



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

EVALUACIÓN CONCEPTUAL DEL IMPACTO
AMBIENTAL DE LA GASIFICACIÓN DE RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS EN EL DISTRITO FEDERAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R A Q U Í M I C A

P R E S E N T A :

MARÍA DE LOURDES ROMANO PARDO



México D.F.

2010



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.



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Ing. José Antonio Ortiz Ramírez

VOCAL: Ing. Rodolfo Torres Barrera

SECRETARIO: Dr. Alfonso Durán Moreno

1er SUPLENTE: Ing. José Agustín Texta Mena

2do SUPLENTE: Dr. José Agustín García Reynoso

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA: 4º Piso, Torre de Ingeniería, Ciudad Universitaria

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Alfonso Durán Moreno

SUPERVISOR TÉCNICO:

M.I.A. Abril Moreno Gutiérrez

SUSTENTANTE:

María de Lourdes Romano Pardo



Agradecimientos

A mi papi, por todo el amor y todo lo que me dio, que fue tanto que no hay como agradecerle, siempre estarás conmigo papá.

A mi mamá por todo su amor, su apoyo y su gran fuerza, a mi hermana Rebeca por su genialidad, apoyo y amor. A mi hermana Martha por todo su coraje, fuerza y amor. Sé que cuento con ellas siempre.

Y a ti mi gran compañera y amiga, que siempre me ha sabido escuchar, Moofy.

A Dios por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi vida, y aunque no permitió que papi llegará físicamente conmigo, permite que siga conmigo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme una formación de gran calidad, por abrirme las puertas de nuevos horizontes y enseñarme que el mundo es mucho más grande de lo que creía.

Al Fondo Mixto CONACyT – GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL por el financiamiento del proyecto No. DF-2008-C01-94261 “OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE LA GASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL”, proyecto marco en el cual se realizó este trabajo de tesis.

A todos mis profesores por sus grandes enseñanzas, en especial al Dr. Alfonso Durán Moreno por todo su apoyo y cariño, así como al Profesor José Antonio Ortiz por todas sus enseñanzas que van más allá de lo académico. Al Profesor Oscar de Anda, al Profesor Ricardo Alfaro y al Profesor Héctor Basave por una gran amistad.

A mi gran amigo, Edgar Guzmán, porque me enseñaste a luchar y ser toda una guerrera, y a creer que no hay imposibles.

A Eumir Montes Carrasco, y a toda su familia por todo el gran amor, apoyo, y absolutamente todo lo que me has dado, sin importar nada siempre has estado ahí para mí y mi familia, gracias por enseñarme el amor sincero.

A todos mis amigos y compañeros de la facultad de química, por todos esos momentos únicos e inolvidables, tanto en los buenos como en los malos, en especial a Gris Tabla, Roberto Gallardo, Mariano Martínez, Citlali Ruíz, Isaak



Rivera, Elba Pacheco, Arturo “Bono”, Omar Segovia, Ana Lilia Jiménez, Job Reynoso, Berenice Soto, Manuel Garcés, Raúl Flores e Hiram Flores.

A todos mis amigos y grandes compañeros de la torre de ingeniería de la UNAM, por todo su amor, amistad, paciencia, tolerancia y gran apoyo Abril Moreno, Nayelli Cabrera, Jesús Rodríguez, Juan Carlos Marín, Evelin Ortiz, Samantha Mayorga, Angélica Delgado, Rocío Velez y Adriana Velasco.

Y a mis nuevos amigos y grandes compañeros de la torre de ingeniería, gracias por todo su apoyo, cariño y su gran amistad, Arnoldo Martínez, Lucía Altamirano, Armando Mata, Mónica García, Orlando Flores, Efraín Chávez, Rodolfo Rojas y Javier Velasco,

A todos mis amigos, saben cuánto los quiero y agradezco todo su apoyo, Angélica G. Perete, Verónica Tapia, Lorena Pérez, Luis Mora, Ricardo Pimentel, Yareli Torres y Dulce Álvarez por todos esos buenos y malos momentos, y jalones de orejas.



INDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMÁTICA	3
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVO GENERAL	5
OBJETIVOS PARTICULARES	5
1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL DISTRITO FEDERAL	6
1.1 Manejo de residuos sólidos en el Distrito Federal	7
1.2 Composición de RSU en el Distrito Federal.....	9
2 MARCO TEÓRICO	12
2.1 Gasificación.....	12
2.2 Impacto ambiental.....	35
3 NORMATIVIDAD DEL DISTRITO FEDERAL APLICABLE	62
3.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	63
3.2 Ordenamientos Jurídicos Federales	64
3.3 Ordenamientos Jurídicos Estatales	77
3.4 Normas Oficiales Mexicanas	94
4 EL SITIO	97
5 METODOLOGÍA	115
6 RESULTADOS	116
6.1 Evaluación del impacto ambiental para el sistema de gasificación	117
6.2 Evaluación del alcance de las emisiones del sistema de gasificación.....	141
6.3 Propuestas de alternativas de mitigación del sistema de gasificación.....	152
7 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	155
8 REFERENCIAS	160
9 ANEXOS	163
9.1 Relleno Sanitario	163
9.2 Glosario	170



INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del manejo de los residuos sólidos en el Distrito Federal	7
Figura 2. Proceso de gasificación de TwinRec Ebara	13
Figura 3. Diagrama del proceso de gasificación de Nippon Steel	15
Figura 4. Diagrama del proceso de gasificación Thermoselect.....	16
Figura 5. Diagrama del proceso de gasificación de Entech Enviromental.....	17
Figura 6. Diagrama del proceso de gasificación de Schwarze Pumpe	18
Figura 7. Diagrama del proceso de gasificación de Energos	19
Figura 8. Diagrama del proceso de gasificación de Sumitomo	20
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de gasificación	26
Figura 10. Criterios de sustentabilidad	35
Figura 11. Clasificación de los métodos de evaluación de impacto ambiental	43
Figura 12. Casilla cruce, matriz de Leopold = $\pm (1-10) /$ Importancia (1-10)	46
Figura 13. Diagrama correspondiente al modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera.....	49
Figura 14. Secuencia del método de Mc Harg	51
Figura 15. Representación de un Sistema de Información Geográfica.....	52
Figura 16. Casilla Cruce, matriz Leopold = \pm Magnitud (1-3) / Importancia (1-3).....	60
Figura 17. Ubicación del relleno sanitario Bordo Poniente y de las etapas que lo conforman	97
Figura 18. Ubicación del municipio de Netzahualcóyotl	99
Figura 19. Mapa geológico de los alrededores del Distrito Federal.....	103
Figura 20. Modelo Geohidrológico del Valle de México	106
Figura 22. Representación de la metodología utilizada.....	115
Figura 22. Estructura general de una dioxina	150
Figura 24. Nuevo esquema de manejo de RSU para el Distrito Federal.	153
Figura 24. Etapas para la implementación del relleno sanitario	167



INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Composición de RSU en el Distrito Federal.....	11
Gráfico 2. Representación de las emisiones de los principales contaminantes del sistema de gasificación.	34
Gráfico 3. Representación de los resultados obtenidos de la matriz de Leopold para el aire	129
Gráfico 4. Representación de los resultados para el ruido	136
Gráfico 5. Representación de los resultados para la población humana y sus actividades	140
Gráfico 6. Distribución gaussiana.....	143
Gráfico 7. Dispersión de un contaminante con el modelo gaussiano	143
Gráfico 8. Fuerza de la fuente de HCl (g/min).....	148
Gráfico 9. Fuerza de la fuente para el mercurio (g/min).....	148
Gráfico 10. Fuerza de la fuente para SOx (g/min).....	149
Gráfico 11. Fuerza de la fuente para NOx (g/min).....	149



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Flujo en toneladas por día de los residuos sólidos urbanos para cada flujo de la Figura 1.....	8
Tabla 2. Composición (%) de los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal.....	10
Tabla 3. Comparación de tecnologías del sistema de gasificación.....	22
Tabla 4. Generalización de las características del proceso de gasificación.....	24
Tabla 5. Reacciones sólido-gas para el sistema de gasificación.....	25
Tabla 6. Reacciones gas-gas para el sistema de gasificación.....	25
Tabla 7. Principales residuos y productos de cada etapa.....	31
Tabla 8. Principales contaminantes en la gasificación.....	32
Tabla 9. Estimación de las emisiones para la generalización del sistema de gasificación.....	33
Tabla 10. Ejemplo de matriz causa-efecto.....	44
Tabla 11. Ejemplo de matriz de Leopold reducida con algunas acciones y factores.....	45
Tabla 12. Ejemplo de la valoración de los componentes ambientales del método de valoración cualitativa propuesto por Conesa.....	55
Tabla 13. Ejemplo de matriz de impactos de Conesa.....	56
Tabla 14. Valorización de los impactos a tomar en cuenta para el método Conesa.....	57
Tabla 15. Interpretación de escala de magnitud e importancia que se utilizará en el EsIA.....	61
Tabla 16. Bordo Poniente: pepenadores en planta de selección vs pepenadores en el relleno sanitario.....	114
Tabla 17. Criterios para determinar la magnitud para los impactos negativos.....	123
Tabla 18. Criterios para determinar la magnitud para los impactos positivos.....	124
Tabla 19. Matriz de Leopold obtenida para el sistema de gasificación.....	125
Tabla 20. Interpretación de resultados de la matriz de Leopold para los factores ambientales.....	126
Tabla 21. Interpretación de la matriz de Leopold para las etapas del proyecto.....	127
Tabla 22. Magnitud, Impacto e importancia para el aire.....	128
Tabla 23. Magnitud, Impacto e Importancia para el agua.....	131
Tabla 24. Magnitud, Impacto e Importancia para el suelo.....	132
Tabla 25. Magnitud, Impacto e Importancia para la flora y la fauna.....	133
Tabla 26. Magnitud, Impacto e Importancia para el paisaje.....	134
Tabla 27. Magnitud, Impacto e Importancia para el ruido.....	135
Tabla 28. Magnitud, Impacto e Importancia para los olores.....	137
Tabla 29. Magnitud, Impacto e Importancia para la economía.....	138
Tabla 30. Magnitud, Impacto e Importancia para la población humana y sus actividades.....	139
Tabla 31. Estabilidad atmosférica.....	145
Tabla 32. Niveles ERPG.....	147



INTRODUCCIÓN

Un desarrollo sostenible debe promover la conservación de los recursos naturales y, a la vez, ser técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable, de tal manera que permita satisfacer las necesidades crecientes y lograr el desarrollo requerido.

El crecimiento económico y la protección ambiental están relacionados entre sí; si no se lleva a cabo una protección ambiental adecuada el crecimiento se frena, y sin un crecimiento real fracasaría la protección ambiental. Por esta razón la protección ambiental se debe contemplar como un elemento básico y fundamental para el desarrollo y no como un obstáculo o una limitante. Por esta razón es importante tomar en cuenta el impacto ambiental al llevar a cabo un proyecto. La evaluación del impacto ambiental es un proceso destinado a mejorar el sistema de toma de decisiones, y está orientado a garantizar que las opciones de los proyectos considerados, sean ambiental y socialmente sostenibles, de tal forma que se pueda prever, llevando a cabo acciones que amortigüen los daños o beneficios que pueda causar dicho proyecto. Con lo cual se puede realizar una estimación del alcance y magnitud que provocará el proyecto en el entorno.

En el presente trabajo se llevó a cabo la evaluación del impacto ambiental de la implementación de un sistema de gasificación para los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, llevando a cabo un estudio del impacto ambiental y una evaluación de las principales emisiones que se producen en el proceso de gasificación. Al llevar a cabo el estudio de impacto ambiental (EsIA) resultó que el aire es el factor ambiental más afectado durante el proceso de gasificación por lo cual se consideró necesaria hacer una estimación del alcance que podrían llegar a generar las emisiones producidas en el sistema de gasificación.



En el capítulo 1 se proporciona una visión general de la problemática que actualmente enfrenta el Distrito Federal en cuanto a residuos sólidos se refiere, enfocándose principalmente al manejo de los residuos sólidos urbanos y a la composición de estos. El capítulo 2 consta de dos apartados: el primero trata sobre la gasificación y en este se realiza una descripción y una comparación de las diferentes tecnologías, con lo que se lleva a cabo una generalización del proceso y se obtiene una estimación de las emisiones del proceso; y en el segundo una revisión bibliográfica para determinar el método de evaluación de impacto más adecuado para el proyecto. En el capítulo 3 se presenta la normatividad aplicable al sistema de gasificación en materia ambiental. En el capítulo 4 se presenta la descripción del sitio de estudio, condiciones y características de "Bordo Poniente". El capítulo 5 se presenta un diagrama con el cual se explica la metodología para llevar a cabo la evaluación del impacto ambiental que se realizó. En el capítulo 6 se presentan los resultados obtenidos, las condiciones tomadas en cuenta y la interpretación de los resultados tanto para la evaluación del impacto ambiental como para la simulación del alcance de las emisiones del sistema de gasificación. En el capítulo 7 se presentan las propuestas de alternativas de mitigación para la implementación del sistema de gasificación en Bordo Poniente, así como las conclusiones y recomendaciones del trabajo en su totalidad. En el capítulo 8 se presentan las referencias de todas las fuentes consultadas. En el capítulo 9 se incluyen los anexos, una breve descripción de relleno sanitario como sitio de disposición final y un glosario que incluye algunos términos utilizados a lo largo del trabajo.



PROBLEMÁTICA

A nivel nacional se producen aproximadamente 84 mil 200 toneladas diarias de basura y en la Ciudad de México alrededor de 12 mil toneladas. Para el tratamiento de esta problemática ambiental, es necesaria la utilización de los tiraderos o de los rellenos sanitarios, que son en pocas palabras cavidades en donde se depositan de manera alternada capas de basura que se cubren con capas de tierra, hasta agotar la capacidad o vida útil de un tiradero (para una mejor descripción ir al Anexo 9.1).

El Distrito Federal presenta una falta en la capacidad instalada, otro asunto relevante que hace necesaria la participación y cooperación de los diferentes niveles de gobierno para la solución integral de este problema.

Es urgente revisar entonces la situación de Bordo Poniente, el cual es administrado por el gobierno del Distrito Federal, y que a la fecha se le ha exhortado por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y de Recursos Naturales (SEMARNAT) para que se cierre definitivamente dicho relleno sanitario.

Otro problema es el daño que han sufrido las estructuras hidráulicas del Bordo. El Lago de Texcoco es receptor de las aguas negras que provienen de éste; la contaminación en los canales de desagüe de las poblaciones aledañas, como son Netzahualcóyotl, Chimalhuacán, Aragón y Texcoco, ha llegado a niveles alarmantes; el agua residual del Bordo impacta de manera negativa a todas las poblaciones aledañas.

Del total de los residuos sólidos que generamos en el Distrito Federal sólo el 86% es recogida y trasladada al relleno sanitario. El resto desafortunadamente se arroja en barrancas y lotes baldíos.



El relleno sanitario Bordo Poniente es el único relleno en operación en el Distrito Federal. Los rellenos sanitarios de Santa Catarina y San Juan de Aragón fueron clausurados por llegar a su límite de espacio. Actualmente el Bordo Poniente está al límite de su saturación.

La identificación de nuevos espacios constituye una seria dificultad para el gobierno de la ciudad, el gran problema del Bordo Poniente además de su falta de capacidad, es la poca seriedad que las administraciones capitalinas le han dado al asunto, ya son más de cuatro años en los que se ha exhortado a las autoridades respectivas del gobierno de la ciudad, a buscar nuevas alternativas de disposición final de residuos sólidos, a la fecha cuando es ya más que imposible la ampliación de la vida útil del relleno sanitario.(1)

JUSTIFICACIÓN

Ya se han realizado estudios con anterioridad con respecto a la aplicación de nuevas tecnologías para la disposición de residuos sólidos urbanos. De los estudios mencionados, el sistema de gasificación es una de las tecnologías más viables para el Distrito Federal, ya que de esta forma se reducirá drásticamente la cantidad de residuos destinados a la disposición final, ocupa muy poco espacio en comparación con otras tecnologías y permite reusar los residuos, tanto para la producción de productos de interés industrial (electricidad y productos químicos) como para la recuperación de materiales. Esta tecnología se ha desarrollado principalmente en Japón y Alemania, los cuales son países más desarrollados.

El principio de la gasificación es la descomposición térmica de la materia orgánica, generándose un gas combustible de bajo poder calorífico mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de aire; el gas resultante se puede utilizar como materia prima o como combustible. En el



presente trabajo de Tesis se lleva a cabo el estudio del impacto ambiental que provocaría la implementación de un sistema de gasificación en el sitio Bordo Poniente.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar conceptualmente el impacto ambiental bajo el escenario probable de la implementación de un sistema de gasificación de residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal llevando a cabo una evaluación de los factores más relevantes que se verían involucrados, de tal forma que se puedan plantear propuestas de mitigación para reducir o controlar el impacto detectado.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Proporcionar una visión general de la problemática que actualmente enfrenta el Distrito Federal, con respecto a la disposición final de los residuos sólidos urbanos.
- Hacer una detallada descripción del sistema de gasificación, identificando los principales contaminantes que produce el proceso y las actividades que podrían producir un impacto o alteración en el sitio.
- Realizar una revisión de las metodologías de evaluación de impacto ambiental para escoger la que más se adecue al proyecto.
- Llevar a cabo una revisión de la normatividad aplicable al proceso de gasificación, identificando la viabilidad legal de la implementación del sistema.
- Proporcionar las principales características y dar una descripción del sitio “Bordo Poniente”
- Llevar a cabo la evaluación de impacto ambiental.
- Evaluar el alcance de las emisiones utilizando el software Aloha®.
- Presentación de las propuestas de mitigación de los impactos ocasionados.



1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN EL DISTRITO FEDERAL

De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003), se le denomina residuo al material o producto cuyo propietario o poseedor desecha, y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere de un tratamiento o disposición final. También define a los residuos sólidos urbanos (RSU) como los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole (2).

La generación de residuos sólidos urbanos en del Distrito Federal ha crecido más rápido que la población. En los años 50 cada habitante generaba aproximadamente 300 gramos de desechos diariamente, actualmente cada familia (5 personas) genera mensualmente un metro cúbico de desechos, lo que en términos de la ciudad entera representa tres millones de metros cúbicos mensuales. Con este promedio, México ocupa el primer lugar en producción de basura en América Latina. En cuanto a generación de basura México se encuentra muy cerca de la cantidad producida por los países europeos, a diferencia de no contar con la infraestructura necesaria para un manejo adecuado. La cantidad y composición de los RSU es el reflejo de los patrones de consumo de la sociedad en la que se vive. Estados Unidos y Canadá producen cerca de 2.0 kilogramos de RSU por persona por día (EPA, 2005), mientras que el promedio de México es de 0.4 kg y el de la Ciudad de México es de 1.4 kg. La producción de residuos sólidos está estrechamente ligada con la sociedad de consumo.



