.75	13.30	13.09	998	130.64
26	Residuo de jardinería	17.31	6.39	8.23	10.64	1445	153.80
27	Toallas sanitarias	0.29	0.02	0.00	0.10	4167	4.31
28	Trapo	3.98	4.79	5.29	4.69	4167	195.29
29	Vendas	0.10	0.00	0.00	0.03	4167	1.39
30	Vidrio de color	1.30	0.55	0.48	0.78	33	0.26
31	Vidrio transparente	0.62	0.69	1.53	0.95	33	0.31
32	Residuos finos	3.81	7.37	7.69	6.29	1667	104.85
33	Otros	8.42	18.84	10.61	12.62	---	---
		100%	100%	100%	100.00		2,647.88

Fuente: Datos de residuos en plantas, JICA, 1999.

Determinación del poder calorífico: Elaboración propia

El poder calorífico de los RSM: 2647.88 Kcal/Kg

Como: 1 Kcal = 4.179 KJ

Por lo tanto

Poder calorífico es = 4.179 (KJ/Kcal) * 2 647.88 (Kcal/Kg) = 11,065.49 KJ/Kg

NORMATIVIDAD DE EMISIONES DE INCINERACIÓN PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

Límites máximos permisibles de emisiones para instalaciones de incineración de residuos

PROY-NOM-098-ECOL-2000, aprobada el día 8 de febrero del 2000 y publicada el día 8 de septiembre en el diario oficial de la federación.

CONTAMINANTE (mg/m3)	LIMITE DE EMISIÓN	FRECUENCIA DE MEDICIÓN	NORMA QUE APLICA O METODO
CO	63	CONTINUA	INFRARROJO NO DISPERSIVO
HCL	15	SEMESTRAL	NMX-AA-070-1980
NOx	300	SEMESTRAL	QUIMILUNISCENCIA
SOx	80	SEMESTRAL	NMX-AA-55-1979
Partículas	50	SEMESTRAL	NMX-AA-10-1974
Arsénico, selenio, cobalto, níquel, manganeso, estaño	0.7*	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
Cadmio	0.07	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
Plomo, cromo total, cobre, zinc	0.7*	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
Mercurio	0.07	SEMESTRAL	METODO CENICA-MEPE-05
Dioxinas y furanos eqt (ng/m3)	0.5	SEMESTRAL	METODO CENICA-DYF-05

Todos los valores están referidos a condiciones estándar (1 atmósfera, base seca 25 °C y 7% de O₂), de acuerdo a la NOM-085-ECOL-1994.

* Suma total de metales pesados.



Waste Incineration Technology

Why incineration ?

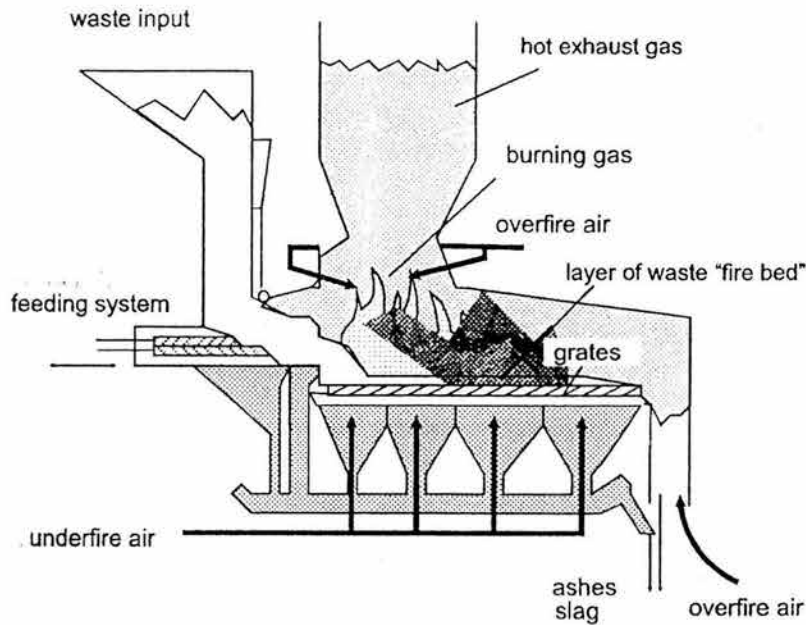


Advantages

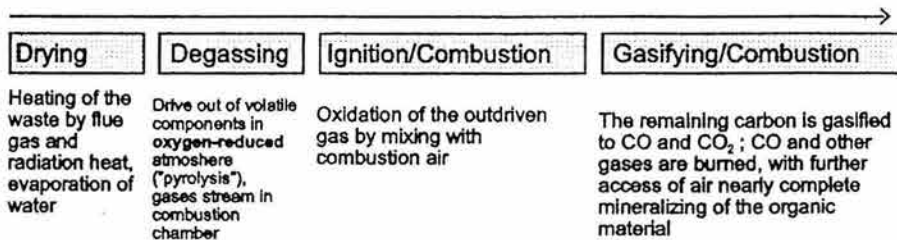
- Technology is derived from power plant technology,
- best available technology
- reliable & experienced technology
- available on the world market,
- modular system - adaptable to real local conditions
- control, maintenance, repair are well developed
- high efficiency
- several 1000 plants are in operation worldwide

Disadvantages

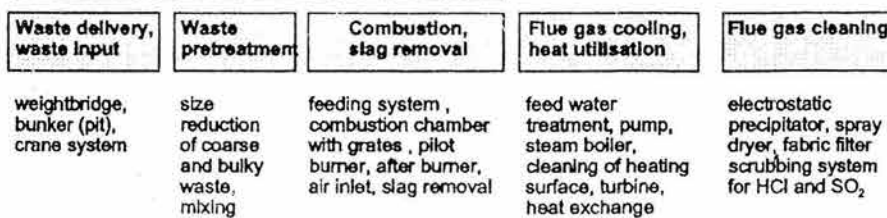
- Still high investment and operation costs
(app. 0,5 Mil. \$ per 1000 t annual capacity)
- expensive gas purification
- week partial load behaviour
- minimum capacity for economic operation appr.
30,000 ... 50,000 t/a

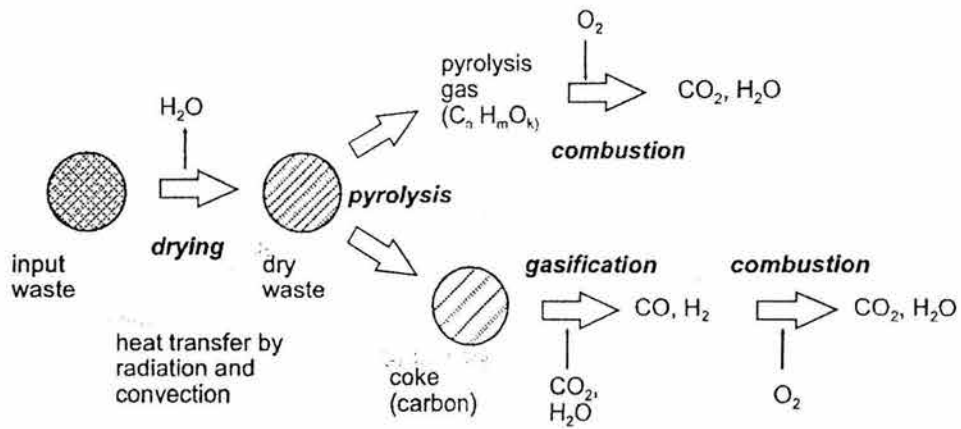


Waste incineration - main processes:



Main components of waste incineration plants:

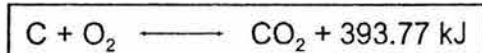




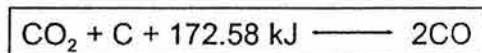
Reactions of Carbon



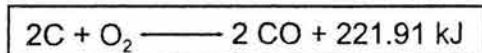
Oxidation of Carbon



$T_{max,theor} \approx 1350 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{max,real} \approx 1200 \text{ }^\circ\text{C}$



— "Boudouard" - Reaction



"Boudouard" - Equilibrium

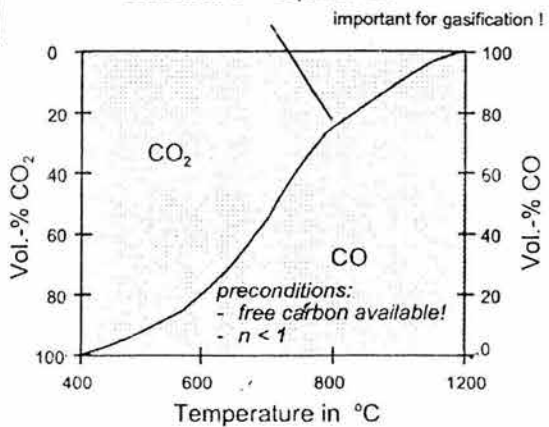
"Boudouard" - Equilibrium only for:
- $n < 1$
- presence of free carbon

$T \uparrow \rightarrow CO \uparrow$
 $p \downarrow \rightarrow CO \uparrow$

For waste, the existence of free carbon is not guaranteed. Thus, the composition of the gas can be empirically determined by:

$$CO_2 = 1.8667 * (2n - 1)$$

$$CO = 1.8667 * 2 (1 - n)$$





$$n = \frac{\text{oxygen provided to a combustion process}}{\text{minimum oxygen demand for complete oxidation}}$$

from stoichiometric equations

$n < 1$: "understoichiometric operation", "reducing atmosphere", "anaerobic conditions" etc
no or incomplete oxidation, thermal decomposition of the materials

$n = 1$: "stoichiometric operation", just complete oxidation, but critical operation condition because of problematic process control. Lowest oxygen demand.

$n > 1$: "overstoichiometric operation", complete oxidation, safe operation, but lower temperature, higher investment and operation costs.

Air or pure oxygen for thermal processing of waste ?



Air consists of appr. 20 % oxygen and 80 % nitrogen.
Nitrogen does not (or little) participate in the oxidation process.

effects on the temperature:

During combustion, the nitrogen consumes heat energy because of its heat capacity. Thus, the temperature will be lower than in incineration using pure oxygen (compare with gas welding!).

The more air, the lower the combustion temperature for $n > 1$!

effects on apparatus design

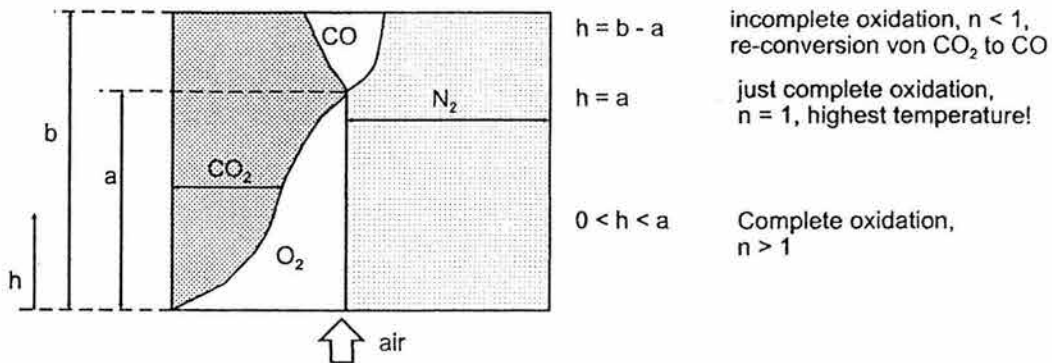
Using air, the inert nitrogen "load" increases the volumetric flow rates of the exhaust gas. Therefore, the gas purification system has to manage the higher flow rates (large cross areas of the scrubbers, filters etc., higher investment and operation costs!

effects on composition of the exhaust gas:

The exhaust gas consists of more than 70 % of nitrogen. If the process is a gasification process ($n < 1$) and aims at the production of fuel or synthesis gas, the nitrogen reduces the quality of the product!

Consequence:

For high temperature incineration or for gasification, the application of pure oxygen is recommend. The higher price for oxygen is compensated by lower investment costs and operation costs for the gas cleaning system.. For MSW incineration, air can be applied favourably.



Consequence:

The Temperatur profile can be controlled by the air ratio number.