Como ya se ha mencionado el Distrito Federal produce aproximadamente 12,000 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, de las cuales solo el 37.7% y 0.5% son tratadas en la planta de selección y la planta de composta, respectivamente; solo el 2% de los residuos son reciclados. Mientras que el 89.3% de los residuos sólidos generados llegan al relleno sanitario “Bordo Poniente”. El cual no sólo trata residuos del Distrito Federal, también recibe residuos sólidos urbanos del Estado de México, aproximadamente 2,000 toneladas por día.

Tabla 1. Flujo en toneladas por día de los residuos sólidos urbanos para cada flujo de la Figura 1.

Número	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Flujo (ton/día)	10785	120.4	10785	8855	1930	44	2183	3845	267	0.03	1.4	119	13

Fuente: (3)

En la Figura 1 se muestra un esquema de las etapas que constituyen el manejo de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal, cada una de las corrientes representa un flujo de residuos en toneladas por día, y el valor para cada flujo se encuentra en la Tabla 1. La generación de basura, se refiere a la creación de ésta, en general consiste en residuos domésticos e industriales. En cuanto a la etapa de transporte, se refiere a los camiones particulares que recolectan diariamente la basura tanto en casas como empresas, comercios, mercados, entre otros. El servicio de barrido y recolección se refiere a los camiones y al personal de barrido, que recorren toda la ciudad diariamente recolectando todos los residuos que son abandonados en las calles. Tanto los camiones de barrido y recolección como los camiones particulares transportan la basura a las trece estaciones de transferencia (ET) del Distrito Federal.



El uso de estaciones de transferencia se ha constituido en una alternativa económica para áreas urbanas donde se generan grandes cantidades de residuos y en que las distancias a los centros de procesos de residuos son importantes.

En las ET se recibe toda la basura en transfers (camiones de gran capacidad, 70m³). Algunos transfers se dirigen a las plantas de selección y composta, donde se reúsan y reciclan los residuos sólidos, pero sólo el 38.2% de los residuos sólidos corren con esta suerte, y el resto es llevado directamente al sitio de disposición final, que en nuestro caso es el relleno sanitario “Bordo Poniente”.

1.2 *Composición de RSU en el Distrito Federal*

En el Distrito Federal se generan aproximadamente 12,000 toneladas por día de RSU, de los cuales un 50 por ciento es orgánica, 30 por ciento de material reciclable, 7 por ciento de tipo sanitario y 13 por ciento corresponden a otros residuos, producidos por 8.72 millones de habitantes más la población flotante.

De acuerdo con el Programa Integral de Manejo de RSU (GDF,2004), 47% de los RSU son producidos en los hogares, 29% en comercios, 15% en el sector servicios, 6% proviene de áreas verdes y barrido de calles, y 3% son residuos controlados no peligrosos provenientes de la industria, unidades médicas, laboratorios, etc. (1).

En la Tabla 2 se muestra en porcentaje la composición de los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal, en base a 1000 toneladas. Se observa que más del 60% de los residuos son orgánicos, principalmente y con los mayores porcentajes: residuos de alimentos, papel, residuos de jardinería y cartón.



Tabla 2. Composición (%) de los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal.

Tipo de residuo	% en el Distrito Federal
Cartón	5,36
Residuos finos	1,21
Hueso	0,08
Hule	0,2
Lata	1,58
Material ferroso	1,39
Material no ferroso	0,06
Papel	14,58
Pañal desechable	3,37
Plástico película	6,24
Plástico rígido	4,33
Residuos de alimentos	34,66
Residuos de jardinería	5,12
Trapo	0,64
Vidrio de color	4
Vidrio transparente	6,77
Otros	10,41

Fuente: (3)

Como se puede observar en el Gráfico 1, un gran porcentaje de los residuos tienen un alto contenido de carbono, lo cual favorece la producción del gas de síntesis durante la gasificación.

Esta información se encontró en un estudio de manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México, realizado por la JICA (Agencia de Cooperación Internacional del Japón) para el Gobierno del Distrito Federal, fue la única fuente de información donde se pudo encontrar una estimación de la composición de los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal.

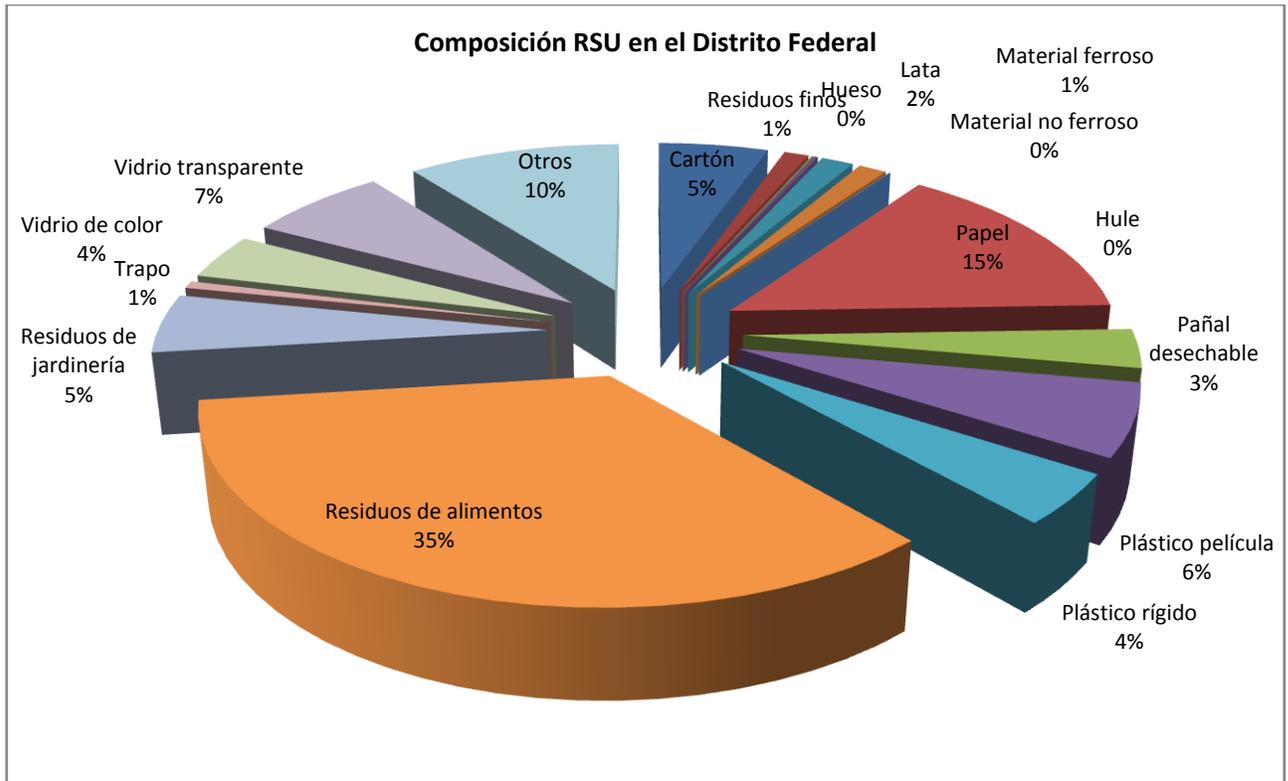


Gráfico 1. Composición de RSU en el Distrito Federal

Fuente: (3)

Debido a la problemática ambiental que presenta Bordo Poniente es urgente la implementación de un nuevo sistema de manejo para los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal, la capacidad del relleno sanitario Bordo Poniente ha llegado a su máxima capacidad y ya no es posible que siga operando. Diariamente llegan a Bordo Poniente 12,000 toneladas de RSU, es necesario disminuir la cantidad de RSU dirigidas a disposición final, lo cual se puede lograr con la implementación del sistema de gasificación. Como ya se ha mencionado los RSU del Distrito Federal tienen un alto contenido de carbono lo que favorecerá la producción del gas de síntesis en la gasificación.



2 MARCO TEÓRICO

2.1 Gasificación

La gasificación es un proceso diseñado para obtener un gas de síntesis (syngas). Se puede definir como un proceso de conversión termoquímica por el que una sustancia con alto contenido de carbono es transformada en una mezcla combustible gaseosa mediante calor, generalmente se lleva a cabo a temperaturas superiores a los 800°C. El gas de síntesis (syngas) que produce puede ser utilizado para producir electricidad, ya que es una mezcla de hidrógeno, dióxido de carbono y metano con un alto valor energético, o también puede ser convertido en químicos mediante las reacciones Fischer – Tropsch para comercializarse. La cantidad y la composición del gas dependerán de las características del residuo de entrada. (4)

2.1.1 Descripción de las diferentes tecnologías

En este apartado se hace una breve descripción para el sistema de gasificación de las diferentes tecnologías que operan en el mundo, Japón es el país que más aplica el sistema de gasificación, probablemente se debe al poco espacio que requiere este sistema de tratamiento para su implementación.

✓ Ebara

La compañía Ebara es el desarrollador de distintas tecnologías de gasificación de residuos, como son la tecnología TwinRec (Twin Internally revolving Fluidized bed Gasifier), EUP (gasificación de residuos plásticos) y el ICFG (internally Circulating Fluidized- bed Gasifier). El proceso de tratamiento sólo incluye la remoción manual de objetos con dimensiones mayores a 30 cm. El reactor integra una sección de pirólisis y una sección de oxidación (Figura 2), usando arenas fluidizadas que se



mueven entre las dos secciones. En la sección de pirólisis, el vapor es inyectado para la fluidización (el aire fluidizado no puede ser utilizado desde el proceso de pirólisis). Las arenas calientes transfieren su energía calorífica a los RSU, obteniendo una descomposición térmica de los compuestos orgánicos. La materia que no se ha carbonizado y las cenizas caen en la cama de arena y son transferidas a la cámara de oxidación para su combustión. La combustión calienta las arenas que luego son llevadas a la sección de pirólisis para proveer calor.

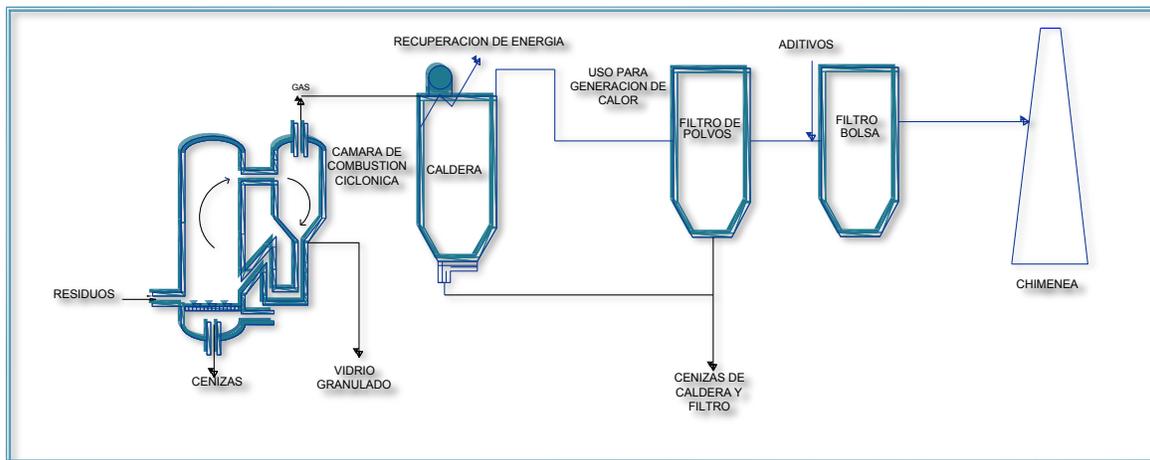


Figura 2. Proceso de gasificación de TwinRec Ebara

Elaboración: Modificada de (5)

El gas de síntesis es limpiado en un scrubber (aparato utilizado para el lavado de gases, en el que los componentes indeseables de una corriente gaseosa son separados por contacto con la superficie de un líquido, bien sea sobre una masa húmeda o a través de un rociador), el gas de síntesis limpio es quemado en un motor recíprocante (aquél que transforma el movimiento rectilíneo del órgano que recibe la energía en movimiento de rotación) para producción de energía eléctrica. El gas caliente de escape pasa por un sistema de recuperación de calor, el cual calienta el aire usado en la cámara de oxidación/combustión. Los gases de combustión calientes que provienen de la sección de combustión fluyen a través



de una caldera de recuperación de calor donde se produce vapor para el proceso de fluidización en la cámara de pirólisis. Los gases de combustión enfriados salen de la caldera entrando a un filtro y a continuación a un sistema de reducción catalítica selectiva para finalmente salir por la chimenea (6).

✓ *Nippon Steel*

Nippon Steel es una compañía que cuenta con la tecnología Direct Melting System, la cual consiste en la fundición de diversos tipos de residuos en un solo paso, conversión de las cenizas en slag (escoria) y la recuperación de metales para ser reciclados. Actualmente opera 25 plantas en Japón.

Su tecnología se basa en un gasificador de lecho mixto con inyección de aire enriquecido con oxígeno en la sección de fusión, se agrega coque a los residuos de entrada para proveer energía a la fusión de las cenizas; se agrega caliza para regular el pH al fundirlo.

Los residuos, el coque y la piedra caliza entran desde la parte superior al horno de fusión. El horno de fusión se forma de cuatro zonas: la primera de secado y precalentamiento, la segunda de descomposición térmica y gasificación, la tercera de combustión y la cuarta de fusión.

Los residuos secos descienden gradualmente a través del horno y son alimentados por la zona de descomposición térmica y de gasificación, donde las sustancias orgánicas se gasifican. Los gases producidos son descargados desde la parte superior del horno y son totalmente quemados en la cámara de combustión. Después los gases de escape calientes de la cámara de combustión son enviados a la caldera de calor residual para recuperar el vapor para la generación de electricidad y otras aplicaciones de alto rendimiento energético.



Las cenizas y la materia inorgánica que se mantienen a pesar de la descomposición térmica descienden con el coque a la zona de combustión y a la zona de fusión. (7).

El coque reacciona en presencia del aire inyectado en el horno, entrando a una atmósfera reductora a alta temperatura, con el que las cenizas y sustancias inorgánicas son completamente fundidas.

El fundido caliente, obtenido de este modo, es vertido por el sistema a través de un orificio de salida ubicado en la parte inferior del horno y pasa a la etapa de granulación donde el fundido es enfriado y solidificado rápidamente formando una mezcla granular de slag y metal. El metal es separado para reciclarse con un separador magnético (8). En la Figura 3 se muestra el diagrama del proceso de gasificación de Nippon Steel.

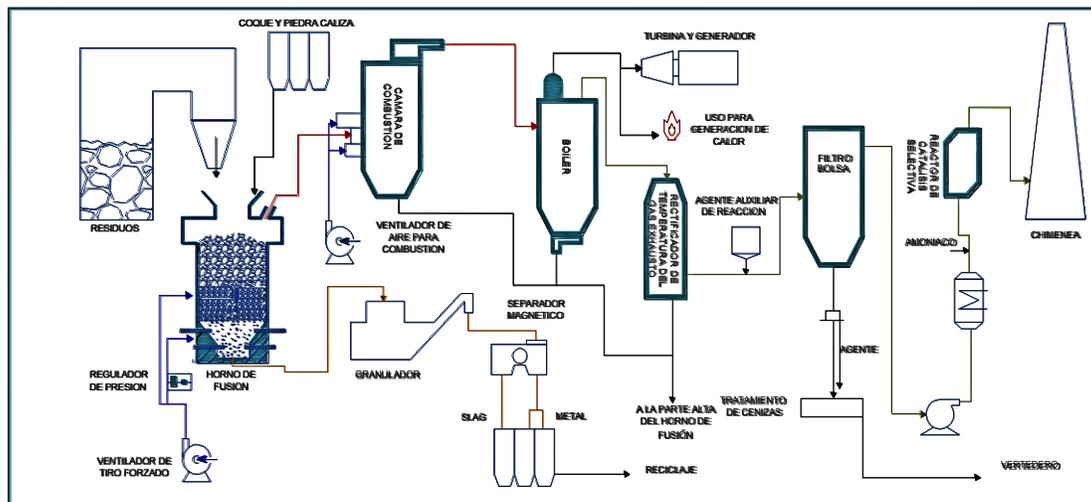


Figura 3. Diagrama del proceso de gasificación de Nippon Steel

Elaboración: modificado de (9).



✓ *Interstate Waste Technologies, Thermoselect*

Interstate Waste Technologies (IWT) es una empresa privada que diseña, construye y opera instalaciones de tratamiento de residuos, usando el proceso patentado Thermoselect®, el cual es un proceso de gasificación y fusión de cenizas, y obtención de cenizas, materias minerales vitrificadas, así como hierro y azufre. Somete los RSU a una alta temperatura de la materia con contenido de carbono y se da la fusión indirecta de los incombustibles. Con el tratamiento del agua de proceso se obtiene agua depurada, además de sales y concentrado de zinc como subproductos. En este proceso no es necesario aplicar tratamiento posterior a las cenizas, a la escoria o a los polvos resultado de la filtración del gas, ya que las cenizas se recuperan como materiales vitrificados y todos los productos intermedios generados durante las fases de limpieza se devuelven al proceso térmico de transformación de materiales. En la Figura 4 se muestra un diagrama del proceso Thermoselect® (10).

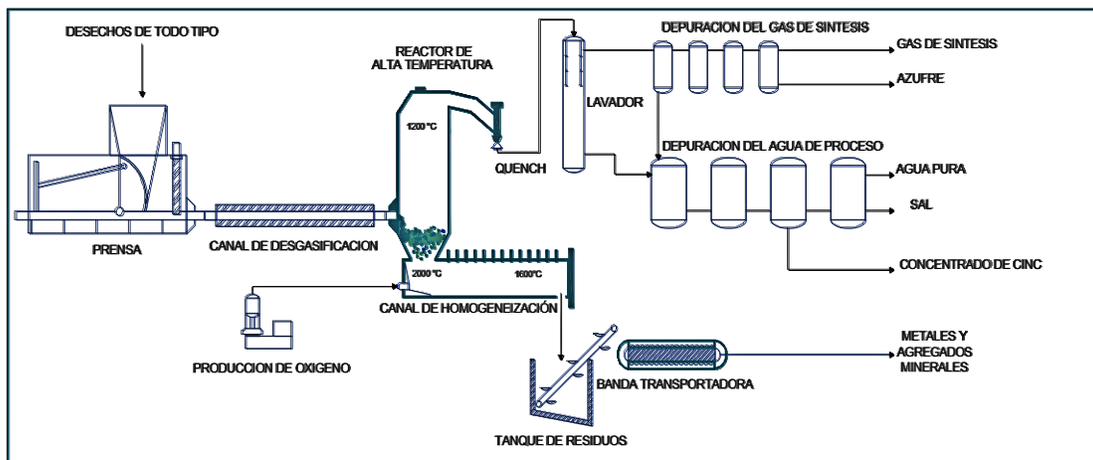


Figura 4. Diagrama del proceso de gasificación Thermoselect

Fuente: modificado de (11)



✓ *Ntech Enviromental*

Ntech Enviromental usa el sistema de energía renovable ENTECH que recupera energía de la basura, no requiere que los residuos sean triturados. Los residuos son alimentados a la cámara de gasificación, la cual es un gasificador de lecho mixto, como se muestra en la Figura 5. El gas de la cámara de gasificación va al reactor térmico en donde es quemado a temperaturas de 980-1200°C. El calor de la combustión del gas es usado en una caldera para producir vapor, éste es utilizado para generar electricidad a partir de una turbina de vapor y también como vapor de proceso(12).

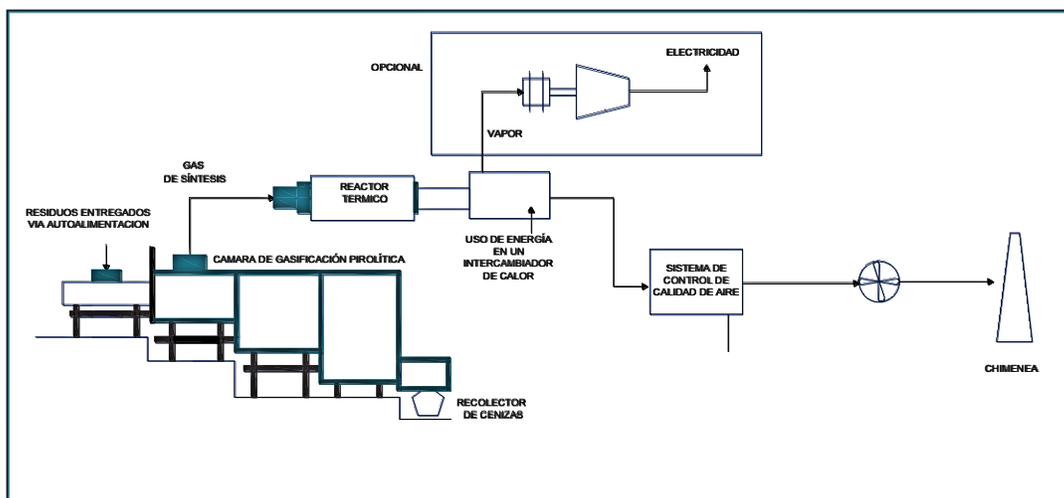


Figura 5. Diagrama del proceso de gasificación de Entech Enviromental

Fuente: modificado de (13)

✓ *Schwarze Pumpe*

Ofrece la ventaja de producir gas de síntesis para la producción de metanol o gas combustible para la producción de energía. Actualmente son tres los tipos de gasificadores que se están utilizando comercialmente:

- Cinco gasificadores de lecho fijo presurizado para residuos sólidos (Capacidad de cada gasificador: 15 t/h)



- Un gasificador British gas/Lurgi para residuos sólidos (Capacidad 35 t/h)
- Dos gasificadores de flujo arrastrado para líquidos y residuos pastosos que llega a temperaturas de 1600 °C (16 t/h por cada gasificador).

Los residuos aplicables a la gasificación tienen que cumplir con ciertas características como son densidad, firmeza de los residuos, tamaño y estabilidad térmica, para lo cual tienen que ser sometidos a diversos tratamientos dependiendo del tipo de residuo del que se trate, este pretratamiento puede incluir remoción de metales, cortado, secado, entre otros con la finalidad de peletizar los residuos. En la Figura 6 se muestra el diagrama de proceso de Schwarze Pumpe.

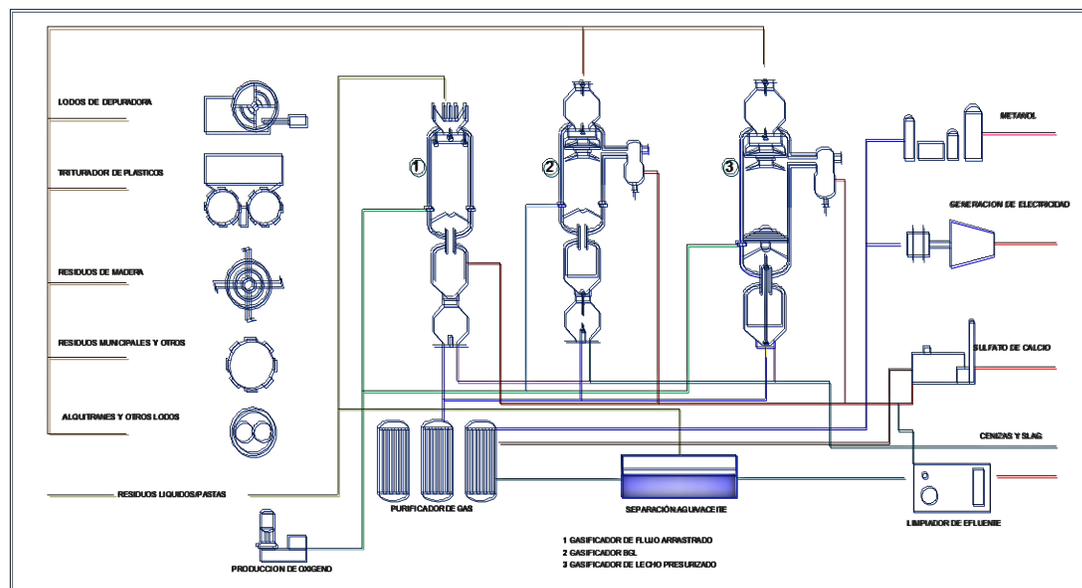


Figura 6. Diagrama del proceso de gasificación de Schwarze Pumpe

Fuente: modificado de (14)



Posteriormente se da la recuperación del calor del generador de vapor para controlar la temperatura de salida de los gases de combustión y recuperar la energía de dichos gases, está equipado con un tanque de agua de alimentación, bombas y la combinación de dos equipos, tubos de humo y tubos de agua. Los gases de combustión se someten a una limpieza, inyectándolos en seco a través de un sistema de cal y carbón activado. La cal absorbe los componentes ácidos en los gases de combustión, mientras que el carbón activado absorbe las dioxinas, los COT y metales pesados(15).

✓ *Sumitomo*

Después de un pretratamiento, que consiste en un fragmentador y un secador de residuos, éstos son alimentados al gasificador de lecho fluidizado burbujeante a temperatura de aproximadamente 800°C, operando a una presión de 1.2 bar donde son convertidos térmicamente en 1800 m³ de gas combustible con un poder calorífico bajo.

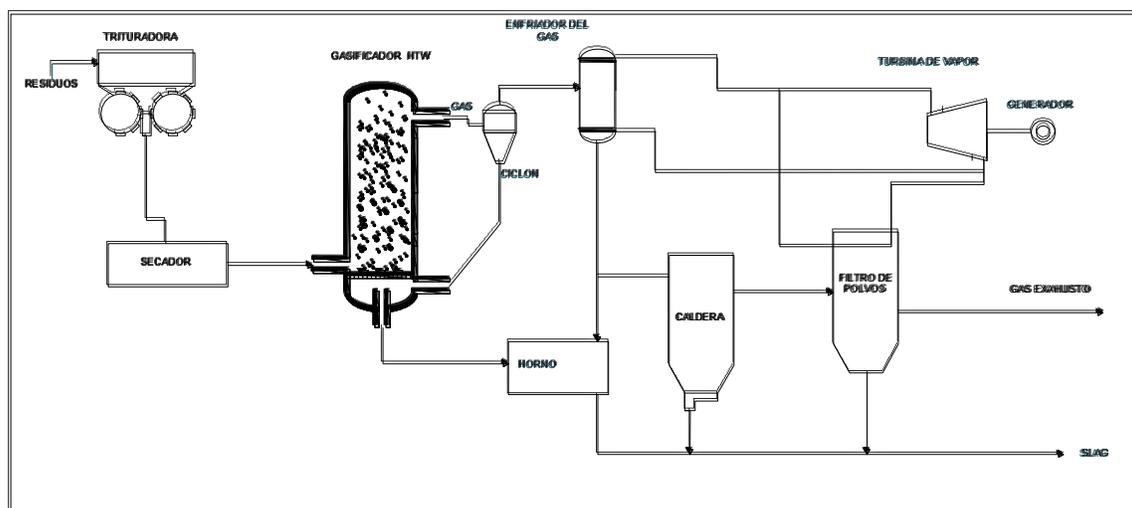


Figura 8. Diagrama del proceso de gasificación de Sumitomo

Fuente: Modificado de (16)



Las cenizas de fondo que salen del gasificador son fundidas y convertidas en slag en un horno, a temperaturas aproximadas de 1300°C, usando una parte del flujo de gas combustible. El slag puede ser empleado como material de construcción.

El gas de pirólisis es generado por los residuos de la gasificación y este gas está disponible para proveer la energía para el pre-secado de los residuos, para la fusión y para la generación de vapor.

Los residuos de la escoria pasan un largo tiempo en el horno rotativo, por lo que son fundidos completamente. El gas de salida es limpiado por equipos de control de contaminación atmosférica.(17). El proceso de gasificación de Sumitomo se muestra en la Figura 8.



2.1.2 Comparación de tecnologías

Para llevar a cabo la comparación de las tecnologías, se realizó la Tabla 3 en la cual se exponen los puntos que se consideran más importantes; se descartaron las tecnologías de Energys y Ntech Environmental, debido a que no está disponible la mayor parte de la información requerida.

Tabla 3. Comparación de tecnologías del sistema de gasificación

Rubro	GASIFICACIÓN				
	Nippon Steel	Ebara	Interstate Waste Technologies	Schwarze	Sumitomo
Ubicación	Japón	Japón	Japón	Alemania	Japón
Tecnología	Direct Melting System (Sistema de Fusión directa)	Gasificación de lecho fluidizado y vitrificación de cenizas (ICFG)	Thermoselect® Gasificación y fusión de cenizas	Gasificador tipo Lurgi, gasificador de lecho fijo	Proceso PreCon®
Tipo de residuos que son tratados	RSU, incombustibles lodos, residuos de incineradoras	RSU, y cenizas de plantas incineradoras	RSU y residuos industriales	RSU y carbón	RSU
Capacidad nominal (t/d)	440	15	300, en dos líneas de 150 cada una	840	20
Temperatura en el reactor de conversión térmica (°C)	400-1,000	600 - 700	1,200 - 2,000	800 – 1,600	800 – 1,300
Pre tratamiento	Remoción de grandes volúmenes	Alimentación con un tamaño menor a 30 cm	Compactación de RSU Desgasificación (Pirólisis)	Remoción de metales, cortado, secado, entre otros con la finalidad de peletizar los residuos	Triturado y secado de residuos
Descripción del gasificador	Horno de fusión con 4 zonas: secado y precalentamiento, descomposición térmica, combustión y fusión.	Sección de pirólisis y sección de oxidación, usa arenas fluidizadas que se mueven en las dos secciones	Reactor a alta temperatura con un canal de homogenización y fusión indirecta de los incombustibles	Este proceso utiliza varios gasificadores, en los cuales se trata cada uno de los diferentes residuos, como se muestra en la Figura 6.	Gasificador de lecho fluidizado burbujeante
Apagado	Enfriamiento de gases	No cuenta con sistema de apagado	Enfriamiento a 70°C	Enfriamiento con agua	Enfriamiento con agua



Rubro	GASIFICACIÓN						
	Nippon Steel	Ebara	Interstate Waste Technologies	Schwarze	Sumitomo		
Tratamiento posterior	Recuperación del vapor Fundido en caliente Separación magnética	Tratamiento del gas (filtros)	Limpieza del gas de síntesis Tratamiento de agua	Limpieza del gas de síntesis Tratamiento de agua	Tratamiento del gas Fundición en caliente		
Productos principales del proceso	Energía eléctrica Slag	Electricidad	Electricidad a partir del gas de síntesis	Metanol Electricidad	Gas de síntesis		
Subproductos	Cenizas	Cenizas Metales	Slag 7-15% Azufre Sales minerales Concentrado de zinc	Cenizas Slag	Slag		
Emisiones al ambiente	Aire: Dioxinas menores a 0.025ng-TEQ/m ³ N ¹ .	Aire: Dioxinas menores a 0.01ng-TEQ/m ³ N.			Nitrógeno	72.5 t	Aire: Dioxinas menores a 0.01ng-TEQ/m ³ N.
					Cd	0.01 t	
			NOx (mg/m3)	13	Cu	0.06 t	
			CO (mg/Nm3)	17	Ni	0.06 t	
			Partículas (mg/Nm3)	0.2	Fenoles	0.03 t	
			SO2 (mg/Nm3)	2	COT	205 t	
			Dioxinas y furanos (ng/Nm3)	0.001 1	CO2	1210 Mt	
					NOx	414 t	
					Estos datos son por año		
Tipo de generador de potencia eléctrica	Turbina de vapor	Micro Turbina de vapor	Motor de gas	Turbina de gas	Turbina de vapor		
Servicios requeridos	Agua Aire Coque Amoniaco CaO	Agua Vapor Otros	Gas natural (aprox. 250 Nm3/h por línea) Oxígeno Nitrógeno Agua Electricidad	Aire Oxígeno Agua Otros	Aire Agua Otros		

Elaboración: A partir de (18)

¹ ng-TEQ/m³N Nanogramos por metro cúbico de oxígeno a condiciones normales; TEQ es el método del equivalente tóxico que otorga un valor de toxicidad a los compuestos menos tóxicos en función (fracción) de la dioxina más tóxica. Fuente: (49).



2.1.3 Generalización del proceso

En la Tabla 4 se muestra una generalización de las características del proceso de gasificación, esta generalización se llevó a cabo a partir de la Tabla 3 tomando para dicha generalización las etapas que coincidan en cada una de los diferentes sistema de gasificación que operan actualmente en todo el mundo.

Tabla 4. Generalización de las características del proceso de gasificación

Generalización del proceso de gasificación	
Tipo de residuos que son tratados	RSU
Temperatura en el reactor de conversión térmica (°C)	800 - 1600
Pre tratamiento	Compactación y trituración
Apagado	Enfriamiento de gases utilizando agua
Tratamiento posterior	Limpieza del gas Tratamiento del agua Separación magnética
Productos principales del proceso	Energía eléctrica Slag
Subproductos	Metales
Tipo de generador de potencia eléctrica	Turbina de vapor
Servicios requeridos	Agua Aire Vapor

Elaboración: propia



✓ *Descripción del proceso*

Las reacciones que ocurren durante el proceso de gasificación son más de mil, a continuación se resumen las principales; las reacciones sólido – gas, se muestran en la Tabla 5, y las reacciones gas-gas se muestran en la Tabla 6

Tabla 5. Reacciones sólido-gas para el sistema de gasificación

$C + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CO$	Combustión parcial	Exotérmica
$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$	Combustión	Exotérmica
$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$	Hidrogasificación	Exotérmica
$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	Agua –gas	Endotérmica
$C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	Boudouard	Endotérmica

Tabla 6. Reacciones gas-gas para el sistema de gasificación

$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	Shift	Exotérmica
$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	Reformado	Exotérmica

Para poder tratar los residuos en el gasificador es necesario que las partículas tengan cierto tamaño, lo cual se logra triturando los RSU hasta el tamaño de partícula deseado para entrar a la desgasificación, la cual consiste en la liberación de gases. Se lleva a cabo una pirólisis de desgasificación. Posteriormente se alimentan oxígeno y los RSU al gasificador (reactor), donde se alcanzará una temperatura entre 800-1200°C; obteniéndose como productos el slag (metales y minerales) proveniente de la materia inorgánica que es gasificada, y el syngas, proveniente de a materia orgánica gasificada.

El syngas es tratado primero con un sistema de apagado (sistema de enfriamiento) de tal forma que deje de reaccionar, y posteriormente por una depuración, ya que tiene una alta concentración de metales pesados (los cuales posteriormente serán confinados). Las cenizas se recuperan como materiales vitrificados y se procura que los productos intermedios que se obtienen durante la



fase de limpieza vuelvan al proceso térmico. Es de suma importancia que el proceso cuente con un sistema de tratamiento de aguas. En la Figura 9 se presenta un diagrama de la generalización del proceso de gasificación, donde se engloban las etapas principales que pueden formar parte del proceso.