High air flow rates ("more air"), $n > 1$, and low air flow rates, $n < 1$, cools down the fire bed

recommended operation

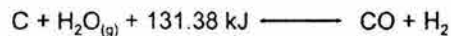
At understoichiometric conditions $n < 1$ to avoid overheating and melting of the solids!
In practise: $n = 0,8 \dots 0,99$

Reactions of other constituents (1)



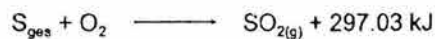
Water

- **thermal decomposition** of water within the fire bed "consumes" energy, thus, it reduces the temperature (slightly),
- The formed hydrogen and oxygen react in the gaseous phase above the fire bed - recovery of the energy!
- **reduction of water** by carbon delivers "water gas":



Sulfur

- Municipal Solid Waste contains app. 0.2 - 0.7 % sulfur
- oxidation of sulfur starts at 250 °C
- maximum flame temperatures up to 1,500 °C !



For the removal of the sulfurdioxide, CaO or Dolomit (CaCO₃ + MgO) can be added directly to the fire bed.



Nitrogen

Reactions of the
- "fuel"-nitrogen into "fuel nitrogen oxides" and of the
- "air"-nitrogen into "thermal nitrogen oxides"
are possible.

Thermal nitrogen oxides:

mainly formed at $T > 1.400\text{ }^\circ\text{C}$, no formation at temperatures $< 800 \dots 950\text{ }^\circ\text{C}$:



*Other nitrogen oxides (NO_x)
are created acc. to the
thermodynamical and
stoichiometrical conditions*

Fuel nitrogen oxides:

Reactions of N with C and O, CN-compounds often formed by thermal decomposition of organic matter



*NO_x emissions
- cause photo-smog
- reduce ability of leaves for
photosynthesis
- contribute to ozone layer
destruction*

Rough estimation of air demand and flue gas generation



minimum air demand for complete oxidation

$$\dot{V}_{\text{air, min}} = 8.88 x_{\text{C}} + 26.44 x_{\text{H}} + 3.32 x_{\text{S}} - 3.33 x_{\text{O}}$$

with: - x = mass fraction of the main constituents C, H, S, O
- $\dot{V}_{\text{air, min}}$ in $\text{m}^3_{\text{N}} \text{ air} / \text{kg MSW}$

or more simplified:

$$\dot{V}_{\text{air, min}} = 0.24 * \frac{H_l + 2303}{1000}$$

H_l = lower calorific value

real air demand for complete oxidation

$$\dot{V}_{\text{air, real}} = n * \dot{V}_{\text{air, min}}$$

examples:

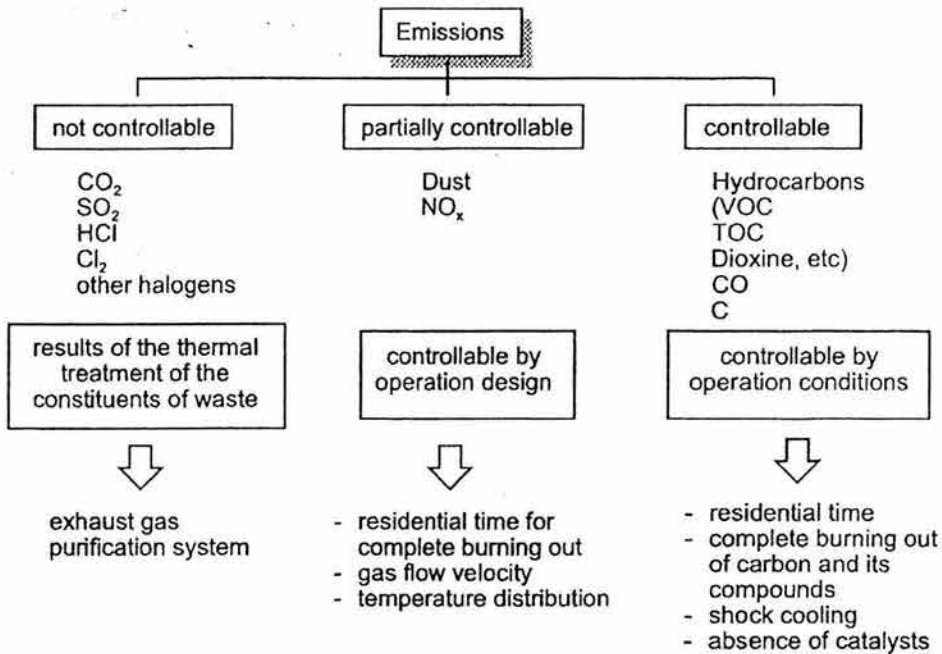
grate incineration:
 $n = 1.3 \dots 2.0$
rotary kiln: $n = 2.0 \dots 2.5$
fluidized bed incineration:
 $n = 1.1 \dots 1.7$

Flue gas generation

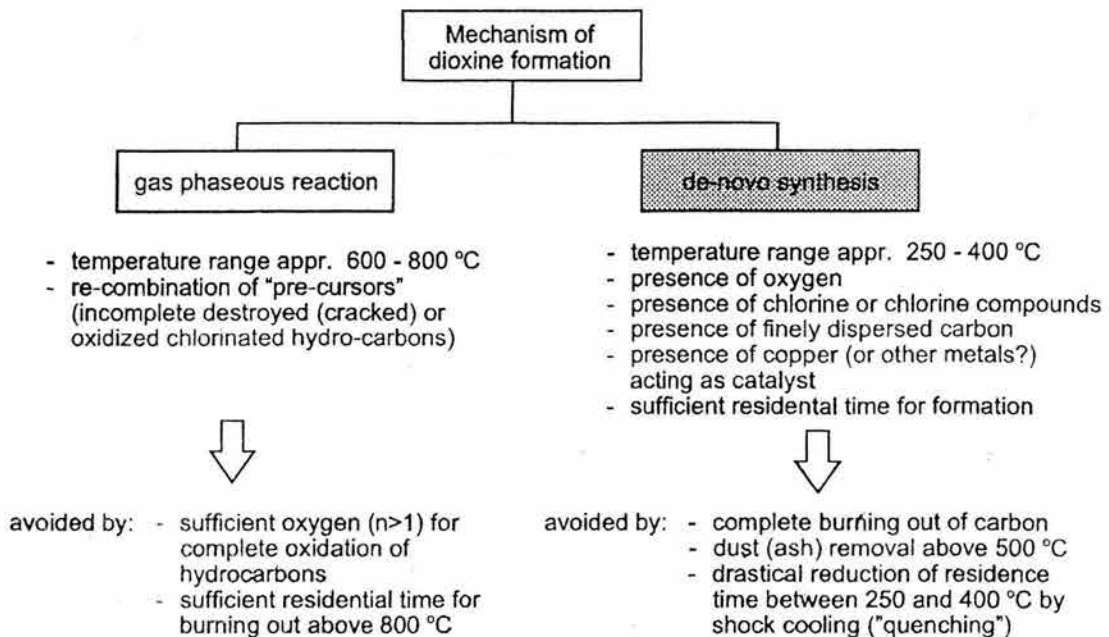
$$\dot{V}_{\text{fg}} = 1.17 + 0.22 * \frac{H_l + 2303}{1000} + (n - 1) * \dot{V}_{\text{air, min}}$$

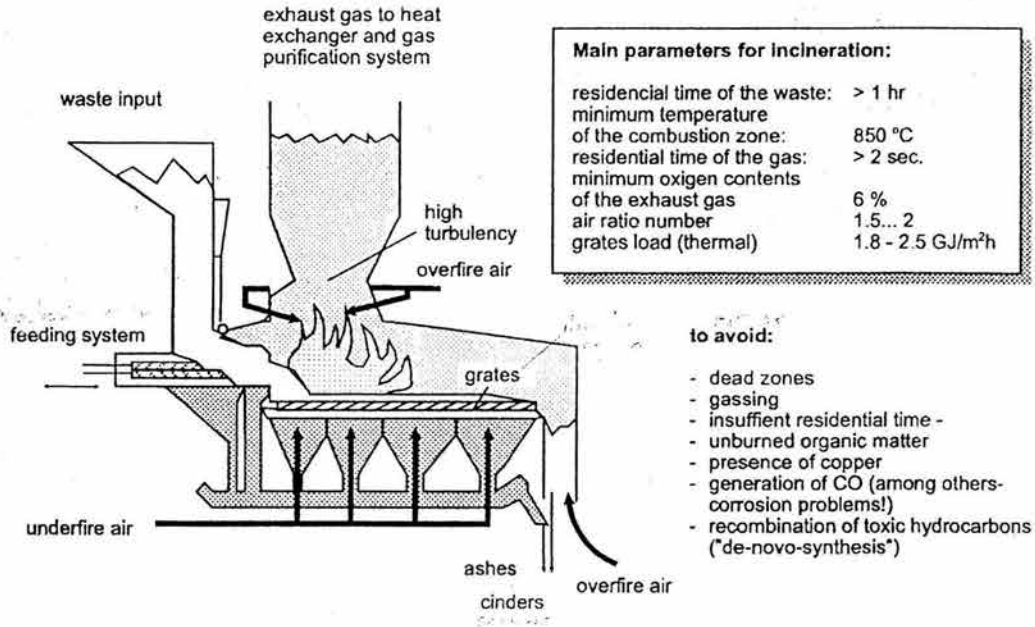
for orientation:

$H_l = 5000\text{ kJ/kg}$: $\dot{V} = 4.2 \dots 5.3\text{ m}^3_{\text{fg,n}} / \text{kg}_{\text{MSW}}$
 $H_l = 7500\text{ kJ/kg}$: $\dot{V} = 4.7 \dots 6.3\text{ m}^3_{\text{fg,n}} / \text{kg}_{\text{MSW}}$
 $H_l = 10000\text{ kJ/kg}$: $\dot{V} = 6.8 \dots 8.5\text{ m}^3_{\text{fg,n}} / \text{kg}_{\text{MSW}}$