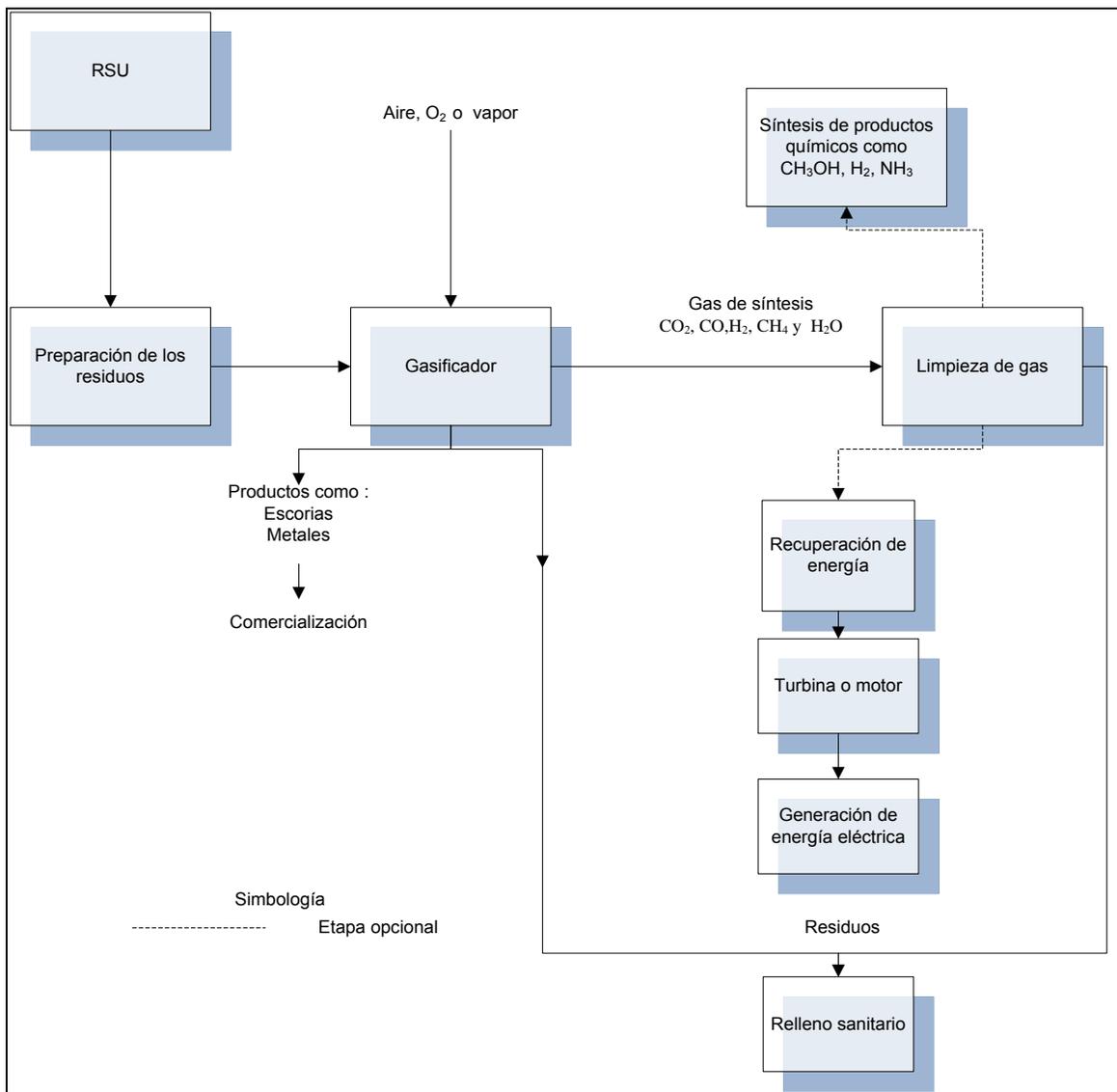


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de gasificación

Fuente: (18)



✓ *Etapas del proceso*

Básicamente la gasificación consta de las siguientes etapas:

1. Transportación de RSU

Los RSU deben ser transportados al sitio de disposición final, para lo cual son necesarias las estaciones de transferencia, ya que sería muy complicado que cada uno de los camiones recolectores de RSU visitará el sitio de disposición final.

El objetivo de las estaciones de transferencia es disminuir el número de viajes y el tiempo de traslado de los vehículos al sitio de disposición final, mejorando la eficiencia del servicio de recolección.

El proceso se inicia con el ingreso del camión recolector hacia la báscula para determinar la cantidad de RSU recibida, posteriormente se dirige hacia la zona de vaciado para transferir los RSU hacia los transfers y finalmente abandonar la estación de transferencia.

2. Compactación de RSU

Para llevar a cabo la compactación de los RSU es necesario en primera instancia separar los RSU de rechazo. Los residuos de rechazo son los residuos que no es posible tratar para que entren al gasificador, por lo cual deben ser separados y retirados del proceso, de tal forma que sean tratados posteriormente. Después se trituran los RSU hasta alcanzar el tamaño de partícula deseado, con los cual el sistema de gasificación tendrá una mayor eficiencia.



3. Pretratamiento

El objetivo de esta etapa es preparar a los RSU para que entren al gasificador. En algunos caso se lleva a cabo una desgasificación para liberar todo el gas que se encuentra en los RSU utilizando la pirolisis, la pirólisis es un proceso de descomposición química de materia orgánica, el compuesto orgánico sólido se calienta a aproximadamente 400°C, liberando todo el oxígeno presente. En otros se aplica remoción de metales, cortado, secado, entre otros con la finalidad de peletizar los residuos.

4. Gasificación y fundición

Una vez que se le ha aplicado el pretratamiento a los RSU entran al gasificador, el gasificador opera entre 800 y 2,000°C, la materia orgánica es convertida en el gas de síntesis, mientras que la materia inorgánica es convertida en slag.

5. Homogenización del slag (escoria)

Es esta etapa se recoge el slag, el cual es el producto sólido obtenido de la gasificación, es un material inerte cuya forma física dependerá del tratamiento recibido durante el enfriamiento. Los constituyentes inorgánicos fundidos son homogeneizados en un canal anexo al reactor de altas temperaturas. A aproximadamente 1,600° C por diferencia de densidades son formadas dos fases, una de minerales y otra de metales.

La masa fundida es granulada mediante un enfriamiento ultrarrápido con agua. Los granulados minerales y metálicos se clasifican en el exterior del sistema mediante separación magnética. La calidad de los agregados minerales vítreos como el cobre y níquel equivale a la de los productos naturales.



6. Enfriamiento del gas

Se lleva a cabo un enfriamiento a aproximadamente 70°C a condiciones libres de oxígeno, para procurar una baja emisión de dioxinas y evitar la generación de cenizas que puedan volarse fácilmente. Este enfriamiento sirve para apagar el gas, de tal manera que no siga reaccionando, y se pueda tratar fácilmente.

7. Purificación del gas

El gas de síntesis está sujeto a una limpieza de varias fases durante la cual se absorben o condensan los contaminantes, con lo cual queda disponible el gas de síntesis purificado para utilizarlo como materia prima o generador de energía. La limpieza del gas de síntesis consta básicamente de un lavador de gases y los filtros.

8. Tratamiento de aguas

El agua utilizada durante el proceso tiene una alta concentración de metales pesados, por lo cual es necesario aplicar un tratamiento de aguas de tal forma que se remuevan los metales pesados. Una vez removidos los metales pesados deben ser confinados.

9. Generación de energía

Los diferentes sistemas con los que se puede generar energía eléctrica a partir del gas de síntesis son:

a) *Generación de energía eléctrica a partir de ciclo de vapor*

El ciclo de vapor es la opción más sencilla para la recuperación de la energía, en el cual el gas es quemado sin necesidad de un pre tratamiento. La máxima eficiencia eléctrica en una planta de gasificación-ciclo de vapor es del 23 %.



b) Generación eléctrica a partir de motores de gas

Consiste en la combustión del gas obtenido en motores alternativos modificados, la eficiencia de conversión a energía eléctrica que se puede alcanzar con este tipo de sistemas es del 25 %.

c) Generación eléctrica con ciclo combinado

En el proceso con ciclo combinado se genera electricidad en dos etapas. En la primera una turbina de gas conectada a un alternador genera energía eléctrica a partir del gas, mientras que en la segunda se aprovechan los gases de escape.

Para poder utilizar el gas de síntesis como alimentación a la turbina, es necesario que este pase por tratamiento previo para el control de los compuestos corrosivos como los alquitranes, el gas ácido y los metales alcalinos. La eficiencia de conversión a energía eléctrica es cercana al 30%. (19)

10. Reacciones Fischer – Tropsch

El proceso de Fischer Tropsch es una reacción química en la que el gas de síntesis (CO y H_2) se convierte en un hidrocarburo de distintas formas. Los catalizadores más comunes se basan en hierro, cobalto y níquel.

Es importante señalar que esta etapa no se tomará en cuenta para la evaluación de impacto ambiental, debido a que no es común su aplicación en los casos reportados de gasificación. De las tecnologías revisadas, solo en Alemania utilizan esta etapa para la obtención de metanol.

✓ *Residuos obtenidos del proceso de gasificación*

Los principales residuos del proceso son las cenizas y residuos carbonosos (char). Aproximadamente se obtienen de un 2 a un 9 % de cenizas del reactor y de un 5 a un 10 % de partículas de los equipos de limpieza.



Los residuos obtenidos directamente del gasificador son inertes y en algunas ocasiones se les utiliza como materia prima para la producción de cerámica estructural. En cambio los residuos obtenidos de la limpieza de los gases son típicamente confinados, ya que contienen una alta concentración de metales pesados.(19)

En la Tabla 7 se muestran un resumen de los principales residuos y productos que se obtienen en cada etapa.

Tabla 7. Principales residuos y productos de cada etapa

Etapa	Residuos y productos
Compactación de residuos sólidos	Residuos de rechazo
Pre-tratamiento	O ₂ y agua
Gasificación y fundición	Slag y syngas
Homogenización del slag	Metales, agregados de minerales y agua con alto contenido de metales pesados
Enfriamiento del gas	Dioxinas
Purificación del gas	Agua depurada, sales, concentrado de zinc y cenizas
Tratamiento de aguas	Agua pura, sal y concentrado de zinc
Generación de energía	Electricidad

Elaboración: propia



✓ *Principales emisiones en el proceso de gasificación*

En la Tabla 8 se presenta un resumen de los principales contaminantes presentes en la gasificación para cada una de las tecnologías descritas con anterioridad, los límites máximos permisibles y un intervalo de los principales contaminantes.

Tabla 8. Principales contaminantes en la gasificación

Compañía	Contaminante					
	PM (mg/Nm ³ @ 7% de O ₂)	HCl (mg/Nm ³ @ 7% de O ₂)	NOx (mg/Nm ³ @ 7% de O ₂)	SOx (mg/Nm ³ @ 7% de O ₂)	Hg (mg/Nm ³ @ 7% de O ₂)	Dioxinas y Furanos (ng TEQ/Nm ³ @ 7% de O ₂)
Ebara	1.4	2.8	41	4	0.007	0.00072
Nippon Steel	14.1	12.5	31.2	21.9	-	0.045
Interstate Waste Technologies	4.7	11.6	-	-	-	0.025
EPA (Normatividad)	20	40	305	85	0.04	0.14
Intervalo	[1.4-14.1]	[2.8-12.5]	[31.2-41]	[4-21.9]	0.007	[0.00072-0.045]

Elaboración: propia a partir de (20)

2.1.4 *Estimación de las emisiones para el sistema de gasificación*

En la Tabla 9 se muestra una estimación de las principales emisiones que podría provocar el gasificador. Esta estimación se realizó considerando un flujo diario de 12,000 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos y se trabajó con una densidad de RSU de 800 kg/m³(3), del flujo mencionado se estimó un 10% de residuos de rechazo, de lo cual se obtiene un flujo volumétrico de 13,500 m³/día.

Aproximadamente el 60% de los RSU en el Distrito Federal son materia orgánica, lo cual representa 6480 toneladas diarias; y se sabe que el gas de síntesis proviene de la materia orgánica, por lo cual las emisiones se estimaron a partir del



flujo de materia orgánica. Por lo cual se utilizó el flujo volumétrico de materia orgánica, el cual resultó de 8100 m³/día.

Para las concentraciones se obtuvo el promedio de los intervalos establecidos en la Tabla 8, para el caso de las dioxinas y furanos fue necesario hacer una conversión de nanogramos a miligramos (1X10⁶ ng = 1 mg).

Para estimar las emisiones se utilizó la ecuación

$$E = Q * C$$

Donde:

E= Emisiones (mg/día)

Q= Flujo de materia orgánica (m³/día)

C= concentración de cada uno de los contaminantes (mg/m³)

Tabla 9. Estimación de las emisiones para la generalización del sistema de gasificación

Contaminante	HCl	NOx	SOx	Hg	Dioxinas y Furanos
Promedio Conc. (mg/m ³ N @7% de O ₂)	7.65	36.1	12.95	0.007	22860
Emisiones (mg/día N @7% de O ₂)	61965	292410	104895	56.7	0.000185166

Elaboración: propia

En el Gráfico 2 se observa que las mayores emisiones son de NOx y SOx, mientras que las emisiones de mercurio, y dioxinas y furanos, son mínimas. Aunque las dioxinas y furanos son considerados los contaminantes más dañinos del proceso, con una emisión de 0.00018 ng/m³ N @ 7% de O₂ no supera el límite máximo permisible de 0.2 ng/m³ N @ 7% de O₂ establecido por la NOM-085-SEMARNAT-1994.

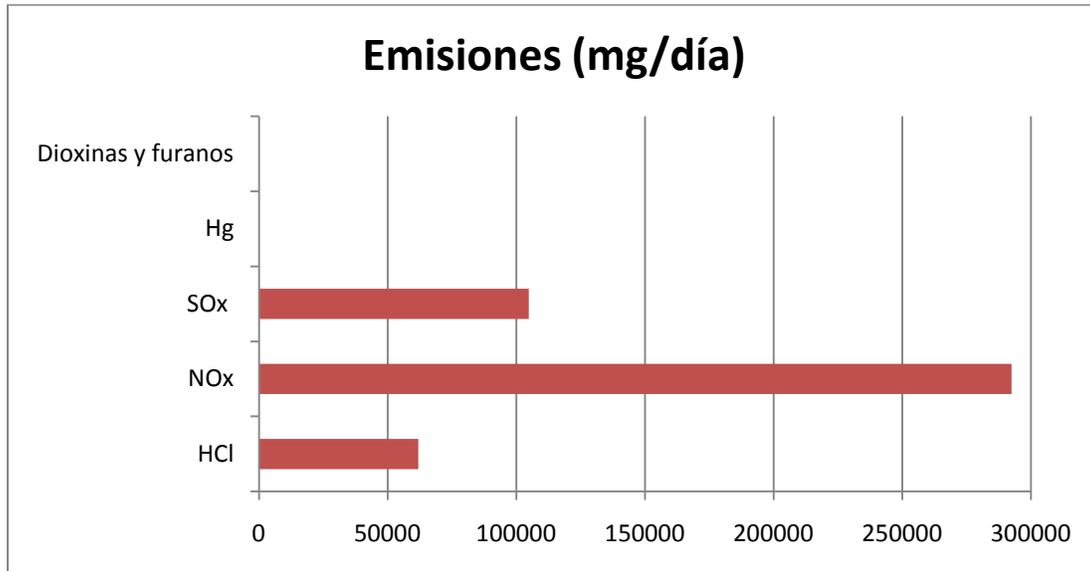


Gráfico 2. Representación de las emisiones de los principales contaminantes del sistema de gasificación.

Elaboración: propia

En este apartado se llevó a cabo una descripción de los principales sistemas de gasificación que se operan actualmente en el mundo, con lo cual se obtuvo una generalización del sistema de gasificación, la cual consta de las siguientes etapas: transportación de RSU, compactación de RSU, un pretratamiento que consiste en una desgasificación, gasificación y fundición, homogenización del slag, enfriamiento del gas, purificación del gas, tratamiento de aguas y generación de energía. Estas actividades son las que se utilizarán para llevar a cabo el EsIA. También se llevó a cabo una estimación de la concentración de los principales contaminantes emitidos, esta estimación se hizo en base a la cantidad de residuos orgánicos que se obtienen por día, ya que los contaminantes principales que se obtienen provienen de la formación del syngas, el cual se genera en base a la cantidad de materia orgánica.



2.2 *Impacto ambiental*

El impacto ambiental consiste en cualquier acción o actividad que cause una alteración en el medio ambiente, ya sea favorable o desfavorable. La evaluación del impacto ambiental es un instrumento para prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente, a través de este se plantean opciones de desarrollo que sean compatibles con el ambiente y los recursos naturales.

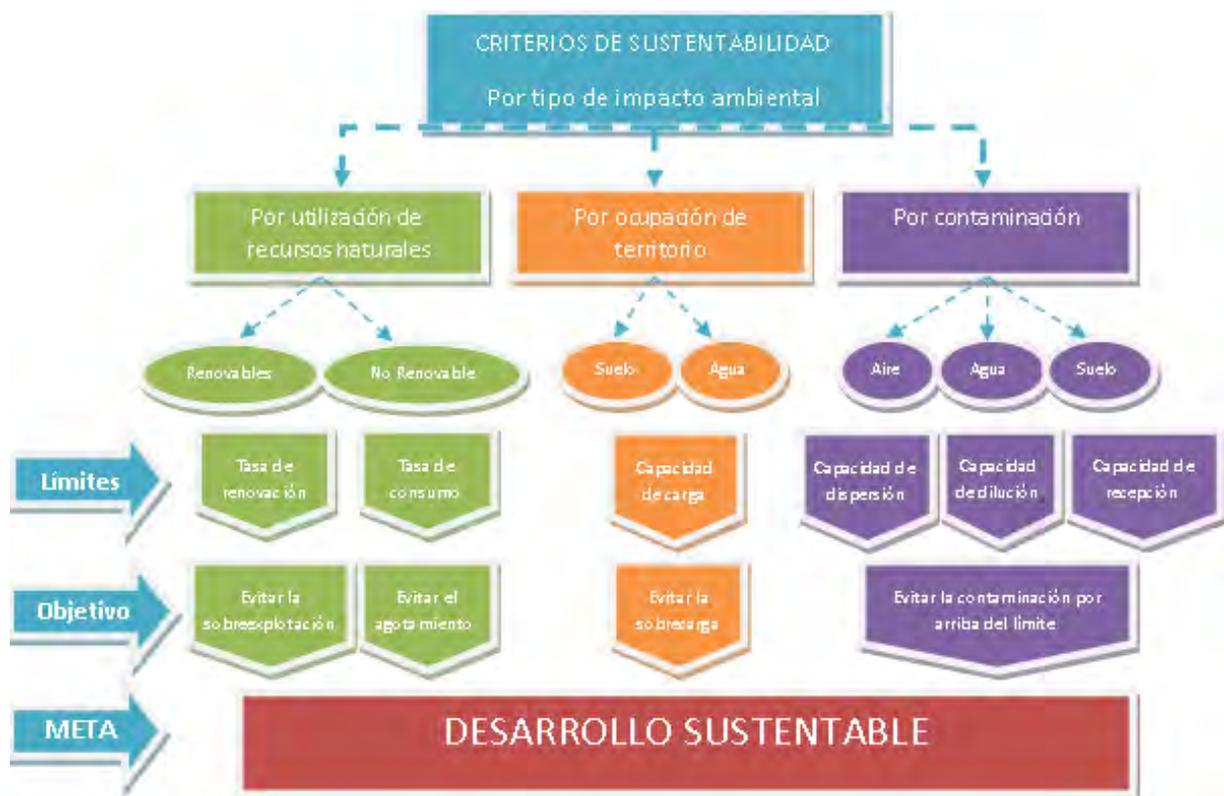


Figura 10. Criterios de sustentabilidad

Fuente: Modificado de (21)

El objetivo de dicha evaluación consiste en alcanzar un desarrollo sustentable, con lo cual se preverá cualquier daño que pueda ocasionar. La sustentabilidad ambiental se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos



naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras.

Uno de los principales retos que enfrenta México es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social(21). En la Figura 10 se muestran los criterios de sustentabilidad por tipo de impacto ambiental.

2.2.1 Evaluación del impacto ambiental (EIA)

La evaluación de impacto ambiental es un instrumento de la política ambiental, cuyo objetivo es prevenir, mitigar y restaurar los daños al ambiente así como la regulación de obras o actividades para evitar o reducir sus efectos negativos en el ambiente y en la salud humana.

A través de este instrumento se plantean opciones de desarrollo que sean compatibles con la preservación del ambiente y manejo de los recursos naturales.

Se conforma por dos partes:

- Una parte técnico-científica, proceso analítico que tiene por objeto identificar (determinar las relaciones causa-efecto), valorar (cuantificar e interpretar) y corregir de forma preventiva, el impacto ambiental de un proyecto o actividad en el caso de que se ejecuten (Estudio de Impacto Ambiental, EsIA).
- Una parte jurídico-administrativa, trámites administrativos conducentes a la aceptación, modificación o rechazo de un proyecto o actividad por parte de la Administración, en función de su incidencia sobre el medio ambiente.



El objetivo de la evaluación del impacto ambiental es la sustentabilidad, pero para que un proyecto sea sustentable debe considerar además de la factibilidad económica y el beneficio social, el aprovechamiento razonable de los recursos naturales.

El proyecto tiene como propósito implementarse en el D. F. por lo que compete a la Secretaría de Medio Ambiente del gobierno del Distrito Federal dar su autorización, y el reglamento que se aplica es el Reglamento de Impacto Ambiental y de Riesgo del Distrito Federal. De acuerdo a las características del proyecto se puede clasificar como una actividad de instalaciones para el manejo de residuos sólidos, dentro de la segunda parte de la fracción L) “Construcción y operación de nuevas plantas para el tratamiento, incineración y disposición final de residuos sólidos” (Art. 6° del Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo del Distrito Federal) (22).

Aunque el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es relativamente nuevo, con el tiempo ha sufrido modificaciones de índole técnica, administrativa, jurídica y conceptual. Ha ido cambiando en forma sustancial su importancia dentro del esquema general de protección de los recursos naturales de México, lo cual se refleja en la estructura de los organismos que han sido responsables de aplicarlo.

En la actualidad la Dirección de Impacto Ambiental adscrita a la Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental, del Instituto Nacional de Ecología es la dependencia de la administración pública federal responsable de la ejecución de la EIA(21). Es necesario destacar que este instrumento no funciona de manera aislada. Por el contrario, está sujeto a las disposiciones que se derivan de la LGEEPA a través de otros instrumentos de la política ambiental, como puede ser la planeación ambiental, el ordenamiento ecológico del territorio o las normas oficiales mexicanas en materia ambiental.



El EIA es aplicable a proyectos, planes urbanísticos, y planes o programas de infraestructuras físicas. Se valoran los efectos directos e indirectos de cada propuesta sobre los sistemas naturales y sociales-ciudadanos, la fauna, la flora, el suelo, el aire, el agua, el clima, el paisaje, y la estructura y función de los ecosistemas posiblemente afectados. Se estiman los efectos sobre los bienes materiales, el patrimonio cultural, las relaciones sociales y las condiciones de bienestar común, como ruidos, vibraciones, olores y emisiones luminosas, y la de cualquier otra incidencia ambiental relevante derivada del desarrollo de dicha acción.

Deberán someterse a una EIA los proyectos, públicos o privados, consistentes en la realización de las obras, instalaciones o de cualquier otra actividad comprendida en los sectores comprendidos dentro de los siguientes grupos:

- Agricultura, silvicultura, acuicultura y ganadería: Repoblaciones forestales, transformación de usos del suelo, concentraciones parcelarias, instalaciones ganaderas y de acuicultura.
- Industria extractiva: Explotaciones a cielo abierto de yacimientos minerales y demás recursos geológicos, minería subterránea, dragados y extracción de petróleo.
- Industria energética: Refinerías de petróleo bruto, centrales térmicas y nucleares, instalaciones para la producción de electricidad, vapor y agua caliente, tuberías para el transporte de gas y petróleo, parques eólicos.
- Industria siderúrgica y del mineral: Producción y elaboración de metales (amianto, hierro, acero, fabricación de materiales plásticos de cemento y vidrio, y productos cerámicos).
- Industria química, petroquímica, textil y papelera: Incluye curtidos de pieles y cuero, pasta de papel y cartón, tratamiento de celulosa, etcétera.



-
- Industrias de productos alimenticios: Incluye las instalaciones para el sacrificio de animales.
 - Proyectos de infraestructuras: Carreteras, con modificaciones y ampliaciones, ferrocarriles de largo recorrido, aeropuertos, puertos comerciales, pesqueros y deportivos, obras costeras destinadas a combatir la erosión y obras que pueden alterar la costa: diques, espigones, pantalanés.
 - Proyectos de ingeniería hidráulica y de gestión del agua: Presas, extracción de aguas subterráneas, trasvases, acueductos de larga distancia, plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - Proyectos de tratamiento y gestión de residuos: Instalaciones de tratamiento o eliminación de residuos peligrosos, instalaciones de eliminación de residuos no peligrosos mediante incineración o tratamiento químico y vertederos que reciban más de 10 toneladas por día o que tengan una capacidad de más de 25.000 toneladas, excluidos los vertederos de inertes y de materiales de construcción.
 - Otros proyectos como instalaciones de energía hidroeléctrica, aeródromos, urbanizaciones y complejos hoteleros, pistas de esquí, remontes y teleféricos, parques temáticos y vertederos de residuos no peligrosos, de inertes y de materiales de construcción.

2.2.2 *Estudio de Impacto Ambiental (EslA)*

Es el informe técnico donde se deberán identificar, describir, valorar y corregir los impactos que la fase de construcción y puesta en marcha de un proyecto o actividad produciría sobre el medio, los recursos y los procesos naturales. Es el que debe presentar el promotor del proyecto.

Ha de servir de apoyo a la decisión administrativa de aprobar, modificar o rechazar un proyecto o actividad.



✓ *Objetivos EsIA:*

- Interpretar y analizar minuciosamente el proyecto, determinando el entorno de influencia del mismo, así como las acciones con mayores consecuencias ambientales, tanto positivas como negativas.
- Estudiar el medio afectado por el proyecto, identificando los elementos (bióticos, abióticos y socio-económicos) que más podrían verse alterados, y valorando sus rasgos más singulares y su calidad ambiental.
- Establecer el tipo de relaciones entre las acciones del proyecto y los elementos del medio, valorando y cuantificando su magnitud.
- Proponer una serie de precauciones o de medidas correctoras aplicables a las situaciones o a los impactos más críticos, con el fin de reducirlos a niveles menos graves.

✓ *Fases de un EsIA*

- Descripción del proyecto y sus acciones, descripción general del proyecto y exigencias previsibles en el tiempo, en relación con la utilización del suelo y de otros recursos naturales. Estimación de los tipos y cantidades de residuos vertidos y emisiones de materia o energía resultantes.
- Examen de alternativas. Exposición de las principales alternativas estudiadas y una justificación de las principales razones de la solución adoptada, tomando en cuenta los efectos ambientales.
- Inventario ambiental y descripción de las interacciones ecológicas o ambientales claves
- Identificación y valoración de los impactos. Evaluación de los efectos previsibles directos e indirectos del proyecto sobre la población, la fauna, la flora, el suelo, el aire, el agua, los factores



climáticos, el paisaje y los bienes materiales, incluido el patrimonio histórico artístico y el arqueológico.

- Plan de medidas protectoras y correctoras. Establecimiento de medidas previstas para reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales significativos.
- Programa de vigilancia ambiental. Establecimiento de controles para el seguimiento de las obras en la fase de construcción del proyecto, y para la toma de datos durante las primeras etapas de la fase de funcionamiento.
- Documentación de síntesis. Resumen del estudio y conclusiones en términos fácilmente comprensible. Informe, en su caso, de las dificultades informativas o técnicas encontradas en la elaboración del mismo.(23)

El EsIA debe incorporar una descripción minuciosa de los tipos, cantidades y composición de residuos vertidos y emisiones de materia o energía resultantes, incluida la contaminación del agua, aire y suelo, ruidos, vibraciones, calor, olores, radiaciones y emisiones luminosas, tanto en la fase de construcción como en las de funcionamiento y de finalización de la actividad, así como la normatividad involucrada. (24)

2.2.3 Metodologías del EsIA

En la actualidad se conocen más de sesenta métodos diferentes aplicables en la evaluación de impactos ambientales, sin embargo muy poco de esos métodos se consideran lo suficientemente rigurosos, sistemáticos y objetivos, como para poder utilizarse indistintamente ante cualquier proyecto en cualquier lugar, al margen de las particularidades de situaciones concretas. En la mayoría de los casos hay que ajustar el método a la situación real físico-natural y socioeconómica de un



determinado lugar. En la realidad es muy frecuente utilizar lo que se conoce como metodologías *ad hoc* (utilización de uno o varios de los métodos, según los requerimientos del proyecto en cuestión).

Aspectos a considerar al aplicar una metodología en un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental:

1. La actividad o proyecto concreto a evaluar. Según el proyecto o actividad que se evalué se ha de hacer de una forma más compleja y rigurosa.
 - a. “Evaluación de impacto ambiental Detallada”, para proyectos con un gran impacto. En este caso se requieren métodos de identificación y valoración de impactos cuantitativos y globales
 - b. “Evaluación de impacto ambiental Simplificado”, para proyectos con un menor impacto. Es suficiente en estos casos aplicar métodos de identificación numéricos sencillos o cualitativos.
2. El factor ambiental que se considere. Resulta de mayor interés centrarse en impactos localizados en factores ambientales concretos, por su marcada gravedad o singularidad dentro del proyecto.

2.2.3.1 Métodos de Evaluación de Impacto Ambiental

Básicamente se pueden clasificar en los siguientes bloques, Figura 11, que son los aspectos más importantes que debe abarcar un Estudio de Impacto Ambiental: métodos de identificación, métodos de predicción y métodos de valoración de impactos ambientales.

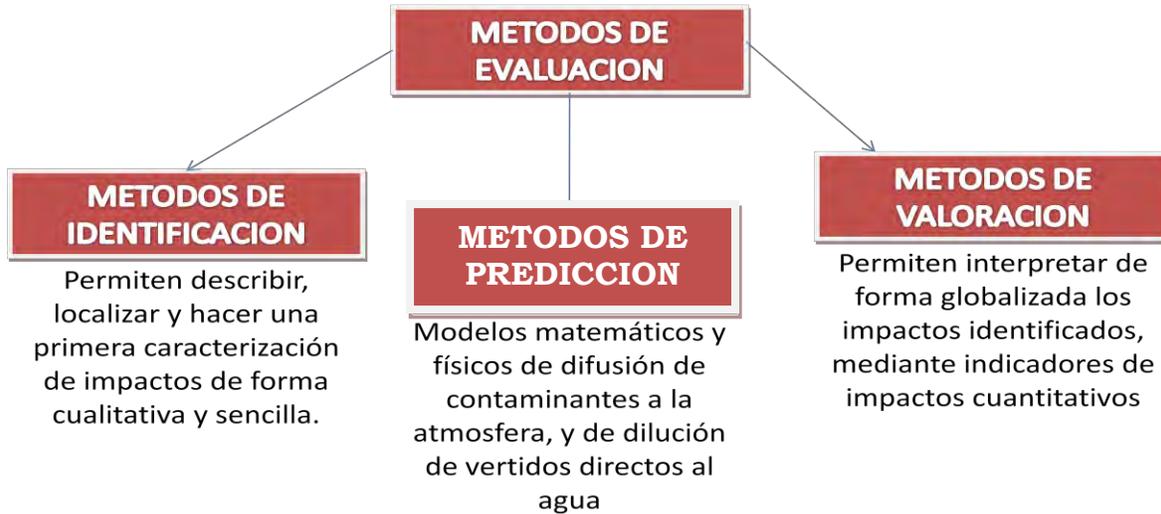


Figura 11. Clasificación de los métodos de evaluación de impacto ambiental

Elaboración propia

2.2.3.1.1 *Métodos de identificación de impactos ambientales.*

Consiste en determinar los factores del medio alterados por determinadas acciones de un proyecto, caracterizando las interacciones entre ambos, al menos de forma cualitativa. Permiten describir y localizar de forma clara y esquemática los impactos, a la vez que se hace una primera tipificación de los mismos de forma cualitativa sencilla, para posteriormente valorar más rigurosamente los impactos más significativos. Métodos de identificación más utilizados:

✓ *Listas de revisión o chequeo.*

Métodos de identificación cualitativos y semi-cualitativos que pueden ser de varios tipos según incluyan:

- Acciones asociadas con proyectos que puedan producir impactos.
- Factores o componentes ambientales susceptibles de ser alterados.



- Parámetros o indicadores de impactos representativos de una magnitud.

Se trata prácticamente de listas elaboradas por expertos de acciones e incluso de indicadores ambientales que sirven de recordatorio de los temas más importantes a considerar en un Estudio de Impacto ambiental.

✓ *Matrices causa-efecto.*

Métodos cualitativos, donde en cuadros de doble entrada se hacen corresponder las acciones de un proyecto con los factores ambientales a los que afectan, indicando en las casillas de interacción sus impactos sobre el medio, bien con simples descripciones, códigos numéricos, escalas de colores, o con otros códigos. Son de gran utilidad para valorar alternativas de un mismo proyecto.

En la Tabla 10 se presenta un ejemplo de matriz causa-efecto, los impactos de cada acción del proyecto sobre cada elemento del medio se representan en cada casilla con una intensidad de color diferente según la importancia del mismo.

Tabla 10. Ejemplo de matriz causa-efecto

Acciones	Proyecto (Fase construcción)		Proyecto (Fase Funcionamiento)		Total
	Acción 1	Acción 2	Acción 3	Acción 4	
Factores					
F1 – Aire					
F2 – Agua					
F3 – Suelo					
F4 – Flora					
F5 – Fauna					
F6 – Paisaje					
F7 – Socioeconómico					
Total					



- *Matriz Leopold*

Fue uno de los primeros métodos que se desarrollaron, por requerimiento del Ministerio del Interior de Estados Unidos; como sistema de información para servir de documento guía en informes de impacto ambiental (1971).

Consiste en una matriz de doble entrada, donde las columnas son acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente, y las filas son los factores del medio susceptibles de ser alterados. El modelo se diseñó considerando 100 acciones y 88 factores ambientales, pero posteriormente se ha ido modificando para distintos proyectos, por lo cual se conoce con el nombre de matriz de Leopold reducida o modificada. Un ejemplo de la matriz de Leopold reducida se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Ejemplo de matriz de Leopold reducida con algunas acciones y factores

	Industrias Edificios	Carreteras Puentes	Voladuras Perfor.	Excavación	Procesado Minerales	Transporte Carretera	Residuos
Contaminación Agua							
Contaminación Atmósfera							
Erosión							
Arbustos							
Hierbas							
Medio Acuático							
Peces							
Paisajes							
Estado salvaje							
Sp. Raras							
Salud y seguridad							

En cada casilla de interacción causa-efecto, marcada con una diagonal (como se muestra en la Figura 12), se indica la magnitud o intensidad del impacto (en la esquina superior izquierda, junto al signo), y la importancia o ponderación del



factor considerado según su peso en el proyecto (en la esquina inferior derecha), ambas puntuadas según una escala creciente de 1-10. La importancia también se refiere a la extensión o zona territorial afectada.

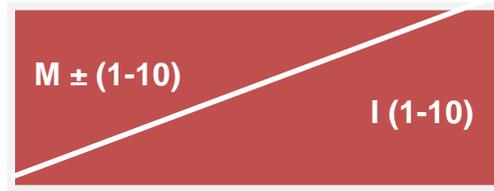


Figura 12. Casilla cruce, matriz de Leopold = \pm (1-10) / Importancia (1-10)

- ✓ *Método del CNYRPAB (Departamento de Desarrollo y Planificación Regional del Estado de Nueva York).*

Se utilizan dos matrices, la primera es semejante a la de Leopold, en la que se relacionan las condiciones iniciales del ambiente y el estado de los recursos naturales con las posibles acciones sobre el medio. Se marcan en la cuadrícula a las que corresponde un impacto ambiental directo y se les califica en un número de orden. Estos impactos calificados se interrelacionan entre ellos mediante el empleo de una segunda matriz con objeto de identificar los impactos directos. De tal forma que, se destacan los impactos directos e indirectos que produce una determinada acción y también a la inversa. Se pueden analizar las causas que dan lugar a un impacto dado. Es estático, ya que no toma al tiempo como variable.

- ✓ *Método Bereano*

Se basa en una matriz para la evaluación de los impactos asociados a las estrategias tecnológicas alternativas. Se comparan alternativas tomando como base ciertos parámetros, seleccionados de manera que reflejen los efectos diferenciales que las distintas alternativas producirán sobre el Medio Ambiente.



✓ *Método de Sorensen*

Los usos alternativos del territorio se descomponen en un cierto número de acciones, referidas a las condiciones iniciales del área objeto de estudio, determinando las condiciones finales una vez estudiados los efectos, utilizando para ello varias tablas y gráficas, es decir:

- Una tabla cruzada: usos – acciones
- Una tabla cruzada: acciones – condiciones iniciales
- Un gráfico:
 - Condiciones iniciales – condiciones finales
 - Efectos múltiples – acciones correctivas

✓ *Guías metodológicas del MOPU (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo)*

Metodología específica para casos concretos de construcción de carreteras y ferrocarriles, grandes presas, repoblaciones forestales y aeropuertos.

Estas guías parten de una descripción de la situación pre-operacional a la que se sigue una previsión de impactos, incluyendo criterios y metodologías de evaluación, en las que se incluyen alternativas.

✓ *Método del Banco Mundial*

BIRF, Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Los objetivos de esta metodología se fijan en la identificación y medición de los efectos de los proyectos sobre el Medio Ambiente señalando los puntos generales que sirven de base para analizar las posibles consecuencias del proyecto, indicando la información precisa y el tipo de experiencia necesaria que se requieren para estudiar con profundidad los aspectos ambientales de los diferentes proyectos y proporcionando una estructura para la formulación de procedimientos y la consideración sistemática de



los factores ambientales. Se realiza una identificación de factores y posibles efectos ambientales para facilitar la toma de decisiones según las alternativas presentadas.

2.2.3.1.2 Métodos de predicción de Impactos Ambientales.

Suelen emplearse modelos matemáticos o físicos, que se complementan con ensayos experimentales in situ (en el lugar). Su finalidad es predecir la magnitud de la alteración de un proyecto sobre la calidad del aire y del agua, principalmente. Están basados en modelos de difusión de contaminantes en la atmósfera o de dilución de contaminantes en el agua.