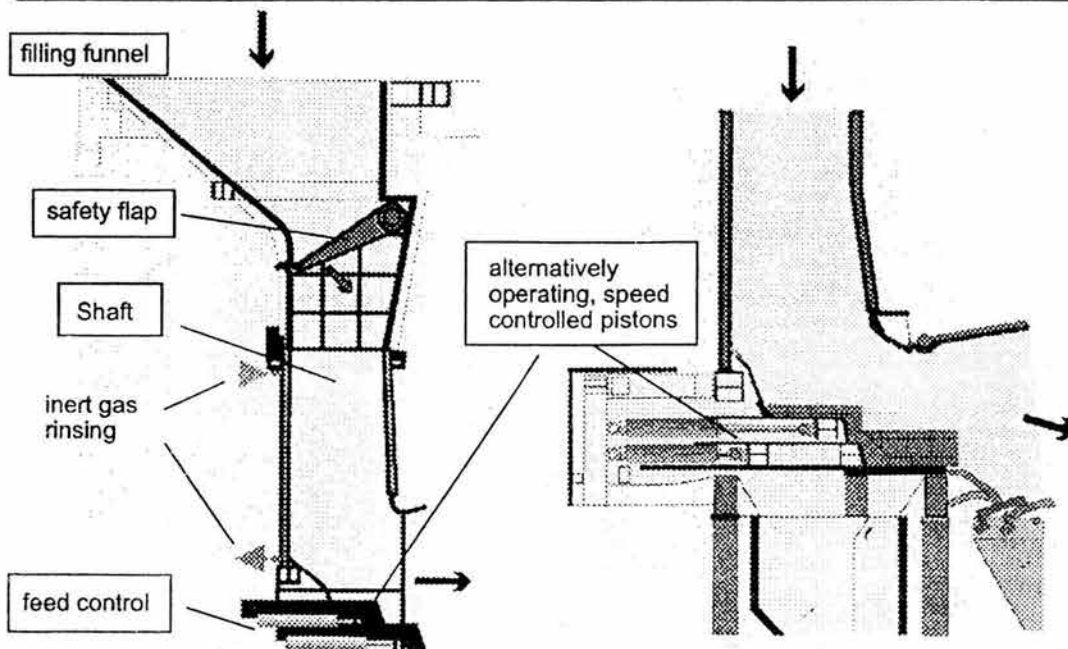


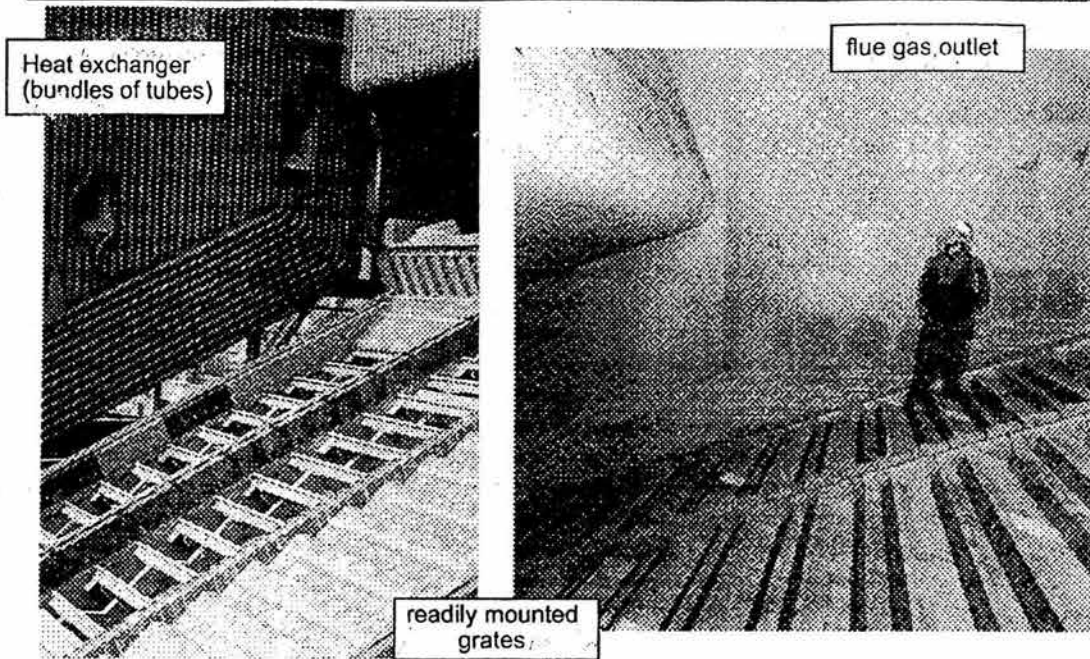
Dioxine formation and avoidance





The feeding system



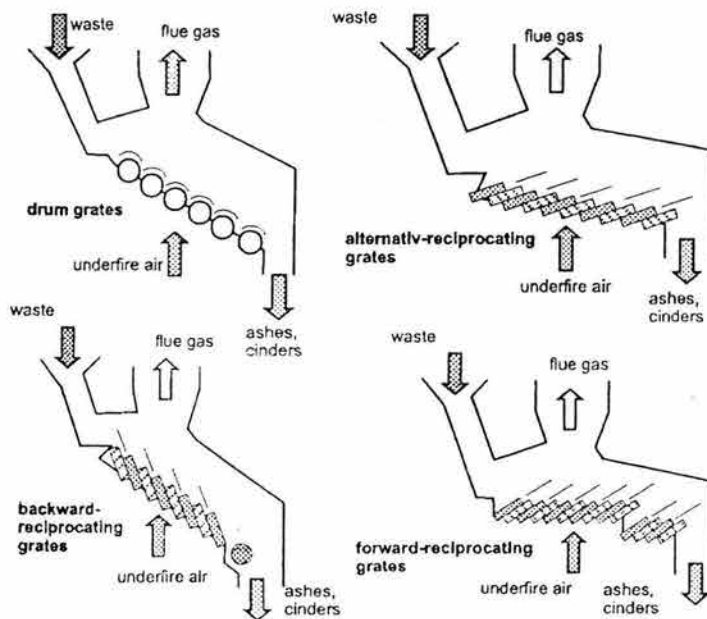


Heat exchanger (bundles of tubes)

flue gas outlet

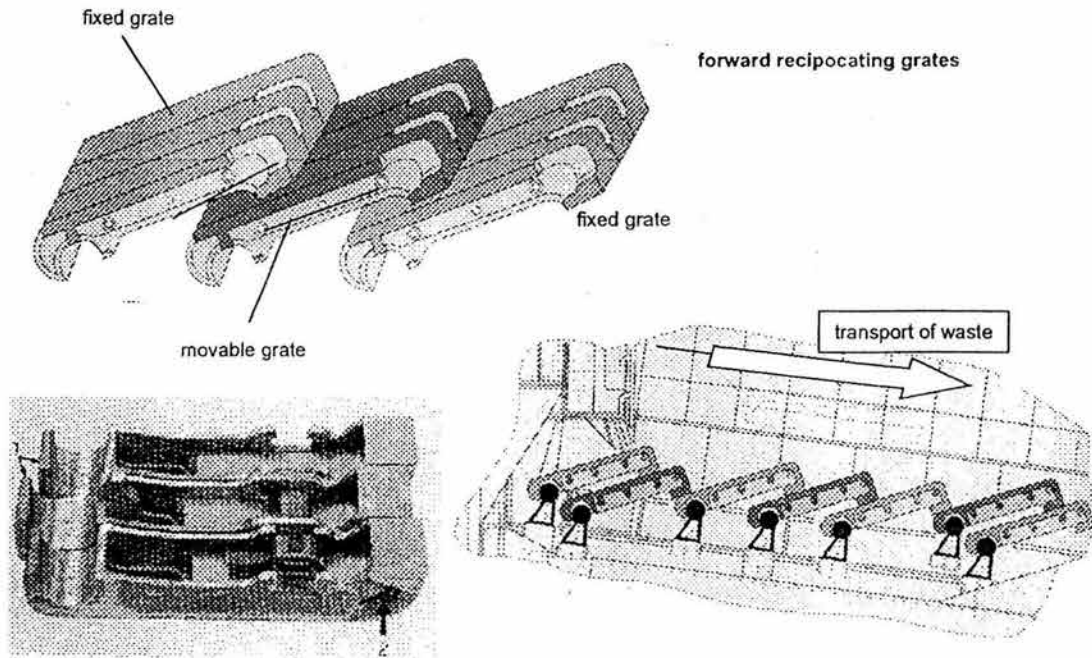
readily mounted grates

Most common types of grates



Functions of grates:

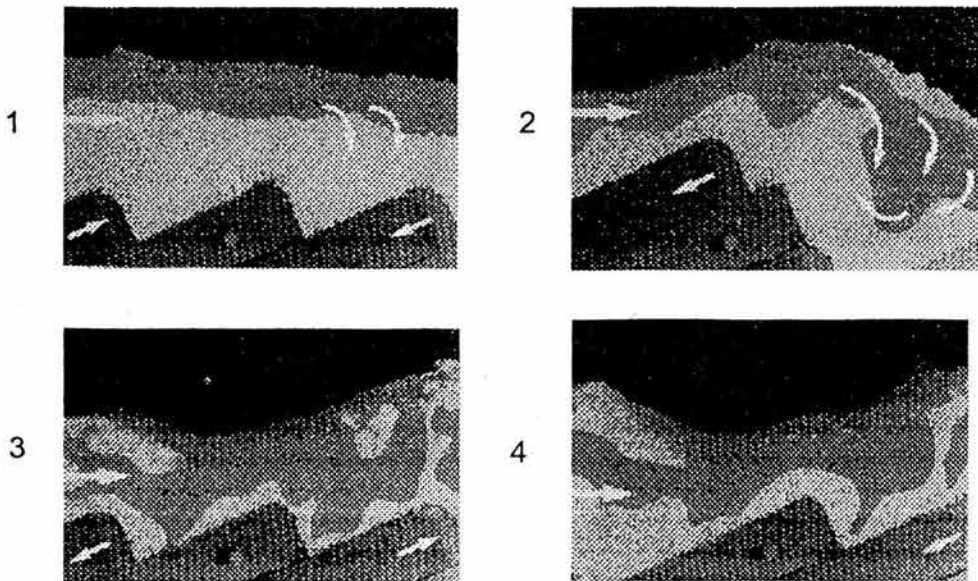
- passage of air through the grates and the waste,
- agitation of the waste,
- transportation of the waste over the grates from input to slag outlet,
- removal of fine particles of glass, ash, etc. ("siftings") through the grates,
- heat resistance,
- resistance against abrasion, corrosion, clogging, impact loads, thermal shocks,
- support of incineration control by adjustable movement of the sections of the grates

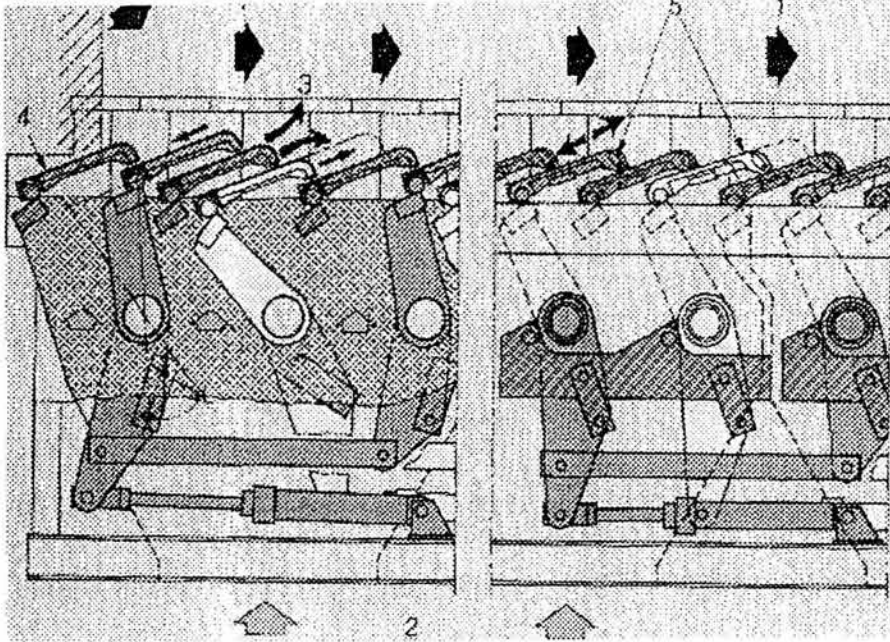


Movement of the grates, turnover / mixing of the good

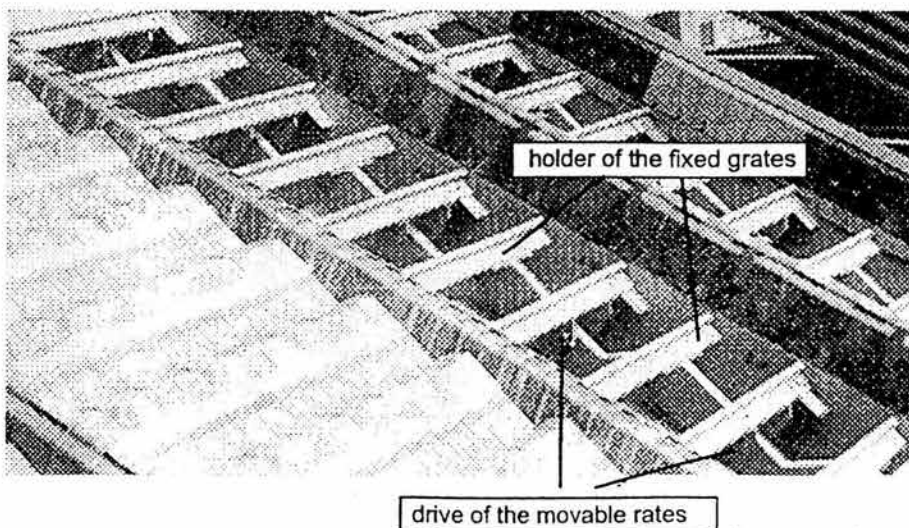


(alternative forward reciprocating grate)