✓ Modelos de difusión de contaminantes a la atmósfera.

Se trata de determinar la incidencia de las emisiones de contaminantes de una instalación o de un proyecto sobre la calidad del aire. En la Figura 13 se presenta el diagrama correspondiente al modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

Para llevar a cabo un modelo de difusión de contaminantes a la atmósfera se han de tener en cuenta aspectos como:

- La difusión y el transporte del contaminante (condiciones de emisión, tipos de focos, penachos, condiciones meteorológicas, condiciones topográficas)
- Las transformaciones químicas (contaminantes secundarios)
- Los procesos de deposición (sedimentación, absorción, precipitación, etc.)

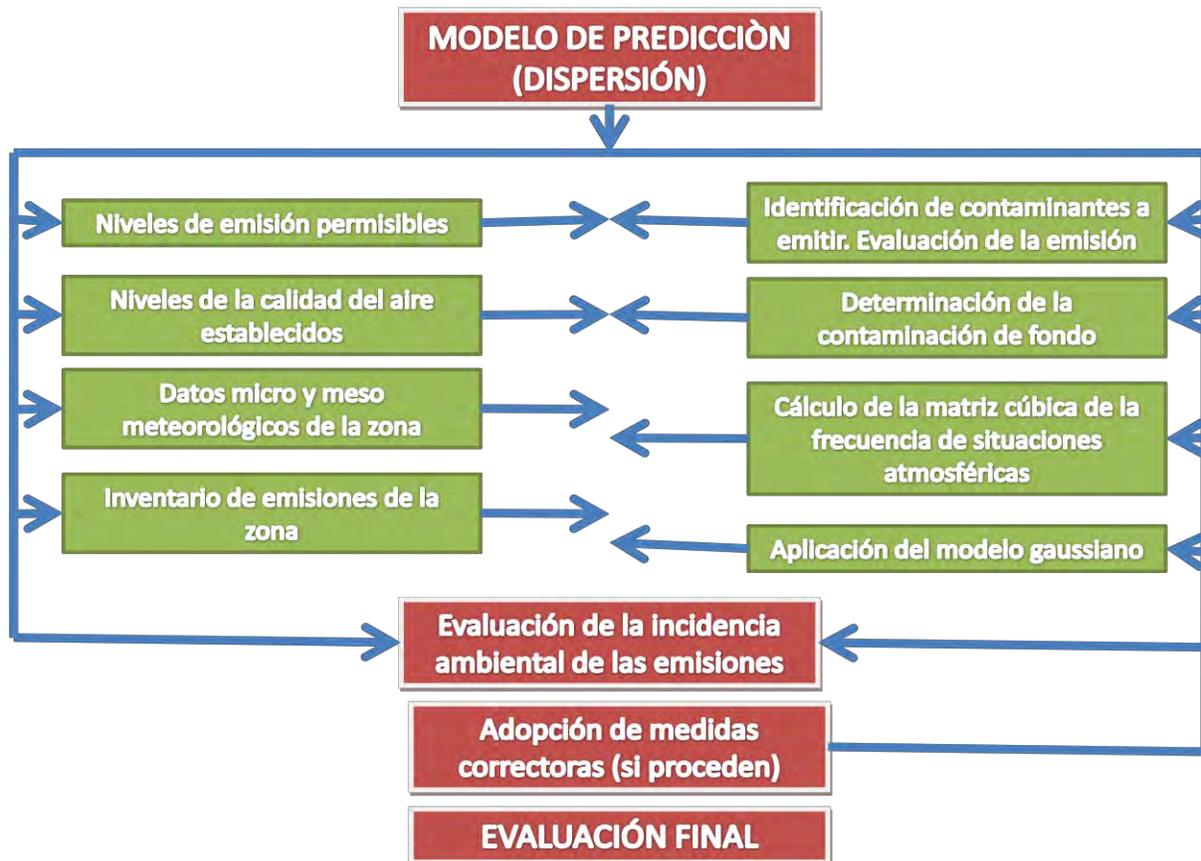


Figura 13. Diagrama correspondiente al modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera

✓ *Modelos de dilución de vertidos directos en el agua*

Se fundamentan en la misma idea que los anteriores, y también hay una gran variedad de métodos: modelos de mezcla, modelos que calculan la dilución de un parámetro, modelos que evalúan la capacidad asimilativa de una carga contaminante por un curso de agua, modelos de dispersión de líquidos residuales en el mar, modelos de optimización del diseño de sistemas de depuración, entre otros.



2.2.3.1.3 *Métodos de valoración de Impactos Ambientales*

Métodos aplicados para evaluar de forma integrada y global los impactos de un proyecto sobre el conjunto del medio. Se incluyen métodos cualitativos (basados en criterios de orden, jerarquía o rangos), tanto cualitativos (utilizan parámetros medibles de forma objetiva).

- **Métodos cuantitativos**

Los métodos cuantitativos son más adecuados para obtener impactos totales sobre el medio ambiente, siempre y cuando dispongan de procedimientos o sistemas que permitan homogenizar todas las medidas a las mismas unidades.

Métodos de transparencias y superposiciones gráficas. Consisten en suponer, sobre un mapa del área de estudio convenientemente subdividida (retículas), transparencias que mediante códigos de color y símbolos, indiquen el grado de impacto previsible de cada subzona, en el caso de llevarse a cabo el proyecto propuesto. Cada transparencia se corresponde con un factor ambiental y la graduación de tonos de color puede dar idea de la mayor o menor magnitud del impacto.

No obstante, si en lugar de introducir en cada mapa temático códigos de impacto sobre un factor ambiental, se introducen códigos relativos a criterios de calidad de ese factor se pueden obtener mapas de capacidad de acogida y mapas de vulnerabilidad de zonas concretas a determinadas actuaciones. Como ejemplo se destacan el Método de Mc Harg y el Sistema IRAMS (Impact Recording and Minimization System). Básicamente el fundamento de estos métodos es lo que hoy se aplica con los Sistemas de Información Geográfica (S.I.G).



✓ *Método de Mc Harg.*

Se obtiene una matriz de incompatibilidad y se sintetizan estos datos en un mapa de capacidad o adecuación. En la Figura 14 se muestra la secuencia del método de Mc Harg.

También realiza un inventario económico y de visualización del paisaje que, junto con la matriz de adecuación, permite a la autoridad competente instrumentar la planificación.

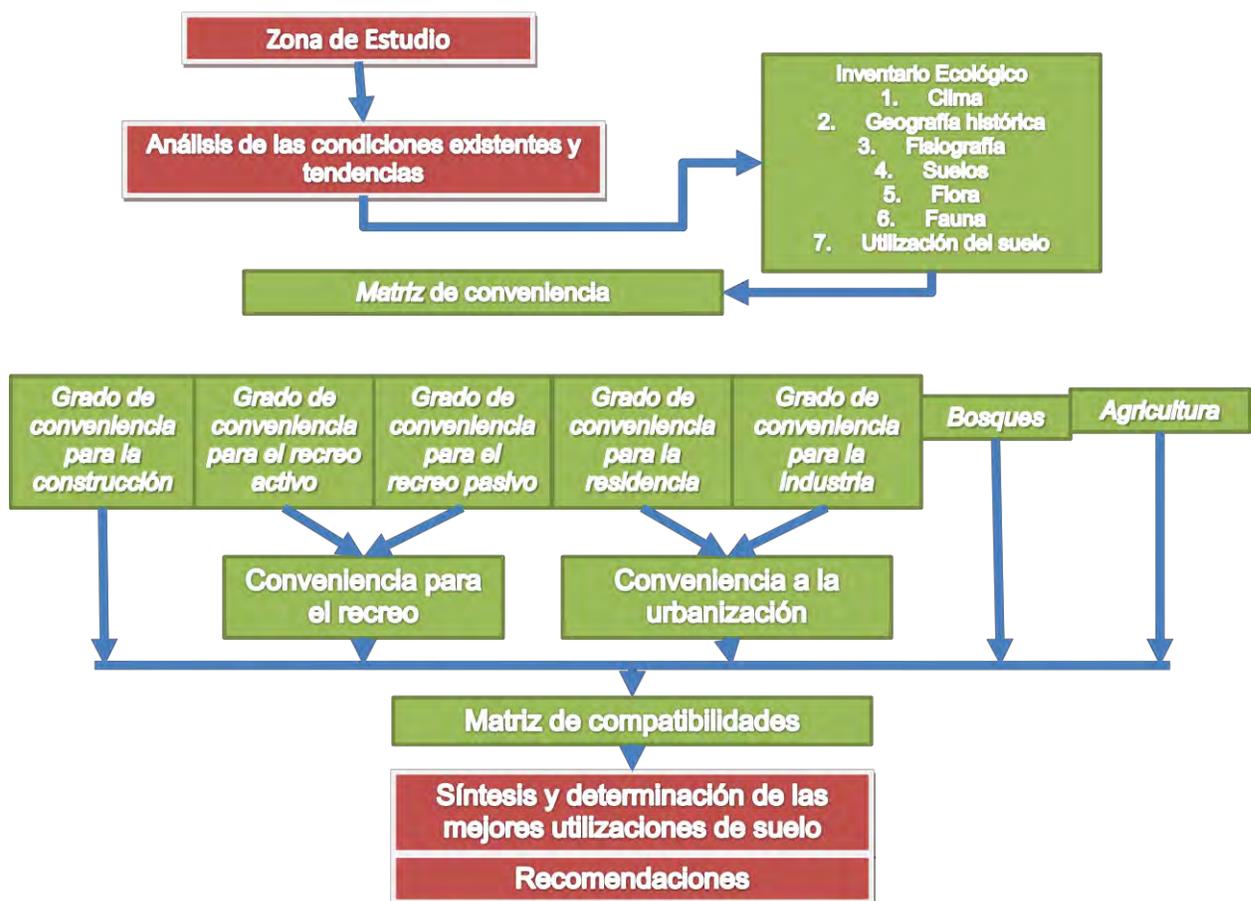


Figura 14. Secuencia del método de Mc Harg



✓ *SIG (Sistema de Información geográfica)*

Se concibe como una tecnología cuyo propósito general es el de manejar datos, en formato digital, datos cuya localización geográfica es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión.

También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer necesidades concretas de información.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En la Figura 15 se muestra un ejemplo de un sistema de información geográfica.

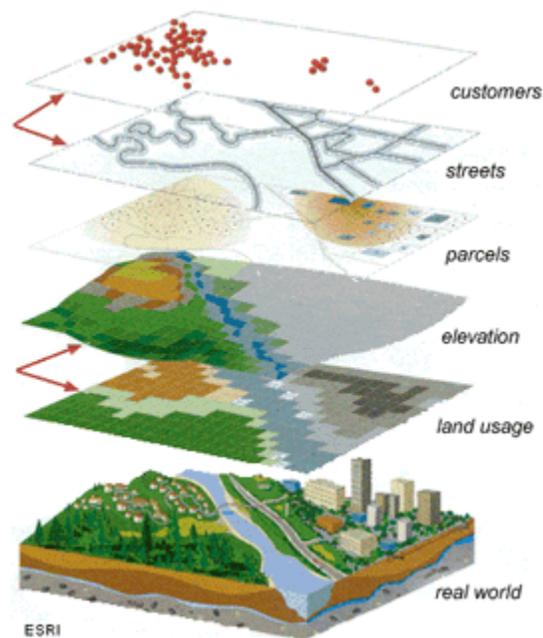


Figura 15. Representación de un Sistema de Información Geográfica



✓ *Método de Tricart*

Su objetivo es recoger una serie de datos y conocimientos científicos para comprender la dinámica del medio natural y destacar las zonas y factores que pueden limitar determinados usos del territorio.

Se opera mediante la interacción dinámica entre procesos y sistemas previamente identificados, analizados y localizados; su base informativa la constituye la cartografía de todos los elementos naturales, resultando bastante útil para la ordenación de los recursos hídricos.

✓ *Métodos numéricos*

Efectúan una estimación de la calidad ambiental y de su variación en un lugar donde se va a realizar un proyecto o una acción determinada, mediante la utilización de expresiones matemáticas donde se relacionan variables de impacto.

Índices de impacto.

Se utiliza para evaluar impactos ambientales sobre el paisaje.

$$IP = (CI_2 - CI_1) * F_v$$

Donde:

IP = Índice de Alteración Paisajística (-200<IP<200)

CI = Calidad visual intrínseca del paisaje (valorada según los elementos del paisaje y su singularidad); (0<CI<100)

CI₁ = Calidad intrínseca del paisaje antes de la actuación

CI₂ = Calidad intrínseca del paisaje después de la actuación

F_v = Factor de visibilidad (según los puntos de observación, distancia de observación, frecuencia de observación, y cuenca visual); (1<F_v<2)



- Métodos cualitativos

Estos métodos se basan fundamentalmente en valorar los impactos utilizando características o cualidades que muchas veces no son medibles de forma objetiva, siendo necesario asignarles escalas de orden o prioridad.

Como ejemplo se propone el método de valoración cualitativa propuesto por Conesa, el cual parte de una matriz de impactos que es del tipo causa-efecto; en la Tabla 12 se presentan los componentes ambientales de este método.

A modo de cuadro de doble entrada se dispondrán en filas los factores medioambientales que se verán afectados por el proyecto, y en las columnas las acciones impactantes diferenciadas para las distintas fases del proyecto. Después se marcarán las posibles interacciones entre acciones y factores, y se valorarán sus importancias respectivas mediante criterios cualitativos, obteniendo los resultados finales tanto en valores absolutos como relativos, para poder dar idea del efecto global sobre todo el medio. A la hora de construir la matriz de identificación de impactos, el medio ambiente se subdivide en sistemas, subsistemas y dentro de cada uno de estos en componentes ambientales. A su vez cada componente ambiental se puede desglosar en factores o parámetros dependiendo del nivel de minuciosidad del estudio.

Considerando que cada componente es una parte del medio ambiente y que no todas ellas tienen la misma importancia, el método atribuye a cada una un peso ponderal o unidades de importancia (UIP), que resulta de la distribución de mil unidades del total del medio (con calidad óptima), según la mayor o menor contribución del factor o componente a la situación del medio ambiente, como se lleva a cabo en el ejemplo de la Tabla 12.



Tabla 12. Ejemplo de la valoración de los componentes ambientales del método de valoración cualitativa propuesto por Conesa.

Sistema	Subsistema	Componente ambiental	UIP
Medio Físico	Medio Inerte	Aire	60
		Clima	60
		Agua	60
		Tierra y suelo	60
		Procesos	60
		Total M. Inerte	300
	Medio biótico	Vegetación	60
		Fauna	60
		Procesos	60
	Total M. biótico	180	
Medio Perceptual	Valor testimonial	20	
	Paisaje intrínseco	20	
	Intervisibilidad	20	
	Componentes singulares	20	
	Recursos científico-culturales	20	
Total M. Perceptual	100		
Total Medio Físico			580
Medio Socioeconómico y cultural	Medio Rural (Usos)	Recreación al aire libre	20
		Productivo	20
		Conservación de la naturaleza	20
		Viarío rural	20
		Procesos	20
		Total M. Rural	100
	Medio de núcleos habitados	Estructura de los núcleos	30
		Estructura urbana y equipamientos	30
		Infraestructura y servicios	40
		Total M. Núcleos habitados	100
	Medio Socio-cultural	Aspectos culturales	30
		Servicios colectivos	30
		Aspectos humanos	30
Patrimonio histórico y artístico		30	
Total M. Socio Cultural	120		
Medio Socio-económico	Economía	50	
	Población	50	
	Total M. Económico	100	
Total M. Socioeconómico y cultural			420
Total Medio Ambiente afectado			1000



Las columnas de la matriz se corresponden con el proyecto, en la Tabla 13 se muestra un ejemplo de la matriz de impactos. El método suele presentar dos matrices de identificación, una para la fase de construcción y otra para la de funcionamiento. En este caso además se adicionan dos columnas más, que corresponden al efecto total, obtenido por los efectos totales de la fase de funcionamiento más los efectos permanentes de la fase de construcción.

Tabla 13. Ejemplo de matriz de impactos de Conesa

		Proyecto	Acciones impactantes				
			Fases de Construcción				
			1	2	3	n	n-1
Factores impactados		Acción 1	Acción 2	Acción 3	Acción n	Acción (*)	
Subsistema considerado	Componente 1	Factor 1					
		Factor 2					
		Factor p					
		Total Impacto componente 1 (*)					
	Componente 2	Factor 1					
		Factor 2					
		Factor j					
		Factor p					
		Total impacto componente m (*)					
	Total de impacto del Subsistema						



Tabla 14. Valorización de los impactos a tomar en cuenta para el método Conesa.

NATURALEZA		INTENSIDAD (IN) (grado de destrucción)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
Impacto perjudicial	-	Media	2
		Alta	4
		Muy alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX) Área de influencia		MOMENTO (MO) Plazo de manifestación	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	12		
PERSISTENCIA (PE) Permanencia del efecto		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
SINERGIA(SI)Potencialización de manifestación		ACUMULACIÓN (AC) Incremento progresivo	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFEECTO (EF) Relación causa-efecto		PERIODICIDAD(PR) Regularidad manifestación	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC) Medios humanos		IMPORTANCIA (I)	
Recuperable inmediato	1	$I = 3*IN + 2*EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC$	
Recuperable medio plazo	2		
Mitigable, compensable	4		
Irrecuperable	8		

Creada la matriz e identificadas las interacciones correspondientes en las casillas de cruce, se hace una depuración de la misma, desestimando aquellos impactos que no son lo suficientemente significativos, y se valora la importancia de los restantes. Para calcular la importancia de los impactos de cada acción sobre cada factor, se consideran una serie de cualidades de los mismos, relacionándolas en



un algoritmo determinado, donde cada cualidad es puntuada según el tipo de impacto con un valor entre uno y ocho.

Con lo cual se obtiene la importancia individualizada del impacto de cada acción de la fase de construcción y de cada acción de la fase de funcionamiento del proyecto sobre los distintos factores del medio.

Posteriormente es necesario valorar los impactos totales, tanto para cada una de las fases como para cada componente, subsistema y sistema del medio ambiente, para lo cual se calculan importancias absolutas, mediante suma de importancias individualizadas, e importancias totales relativas a partir de las importancias absolutas sumadas de forma ponderada con las UIP.

2.2.3.1.4 Sistemas cuantitativos

Son los métodos más idóneos para la evaluación de impactos ambientales.