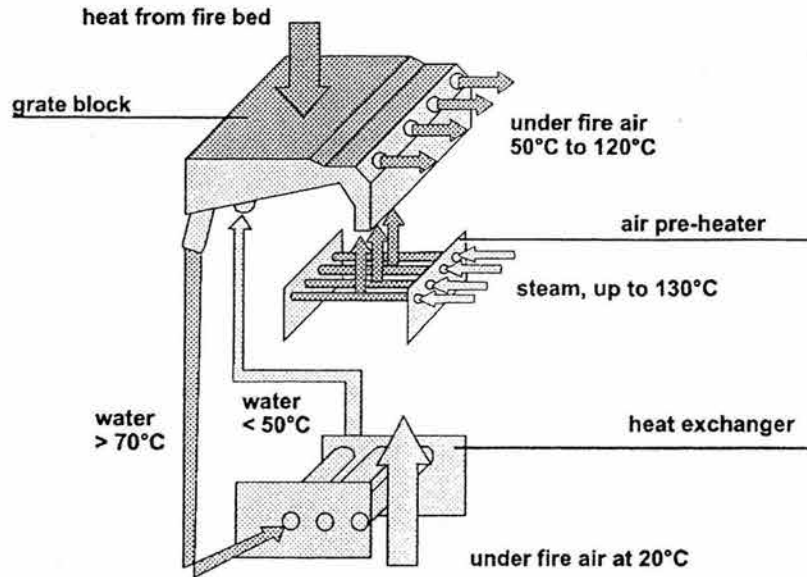


- 1 transport direction
- 2 underfire air (primary air)
- 3 air release
- 4 fixed grate
- 5 movable grate





for calorific values of the MSW above 14.000 - 15.000 kJ/kg



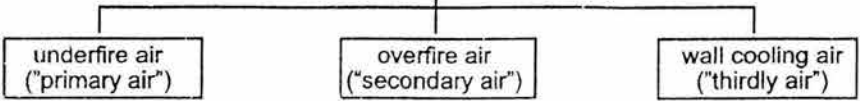
Combustion air supply



tasks of the air:

- carrier of the oxygen
- convective heat transfer (from combustion chamber to boiler)
- cooling the walls of the combustion chamber
- cooling of the grates

Types of air supply

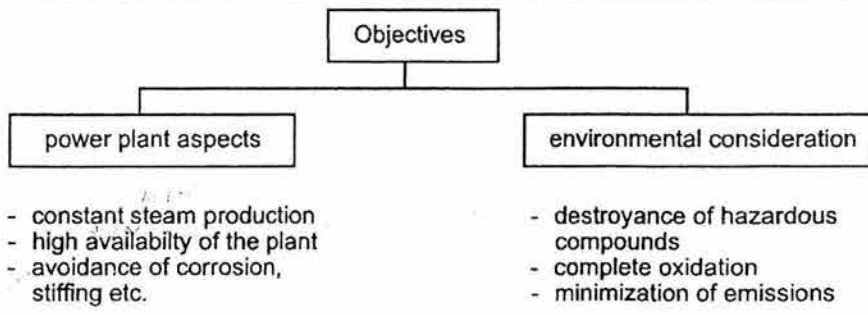
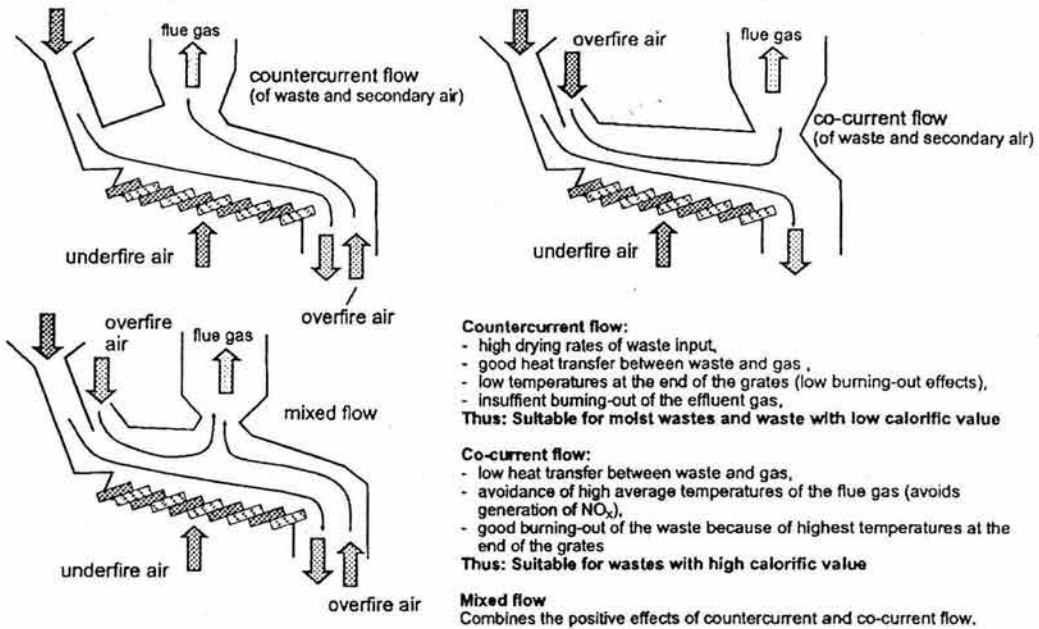


- fed through the grates
- $n < 1$
- drying, gasification
- (pyrolysis, pyrolysis gases must be completely oxidized!)
- cooling of grates
- agitation of the fuel (waste)
- responsible for burning out of the waste

- fed into the gas zone of the combustion chamber
- $n > 1$
- must be intensively mixed!
- responsible for burning out of the gas
- heat transfer by convection (and radiation)
- recirculation of exhaust air

- cooling of the walls of the incineration chamber
- avoidance of the formation of stiffened slag by the generation of a cool temperature boundary layer

mostly use of bunker air



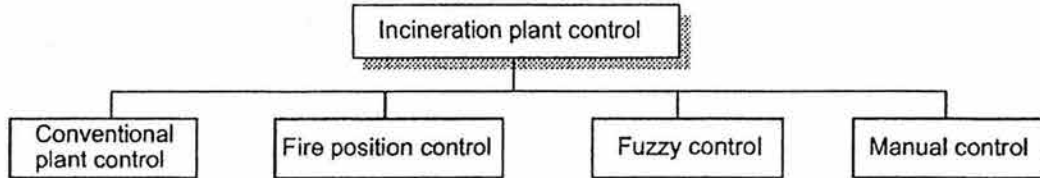
Incineration plant control is a primary measure of emission control!

- reason: Plant control has to compensate
- changing moisture contents
 - changing waste composition
 - heterogeneous character of waste

The knowledge waste composition is the most important design and control parameter!