A. Métodos parciales.

Modelos particularizados y desarrollados para evaluar de forma minuciosa e individualizada impactos sobre algunos aspectos concretos. Dentro de estos modelos se podrían considerar los modelos de predicción de la calidad del aire y el agua.

B. Métodos globales.

Permiten expresar los diversos efectos del medio en unidades equiparables y por tanto sumables para dar impactos totales sobre el medio. También permiten considerar los impactos resultantes tras la aplicación de medidas correctoras. Se destaca el Sistema Battelle.



i. Sistema Battelle

Es un modelo sistemático, en contraposición con el modelo matricial de Leopold, y permite evaluar cuantitativamente los impactos mediante la utilización de indicadores homogéneos y funciones de transformación. Es el primer sistema en homogenizar y comparar unidades (ha, %, ppm, etc.)

Ofrece un esquema ramificado que contiene 78 parámetros ambientales, representativos de cada uno de los aspectos del medio y del impacto ambiental de las acciones de un proyecto determinado. Estos parámetros se ordenan según 18 componentes ambientales y estos a su vez se agrupan en cuatro categorías ambientales, Ecología, Contaminación, Aspectos estéticos y Aspectos de interés humano, y a cada uno se le asignan UIP's.

A cada parámetro se le atribuye un índice ponderal que se expresa en forma de UIP y se determina mediante la distribución de 1.000 unidades totales del medio ambiente. Así estas 1.000 unidades se reparten entre las cuatro categorías, según el peso que se estime para cada una, distribuyendo a su vez las unidades de cada región entre sus componentes, y las que corresponden a estos entre los parámetros indicadores.

Para homogenizar las unidades, las medidas se hacen corresponder con unidades de calidad ambiental (CA), que toman valores entre cero (calidad pésima del indicador) y uno (cantidad óptima), mediante una representación gráfica o funciones. Estas funciones de transformación pueden ser lineales o de otra forma (abscisas – medida real del parámetro, ordenadas – calidad ambiental, de cero a uno) (24).



2.2.4 **Matriz de Leopold**

Se llevó a cabo una comparación entre los métodos más comunes para el EIA, resultando la matriz de Leopold modificada, el método más práctico y factible; la cual consiste en una matriz de doble entrada, donde las filas son acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente, y las columnas son los factores del medio susceptibles a ser alterados.

En cada casilla de interacción causa-efecto, marcada con una diagonal (casilla de cruce), se indica la magnitud o intensidad del impacto (en la esquina superior izquierda, junto al signo), y la importancia o ponderación del factor considerado según su peso en el proyecto (en la esquina inferior derecha), ambas puntuadas según una escala creciente de uno a tres, como se muestra en la Figura 16. La importancia también se refiere a la extensión o zona territorial afectada.

El signo positivo o negativo, indicará si el impacto dañara o beneficiará al sitio. La importancia se valora con respecto a la relevancia que tiene cada impacto sobre los factores ambientales.



Figura 16. Casilla Cruce, matriz Leopold = \pm Magnitud (1-3) / Importancia
Elaboración: propia

La interpretación para la escala de la magnitud y de la importancia se muestra en la Tabla 15 que aparece a continuación:



Tabla 15. Interpretación de escala de magnitud e importancia que se utilizará en el EsIA

Escala	Magnitud	Importancia
1	Bajo, el impacto es casi nulo o despreciable	Irrelevantes
2	Medio, el impacto es notable	Relevante
3	Alto, el impacto es fuerte	Muy relevante

Elaboración: propia

Después de hacer una revisión de las principales metodologías para realizar un estudio de impacto ambiental (EsIA) se optó por escoger un método de identificación de impactos, la matriz de Leopold modificada por ser el método que más se adecua al tipo de proyecto y también por ser un método muy práctico que puede adaptarse a cualquier tipo de proyecto.



3 **NORMATIVIDAD DEL DISTRITO FEDERAL APLICABLE**

En general, la normatividad ambiental tiene su base en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, de ella se derivan las Leyes y Reglamentos Federales y Estatales, así como Normas Oficiales entre los que se encuentran:

- Ordenamientos Jurídicos Federales:
 - o Ley Federal Sobre Metrología y Normalización
 - o Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. (LGEEPA)
 - o Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
 - o Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos
 - o Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.
 - o Reglamento de la LGEEPA en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.
 - o Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
 - o Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.
 - o Convenios y Acuerdos Nacionales
- Ordenamientos Jurídicos Estatales:
 - o Ley Ambiental del Distrito Federal
 - o Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal
 - o Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal
 - o Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal
- Normas Oficiales Mexicanas



3.1 **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

- Protección a la salud
- Cuidado del medio ambiente
- Conservación de los recursos naturales
- Prevención y control de la contaminación ambiental
- Elaboración de reglamentos del servicio de limpia pública y transporte de los residuos sólidos

En general, la normatividad ambiental tiene su base en los siguientes artículos establecidos en la Constitución Mexicana de los Estados Unidos Mexicanos:

- ARTÍCULO 4.- Este artículo hace referencia al derecho de protección a la salud.
- ARTÍCULO 25.- En el párrafo sexto, este artículo hace referencia al cuidado del medio ambiente.
- ARTÍCULO 27.- Este artículo se refiere a la conservación de los recursos naturales.
- ARTÍCULO 73. En la Fracción XVI, se refiere a la prevención y al control de la contaminación ambiental
- ARTÍCULO 115. Establece las atribuciones de los Estados y municipios en la elaboración de reglamentos del servicio de limpia pública y transporte de residuos sólidos a sus sitios de confinamiento



3.2 **Ordenamientos Jurídicos Federales**

Ordenamientos Jurídicos Federales

Ley Federal sobre Metrología y Normalización

Establece el mandato de implantar normas oficiales mexicanas.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)

- Preservación y restauración del equilibrio ecológico, y protección al ambiente
- Los sistemas de manejo y disposición de residuos sólidos no peligrosos
- Regular y controlar la generación, manejo y disposición final de los residuos peligrosos
- Expedir normas mexicanas a las que deberán sujetarse los sitios de disposición final, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones para la disposición final
- Implantación de mejorar en sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales
- Identificación de alternativas de reutilización y disposición de residuos sólidos
- Elaboración de un inventario de los residuos sólidos y las fuentes generadoras

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

- Establece el mandato de implantar normas oficiales mexicanas
- Prevenir la generación de residuos
- Promover la valorización y gestión de los residuos peligrosos, los RSU y de manejo especial
- Prevenir la contaminación de sitios con residuos y llevar a cabo su remediación

Reglamento de la LGEEPA en prevención y control de la contaminación atmosférica

- Emisión de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas
- Las emisiones por fuentes fijas no deberán exceder los niveles máximos permisibles que se establecen
- Define las fuentes fijas



Reglamento de la LGEEPA en registro de emisiones y transferencia de contaminantes

- Requisitos del registro ante SEMARNAT de instalaciones que emitan gases contaminantes
- Integración y actualización de un registro de emisión de contaminantes
- Las sustancias sujetas a reporte de competencia federal, los umbrales de reporte y los criterios técnicos y procedimientos para incluir y excluir sustancias serán determinadas en la Norma Oficial Mexicana (NOM) correspondiente.
- Dichas sustancias serán reguladas por las NOM's, deberán medirse utilizando los métodos, equipos, procedimientos de muestreo y reporte especificados en las NOM's

Reglamento de la LGPGIR

- Planes de manejo, registro, incorporación, condiciones particulares de manejo y sistemas de manejo ambiental
- Regulación de los residuos peligrosos en cuanto a identificación, categorías de generadores, registro, autorizaciones, disposiciones y criterios de operación de su manejo
- Los generadores de residuos peligrosos deben reportar su generación en la Cédula de Operación Anual (COA)
- La pirolisis, la gasificación y plasma son considerados en este reglamento para la disposición final de residuos peligrosos
- La valorización de los residuos se considera bajo un esquema de plan de manejo
- Promover planes de manejo de aplicación nacional
- Incentivar la valorización y minimización de los residuos
- Facilitar el aprovechamiento de los residuos
- Alentar la compra de productos que contengan materiales reciclables
- Incentivar el desarrollo de tecnologías económica, ambiental y socialmente factibles para el manejo integral de los residuos
- Identificación de los residuos peligrosos

- Ley Federal Sobre Metrología y Normalización

Este ordenamiento es considerado debido a que establece el mandato de implantar normas técnicas obligatorias (Normas Oficiales Mexicanas) que marcan las características y/o especificaciones que deben reunir los productos y procesos cuando puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el ambiente general y laboral, o para la preservación de los recursos naturales.



- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Se debe considerar esta Ley debido a que es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como de la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social.

En cuanto a los residuos sólidos ésta Ley señala que la LGEEPA 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; y su disposición final de los residuos sólidos no peligrosos, mediante rellenos sanitarios. Esto se encuentra contenido en los artículos 5º fracción V; 7º fracción XIII y 8º fracción XII de esta Ley.

De manera particular para la Federación se establece en los siguientes artículos los siguientes preceptos:

- ARTÍCULO 5, fracciones VI y XIX.- Regular y controlar la generación, manejo y disposición final de los residuos sólidos peligrosos para el ambiente y ecosistemas. Así como la de vigilancia del cumplimiento de esta Ley y ordenamientos que de ella se deriven.
- Capítulo IV de la Prevención y Control de la Contaminación del Suelo en el Artículo 137 párrafo segundo, expedir las normas mexicanas a las que deberán de sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos municipales.
- ARTÍCULO 138.- Establece como competencia de la Secretaría promover la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría entre los gobiernos estatales y municipales para Fracciones I y II, la implantación de mejoras en los sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de los residuos



sólidos municipales, e identificación de las alternativas de reutilización y disposición de estos, incluyendo la elaboración de un inventario de los mismos y sus fuentes generadoras.

- ARTÍCULO 150.- Los materiales y residuos peligrosos deberán ser manejados con arreglo a la presente Ley, su Reglamento y las normas oficiales mexicanas que expida la Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Energía, de Comunicaciones y Transportes, de Marina y de Gobernación. La regulación del manejo de esos materiales y residuos incluirá según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, reúso, reciclaje, tratamiento y disposición final.

El Reglamento y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el párrafo anterior, contendrán los criterios y listados que clasifiquen los materiales y residuos peligrosos identificándolos por su grado de peligrosidad y considerando sus características y volúmenes. Corresponde a la Secretaría la regulación y el control de los materiales y residuos peligrosos.

Asimismo, la Secretaría en coordinación con las dependencias a que se refiere el presente artículo, expedirá las normas oficiales mexicanas en las que se establecerán los requisitos para el etiquetado y envasado de materiales y residuos peligrosos, así como para la evaluación de riesgo e información sobre contingencias y accidentes que pudieran generarse por su manejo, particularmente tratándose de sustancias químicas.

- ARTÍCULO 151.- La responsabilidad del manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera. En el caso de que se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría y los residuos sean



entregados a dichas empresas, la responsabilidad por las operaciones será de éstas independientemente de la responsabilidad que, en su caso, tenga quien los generó.

Quienes generen, reúsen o reciclen residuos peligrosos, deberán hacerlo del conocimiento de la Secretaría en los términos previstos en el Reglamento de la presente Ley.

- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

La LGPGIR, se publicó el 8 de octubre de 2003 y tiene como objetivos fundamentales:

- 1.- Prevenir la generación de los residuos.
- 2.- Promover la valorización y gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial.
- 3.- Prevenir la contaminación de sitios con residuos y llevar a cabo su remediación.

En su ARTÍCULO 9 la ley establece que establece que, son facultades de las entidades federativas:

- Formular, conducir y evaluar la política estatal, así como elaborar los programas en materia de residuos de manejo especial
- Expedir los ordenamientos jurídicos que permitan darle cumplimiento conforme a sus circunstancias particulares, en materia de manejo de residuos de manejo especial, así como de prevención de la contaminación de sitios con dichos residuos y su remediación;



- Autorizar el manejo integral de residuos de manejo especial, e identificar los que dentro de su territorio puedan estar sujetos a planes de manejo;
 - Autorizar y llevar a cabo el control de los residuos peligrosos generados o manejados por micro generadores.
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera.

En este reglamento se encuentra contempladas las emisiones a la atmósfera en forma de gases y partículas que podrían ser emitidos como contaminantes atmosféricos.

Este reglamento es aplicable en todo el territorio nacional da facultades a los estados y municipios formular criterios ecológicos particulares a cada entidad federativa, que guarden congruencia con los que en su caso hubiere formulado la Federación en materia de contaminación atmosférica generada por fuentes artificiales o naturales, fijas y móviles.

- Capítulo II de la Emisión de contaminantes a la atmósfera, generada por fuentes fijas.
- ARTÍCULO 16. Las emisiones de olores, gases, así como de partículas sólidas y líquidas a la atmósfera que se generen por fuentes fijas, no deberán de exceder los niveles máximos permisibles de emisión e inmisión, por contaminantes y por fuentes de contaminación que se establezcan en las normas técnicas ecológicas que para tal expida la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Salud
- ARTÍCULO 17 bis Para los efectos de este Reglamento se consideran Subsectores específicos pertenecientes a cada uno de los sectores industriales señalados en el artículo 111 bis de la Ley, como fuentes fijas de



contaminación federal, entre las cuales se encuentra las de la industria del Petróleo y Petroquímica y de Generación eléctrica, tales como:

- I. Incluye las instalaciones que usan cualquier tipo de combustibles fósiles: líquidos, sólidos o gaseosos.
 - II. Por procedimientos no convencionales contaminantes, se excluyen las de núcleo eléctrico.
- Reglamento de la LGEEPA en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

Este ordenamiento establece el requisito del registro, ante la SEMARNAT, de aquellas instalaciones que por sus procesos emitan gases contaminantes al ambiente.

Es de observancia general en todo el territorio nacional y en las zonas en donde la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción, tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en lo que se refiere al Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

En este Reglamento se refiere a la Integración y Actualización de un registro de emisiones de contaminantes, en el que se incluye documentación tales como, cédulas, informes, reportes, licencias, permisos que en materia ambiental se tramiten ante la Secretaria o autoridad competente de las diferentes entidades federativas. Así como de la operación y lineamientos técnicos de dicho registró.

En particular el ARTÍCULO 18, establece que las sustancias sujetas a reporte de competencia federal, los umbrales de reporte y los criterios técnicos y procedimientos para incluir y excluir sustancias serán determinados en la Norma Oficial Mexicana correspondiente, la cual contemplará sustancias y contaminantes



del aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos peligrosos, así como compuestos orgánicos persistentes, gases de efecto invernadero y sustancias agotadoras de la capa de ozono.

- ARTÍCULO 19. Las emisiones y transferencias de contaminantes y sustancias sujetas a reporte de competencia federal que estén reguladas por Normas Oficiales Mexicanas, deberán medirse utilizando los métodos, equipos, procedimientos de muestreo y reporte especificados en las Normas Oficiales Mexicanas, y las Normas Mexicanas que sean referidas en estas últimas, de acuerdo a lo que establece la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.
- ARTÍCULO 20. Para efectos del presente Reglamento, las emisiones y transferencia de contaminantes y sustancias sujetas a reporte de competencia federal, que no estén reguladas por Normas Oficiales Mexicanas o cuya medición esté exenta, pueden estimarse a través de metodologías comúnmente utilizadas, tales como la aplicación de factores de emisión, estimación mediante datos históricos, balance de materiales, cálculos de ingeniería o modelos matemáticos.
- ARTÍCULO 22. Los Organismos Empresariales, las Cámaras, las Asociaciones Industriales, Instituciones Educativas y de Investigación, los Colegios y Asociaciones Profesionales, Organizaciones no Gubernamentales y expertos en la materia, podrán participar con la Secretaría en el desarrollo de metodologías de medición y estimación de emisiones y transferencia de contaminantes y sustancias cuando dichas metodologías y estimaciones no se encuentren previstas en Normas Oficiales Mexicanas.



- Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

En este Reglamento se establecen las bases de los Planes de Manejo como su registro, incorporación, condiciones particulares de manejo, sistemas de manejo ambiental del Gobierno Federal. De igual forma se regulan los Residuos Peligrosos en cuanto a su identificación, categorías de generadores, registro, autorizaciones, disposiciones y criterios de operación de su manejo. Los generadores de Residuos Peligrosos deben reportar su generación en la Cédula de Operación Anual (COA). La pirolisis, gasificación y plasma son considerados en este Reglamento para la disposición final de Residuos Peligrosos incluyendo estos tratamientos en la Incineración. En general, la valorización de los residuos se considera bajo un esquema de Plan de Manejo, aunque en el Art. 22 señala que la Secretaría promoverá convenios con diversos actores (sector privado y Gobierno) para lograr objetivos de planes de manejo y el manejo integral de los residuos.

Este Reglamento se divide en los siguientes Títulos:

- I. Disposiciones Preliminares
 - II. Planes de Manejo
 - III. Residuos Provenientes de la Industria Minero Metalúrgica
 - IV. Residuos Peligrosos
 - V. Importación y Exportación de Residuos Peligrosos
 - VI. Remediación de Sitios Contaminados
 - VII. Medidas de Control y de Seguridad, Infracciones y Sanciones
- ARTÍCULO 1.- El presente ordenamiento tiene por objeto reglamentar la Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos y rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción y su aplicación corresponde al Ejecutivo Federal, por conducto de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



- ARTÍCULO 12.- Las Normas Oficiales Mexicanas que expida la Secretaría para la clasificación de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que estarán sujetos a planes de manejo, contendrán:
 - I. Los criterios que deberán tomarse en consideración para determinar los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que estarán sujetos a plan de manejo;
 - II. Los criterios para la elaboración de los listados;
 - III. Los listados de los residuos sujetos a planes de manejo;
 - IV. Los criterios que se tomarán en cuenta para la inclusión y exclusión de residuos en los listados, a solicitud de las entidades federativas y municipios;
 - V. El tipo de plan de manejo, atendiendo a las características de los residuos y los mecanismos correspondientes, y
 - VI. Los elementos y procedimientos que deberán tomarse en consideración en la elaboración e implementación de los planes de manejo correspondientes.

La vigencia de los listados de los residuos de manejo especial y sólidos urbanos sujetos a plan de manejo iniciará a partir de la fecha que determinen las normas oficiales mexicanas previstas en el presente artículo.