The operation of an MSW - incineration plant is steam-controlled: The turbines for energy conversion / production require a constant steam production. Thus, the plant control aims at constant heat generation primarily.



- bases on measurement of integrative data (steam, flue gas composition, temperature),
- control of flow rates of waste and/or air

- detects the real position and the temperature distribution of the burning waste on the grate
- controls grate speed, feeding of waste

- measurement of key parameters
- control on the basis of trend analyses and a database
- bases on predicative statements (more, higher, faster etc.)

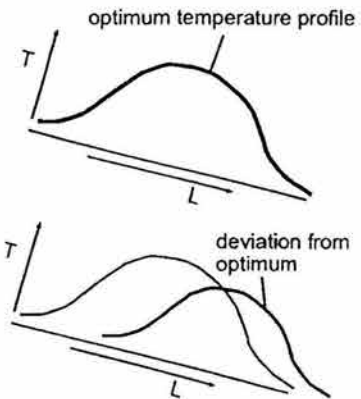
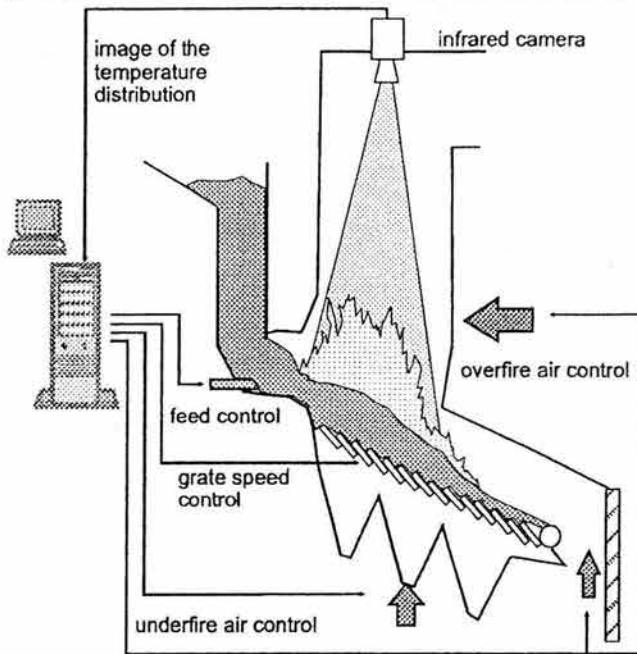
Manual control on the basis of instructions and individual experience

Conventional incineration plant control



	Waste flow control		Air flow control
<i>principle</i>	<ul style="list-style-type: none"> - air flow rate is constant - measurement of steam generation, then - control of the waste flow rate - changes of the calorific value of the waste are compensated by <ul style="list-style-type: none"> > the feeding system > speed of the grate movement 	<i>principle</i>	<ul style="list-style-type: none"> - waste input flow rate is constant (constant feeding volume of waste) - measurement of steam generation (and/or gas temperature), then - control of the combustion air flow rate
<i>advantages</i>	<p>constant flue gas flow rate, thus all gas purification equipment can be optimized (run at the optimum operational point, no oversizing necessary)</p>	<i>advantage</i>	<p>very fast control (may react within seconds!)</p>
<i>dis-advantages</i>	<ul style="list-style-type: none"> - very slow control - large deviations of the calorific value cannot be compensated 	<i>dis-advantages</i>	<ul style="list-style-type: none"> - changing flue gas generation, thus all following process stages must be flexible and oversized (with respect to the optimum operation point) - exact control is difficult because of the effects of the air supply on temperature
<i>technical requirements</i>	<ul style="list-style-type: none"> - long overall length of the grate - well-designed feeding system - section-wise grate speed control 	<i>technical requirements</i>	<ul style="list-style-type: none"> - sophisticated control units - fast acting air control systems

In modern incineration plants, both control methods are combined. Additionally, the flue gas concentrations of CO and O₂ (as key components) are measured and contribute to the plant control.



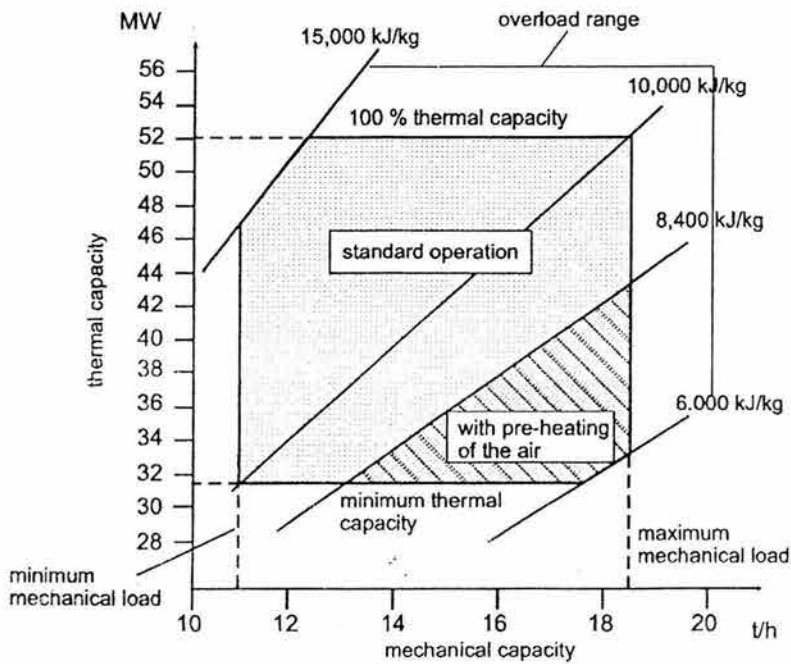
deviation:

- displaced optimum fire position
- temperature to low

possible control:

- reduce the grate speed
- increase feed
- reduce slightly overfire air

Power plot of an incineration plant (example)



Specific mechanical capacity:

$$B_{grate} = \frac{\dot{m}_{waste}}{A_{grate}}$$

common range:

$$B_{grate} = 200 \dots 900 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$$

Specific thermal capacity:

$$q_{grate} = \frac{\dot{m}_{waste} \cdot H_I}{A_{grate}}$$

recommended specific thermal capacity:

- max: 2.5 GJ/(m²·h)
- min: 1,8 GJ/(m²·h)

What are the economic consequences of this plot?