- ARTÍCULO 22.- La Secretaría podrá promover y suscribir convenios, en forma individual o colectiva, con el sector privado, las autoridades de las entidades federativas y municipales, así como con otras dependencias y entidades federales, para el logro de los objetivos de los planes de manejo, así como para:
 - I. Promover planes de manejo de aplicación nacional;
 - II. Incentivar la minimización o valorización de los residuos;
 - III. Facilitar el aprovechamiento de los residuos;
 - IV. Alentar la compra de productos comercializados que contengan materiales reciclables o retornables, y



- V. Incentivar el desarrollo de tecnologías que sean económica, ambiental y socialmente factibles para el manejo integral de los residuos.
- ARTÍCULO 23.- La Secretaría podrá difundir a través de su portal electrónico, el nombre del sujeto obligado a la formulación y ejecución del plan de manejo y los residuos objeto del plan de manejo o, previa autorización del titular del mismo, la Secretaría podrá publicar el plan en dicho portal, en términos de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental.
 - ARTÍCULO 35.- Los residuos peligrosos se identificarán de acuerdo a lo siguiente:
 - I. Los que sean considerados como tales, de conformidad con lo previsto en la Ley.
 - II. Los clasificados en las normas oficiales mexicanas a que hace referencia el artículo 16 de la Ley, mediante:
 - a) Listados de los residuos por características de peligrosidad: corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad; agrupados por fuente específica y no específica; por ser productos usados, caducos, fuera de especificación o retirados del comercio y que se desechen; o por tipo de residuo sujeto a condiciones particulares de manejo. La Secretaría considerará la toxicidad crónica, aguda y ambiental que les confieran peligrosidad a dichos residuos, y
 - b) Criterios de caracterización y umbrales que impliquen un riesgo al ambiente por corrosividad, reactividad, explosividad, inflamabilidad, toxicidad o que



contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, y

- III. Los derivados de la mezcla de residuos peligrosos con otros residuos; los provenientes del tratamiento, almacenamiento y disposición final de residuos peligrosos y aquellos equipos y construcciones que hubiesen estado en contacto con residuos peligrosos y sean desechados.

Los residuos peligrosos listados por alguna condición de corrosividad, reactividad, explosividad e inflamabilidad señalados en la fracción II inciso a. de este artículo, se considerarán peligrosos, sólo si exhiben las menciones características en el punto de generación, sin perjuicio de lo previsto en otras disposiciones jurídicas que resulten aplicables.

- Programas y Acuerdos Nacionales

Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Es un programa que formula e instrumenta a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en estricto apego y cumplimiento con lo que marca la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, publicada el 08 de Octubre de 2003. (25)

o El Programa Especial de Cambio Climático [PECC]

Este programa es una iniciativa del Gobierno Federal, elaborada de manera voluntaria y con recursos propios, que muestra el interés de México para contribuir a la solución del problema del cambio climático, una de las mayores amenazas para el proceso de desarrollo, el bienestar humano y la integridad del capital natural.



El PECC es un instrumento de política transversal que compromete a las dependencias del Gobierno Federal con objetivos y metas nacionales vinculantes en mitigación y adaptación para el periodo 2009-2012. Con el PECC se impulsará el desarrollo sustentable, la seguridad energética, los procesos productivos limpios, eficientes y competitivos, y la preservación de los recursos naturales. El Programa incluye un capítulo de visión de largo plazo en el que se plantean trayectorias deseables de mitigación hacia los horizontes 2020, 2030 y 2050. (26)

Acuerdo por el cual se expiden los procedimientos para la emisión de cartas de aprobación de proyectos de reducción o captura de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este acuerdo tiene por objeto establecer los procedimientos mediante los cuales la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático, en su calidad de Autoridad Nacional Designada para los fines de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto, expedirá las cartas de aprobación para hacer constar la participación voluntaria de las entidades promoventes en la realización de proyectos del MDL en los Estados Unidos Mexicanos, así como para confirmar su contribución al desarrollo sustentable del país(27).



3.3 **Ordenamientos Jurídicos Estatales**

Ordenamientos Jurídicos Federales

Ley Ambiental del Distrito Federal

- Regula la política de desarrollo sustentable y la protección, restauración de zonas federales afectadas y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales
- Establece las bases para las acciones preventivas y correctivas de la contaminación ambiental: contaminación del agua, suelo, térmica, visual y la generada por ruido, olores, vapores y fuentes luminosas, y contaminación de la atmósfera (control de emisiones)
- Regula los residuos no peligrosos y peligrosos, actividades riesgosas y contingencias ambientales

Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal

- Minimizar la generación y la disposición final
- Maximizar la valoración de los residuos
- Mejorar el manejo de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial
- Prevención de la contaminación de sitios por depósito de residuos sólidos
- Saneamiento de sitios contaminados
- Instrumentación de planes de manejo

Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal

- Reglamenta las disposiciones de la Ley Ambiental del Distrito Federal

Reglamento de la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal

- Reglamenta la Ley de residuos sólidos del Distrito Federal en materia de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos y servicios de limpieza
- Establece las bases para el programa de Gestión Integral de los residuos sólidos, así como las normas ambientales para el Distrito Federal

- Ley Ambiental del Distrito Federal

Esta Ley regula la política de desarrollo sustentable con base en sus principios, instrumentos, participación ciudadana, planeación, ordenamiento ecológico, normas ambientales para el Distrito Federal, evaluación del impacto ambiental,



autorregulación y auditorías ambientales, Fondo Ambiental Público, estímulos, investigación y educación ambientales, información ambiental y denuncia ciudadana. De igual forma regula la protección, restauración de zonas afectadas y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales como áreas verdes, áreas naturales protegidas, agua, suelo, energéticos, flora y fauna. Establece las bases para las acciones preventivas y correctivas de la contaminación ambiental, en específico de la contaminación del agua, suelo, térmica, visual y la generada por ruido, olores, vapores y fuentes luminosas, así como la contaminación de la atmósfera que incluye el control de emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles, regulación de quemas a cielo abierto. Regula los residuos no peligrosos y peligrosos, actividades riesgosas, contingencias ambientales. En cuanto al proyecto, se debe cumplir en el aspecto de impacto ambiental y prevención de la contaminación.

Esta Ley consta de los siguientes títulos:

- I. Disposiciones Generales
- II. De las Autoridades Ambientales
- III. De la Política de Desarrollo Sustentable
- IV. De la Protección, Restauración y Aprovechamiento Sustentable de los Recursos Naturales.
- V. De la Prevención, Control y Acciones contra la Contaminación Ambiental
- VI. De los Prestadores de Servicios Ambientales
- VII. Medidas de Control, Seguridad y Sanciones.

- ARTÍCULO 2.- Esta ley se aplicará en el territorio del Distrito Federal en los siguientes casos:



- I. En la prevención y control de la contaminación atmosférica proveniente de fuentes fijas o móviles que de conformidad con la misma estén sujetas a la jurisdicción local;
 - II. En la prevención y control de la contaminación de las aguas localizadas en el Distrito Federal, que de conformidad con el párrafo quinto del artículo 27 constitucional no son consideradas aguas nacionales, así como tratándose de aguas nacionales que hayan sido asignadas al Distrito Federal;
 - III. En la conservación y control de la contaminación del suelo;
 - IV. En la conservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de jurisdicción del Distrito Federal;
 - V. En la protección y conservación de la flora y fauna en las áreas naturales protegidas y en el suelo de conservación competencia del Distrito Federal; y
 - VI. En la evaluación y autorización del impacto ambiental y riesgo de obras y actividades.
- ARTÍCULO 9.- Corresponde a la Secretaría, además de las facultades que le confiere la ley orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal, el ejercicio de las siguientes atribuciones:
- I. Formular, conducir y evaluar la política ambiental en el Distrito Federal, así como los planes y programas que de esta se deriven, en congruencia con la que en su caso hubiere formulado la Federación;
 - II. Formular, ejecutar y evaluar el programa sectorial ambiental del Distrito Federal;
 - III. Formular y ejecutar los programas de ordenamiento ecológico del Distrito Federal, y los programas que de éstos se deriven,



- así como vigilar su cumplimiento, en coordinación con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda y en su momento, proponer las adecuaciones pertinentes al mismo;
- IV. Aplicar los instrumentos de política ambiental previstos en esta Ley, para conservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger al ambiente en materias de su competencia;
 - V. Evaluar las manifestaciones de impacto ambiental de su competencia, y en su caso, autorizar condicionadamente o negar la realización de proyectos, obras y actividades;
 - VI. Evaluar y resolver sobre los estudios de riesgo;
 - VII. Expedir normas ambientales para el Distrito Federal en materias de competencia local;
 - VIII. Establecer los criterios ambientales a que deberán sujetarse los programas, adquisiciones y obras de las dependencias del Gobierno del Distrito Federal;
 - IX. Establecer o en su caso proponer la creación de instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental en el Distrito Federal;
 - X. Ejercer todas aquellas acciones tendientes a la conservación y restauración del equilibrio ecológico, así como la regulación, prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo que no sean de competencia federal;
 - XI. Otorgar y revocar los permisos, licencias y las autorizaciones establecidas en la presente Ley
- ARTÍCULO 36.- La Secretaría, en el ámbito de su competencia emitirá normas ambientales las cuales tendrán por objeto establecer:
- I. Los requisitos o especificaciones, condiciones, parámetros y límites permisibles en el desarrollo de una actividad humana que pudiera afectar la salud, la conservación del medio



-
- ambiente, la protección ecológica o provocar daños al ambiente y los recursos naturales;
- II. Los requisitos, condiciones o límites permisibles en la operación, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, industrialización o disposición final de residuos sólidos e industriales no peligrosos;
 - III. Los requisitos, condiciones, parámetros y límites permisibles para el tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, acuícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad humana y que, por el uso recibido, se les hayan incorporado contaminantes;
 - IV. Las condiciones de seguridad, requisitos y limitaciones en el manejo de residuos sólidos o industriales no peligrosos que presenten riesgo para el ser humano, para el equilibrio ecológico o para el ambiente;
 - V. Los requisitos, condiciones, parámetros y límites permisibles para la protección, el manejo, el aprovechamiento y la restauración de los recursos naturales en suelo de conservación; y
 - VI. Los requisitos, condiciones, parámetros y límites permisibles para la protección, el manejo, el aprovechamiento y la restauración de los recursos naturales en las Áreas Naturales Protegidas de competencia del Distrito Federal.
- ARTÍCULO 46.- Las personas físicas o morales interesadas en la realización de obras o actividades que impliquen o puedan implicar afectación del medio ambiente o generación de riesgos requieren autorización de impacto ambiental y, en su caso, de riesgo previo a la



realización de las mismas. Las obras y actividades que requieren autorización por encontrarse en el supuesto anterior, son las siguientes:

- I. Los programas que en general promuevan cambios de uso en el suelo de conservación o actividades económicas o prevean el aprovechamiento de los recursos naturales del Distrito Federal;
 - XIII. Las instalaciones para el manejo de residuos sólidos e industriales no peligrosos, en los términos del Título Quinto, Capítulo V de esta Ley.
- ARTÍCULO 47.- Para obtener autorización en materia de impacto ambiental, los interesados, previo al inicio de cualquier obra o actividad, deberán presentar ante la Secretaría, una manifestación de impacto ambiental.
 - ARTÍCULO 72.-La Secretaría promoverá el otorgamiento de estímulos fiscales, financieros y administrativos a quienes:
 - I. Adquieran, instalen y operen las tecnologías, sistemas, equipos y materiales o realicen las acciones que acrediten prevenir o reducir las emisiones contaminantes establecidos por las normas oficiales mexicanas y las ambientales para el Distrito Federal, o prevenir y reducir el consumo de agua o de energía, o que incorporen sistemas de recuperación y reciclamiento de las aguas de desecho o que utilicen aguas tratadas o de reúso para sus funciones productivas, de conformidad con los programas que al efecto se establezcan;
 - II. Realicen desarrollos tecnológicos y de eco-técnicas viables cuya aplicación demuestre prevenir o reducir las emisiones contaminantes, la producción de grandes cantidades de desechos sólidos municipales, el consumo de agua o el consumo de energía, en los términos de los programas que al efecto se expidan.



- ARTÍCULO 122.- La Secretaría propondrá ante el Jefe de Gobierno del Distrito Federal, la celebración de acuerdos y convenios para el establecimiento de programas que permitan el ahorro de energía y su utilización eficiente, así como el desarrollo de fuentes de energía y tecnologías alternas, conforme a los principios establecidos en la presente Ley.
- ARTÍCULO 169.- Durante las diferentes etapas del manejo de residuos sólidos e industriales no peligrosos, se prohíbe:
 - I. El depósito o confinamiento en sitios no autorizados;
 - II. El fomento o creación de basureros clandestinos;
 - III. El depósito o confinamiento de residuos sólidos e industriales no peligrosos en suelos de conservación ecológica o áreas naturales protegidas;
 - IV. La quema de dichos residuos sin los mecanismos de prevención de generación de contaminantes adecuados, ni de su autorización;
 - V. La dilución o mezcla de residuos sólidos o industriales no peligrosos o peligrosos en cualquier líquido y su vertimiento al sistema de alcantarillado o sobre los suelos con o sin cubierta vegetal;
 - VI. La mezcla de residuos peligrosos con residuos sólidos o industriales no peligrosos;
 - VII. El transporte inadecuado de desechos sólidos e industriales no peligrosos; y
 - VIII. El confinamiento o depósito final de residuos en estado líquido o con contenidos líquidos que excedan los máximos permitidos por las normas oficiales mexicanas o las normas ambientales para el Distrito Federal.



La mezcla de residuos no peligrosos con peligrosos, se considerará como un residuo peligroso.

- ARTÍCULO 171.- En materia de residuos no peligrosos, corresponde a la Secretaría:
 - I. Expedir normas ambientales para el Distrito Federal en materia de generación y manejo;
 - II. Autorizar, en los términos del reglamento respectivo, la instalación y operación, por parte del generador, de sistemas para el tratamiento, recuperación, separación, reciclaje, incineración y disposición final fuera de la instalación donde se generen dichos residuos;
 - III. Inspeccionar y vigilar el cumplimiento de esta ley, su reglamento, las normas oficiales mexicanas y las normas ambientales para el Distrito Federal en materia de generación y manejo, y en su caso imponer las sanciones que correspondan; y
 - IV. Tomar las medidas preventivas necesarias para evitar contingencias ambientales por la generación, manejo, tratamiento y disposición final.
- ARTÍCULO 172.- Para la obtención de las autorizaciones a que se refiere en la fracción II del artículo anterior, los interesados deberán presentar la solicitud correspondiente ante la Secretaría en los formatos que ésta determine para tal efecto. Una vez presentada la solicitud la Secretaría deberá resolver en un plazo no mayor a treinta días hábiles, transcurrido el cual se entenderá negada la autorización.



- Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal

La LRSDF se publicó el 22 de abril de 2003 y tiene como objetivos fundamentales:

- Minimizar la generación y disposición final.
- Maximizar la valorización de los residuos y promover la responsabilidad compartida.
- Mejorar el manejo de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en el DF.
- Prevenir la contaminación de sitios por depósito de residuos sólidos.

La LRSDF entre otras cosas:

- Obliga a la separación en la fuente en dos fracciones (orgánicas e inorgánicas)
- Fomenta mecanismos de información pública
- Fomenta la minimización de residuos
- Promueve la valorización de los residuos sólidos
- Busca el saneamiento de sitios contaminados
- Demanda la instrumentación de Planes de manejo de residuos sólidos
- Fomenta la responsabilidad compartida de todos los actores involucrados

La LRSDF otorga facultades a 3 instancias:

- ✓ A la Secretaría del Medio Ambiente le otorga las facultades de:
 - Integrar la política ambiental
 - Formular, evaluar y cumplir el PGIRS
 - Restauración, prevención y control de la contaminación del suelo
 - Integrar un inventario de residuos sólidos y una política de información y difusión
 - Emitir normas ambientales
 - Autorizar planes de manejo



- ✓ A la Secretaría de Obras y Servicios le otorga las facultades de:
 - Atender el servicio público de limpia en vías primarias, transferencia, tratamiento y disposición final
 - Elaborar criterios y normas para construcción y operación de infraestructura
 - Autorizar y registrar prestadores de servicio
 - Participar en la celebración de convenios
 - Restaurar y recuperar suelo contaminado por actividades del manejo de los residuos sólidos

- ✓ Finalmente, a las Delegaciones les otorga la facultad de:
 - Elaborar el Programa delegacional de prestación del servicio público de limpia
 - Llevar a cabo la recolección separada de los residuos
 - Orientar a la población sobre la separación de los residuos sólidos
 - Erradicar tiraderos clandestinos
 - Aplicar las medidas de seguridad e imponer sanciones por incumplimiento a la Ley.

En la LRSDF se definen a los residuos urbanos como aquellos generados en casa habitación o similares que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques.

De igual manera, se indican que los residuos de manejo especial son:

- Los provenientes de servicios de salud
- Cosméticos y alimentos caducos
- Actividades agrícolas, forestales, y pecuarias



- Servicios de transporte
- Demolición, mantenimiento y construcción
- Tecnológicos
- Lodos deshidratados
- Neumáticos
- Los residuos voluminosos
- Los de laboratorios industriales, químicos, biológicos, de producción o de investigación

- Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal

Este ordenamiento tiene por objeto reglamentar las disposiciones de la Ley Ambiental del Distrito Federal (Art. 1), contempla los escritos y solicitudes, dictámenes técnicos, sistemas de información, ordenamiento ecológico, evaluación de impacto ambiental, la protección del agua, barrancas, suelos, áreas verdes, naturales protegidas, la prevención de la contaminación ambiental, la generación y manejo de residuos.

Este reglamento tiene los siguientes títulos:

- I. Disposiciones generales
- II. De la Política Ambiental
- III. Del Impacto Ambiental
- IV. De la Protección y Restauración de los Recursos Naturales.
- V. Vigilancia, Sanciones y Recurso de Inconformidad.

- ARTÍCULO 3.- La aplicación de este Reglamento compete a la Secretaría, a la Dirección, a la Dirección General de Proyectos Ambientales, a los Recursos Naturales y a las Delegaciones, en los términos de las disposiciones jurídicas aplicables.



- ARTÍCULO 54.- Las personas, conforme a los programas que emita la Administración Pública, están obligadas a manejar separadamente los residuos que generen, depositarlos en contenedores separados y permitir su recolección oportuna por parte del servicio de limpia del Distrito Federal.
- ARTÍCULO 66.- La recolección y transporte de residuos, así como la construcción, equipamiento y operación de las estaciones para su transferencia, de las plantas para su tratamiento y de los sitios e instalaciones para su disposición final, deberán llevarse a cabo con los métodos, frecuencia, condiciones y equipo necesarios para evitar o minimizar la contaminación ambiental y prevenir la mezcla entre residuos de distintas categorías de manejo, en los términos de las normas oficiales y demás disposiciones jurídicas aplicables.
- ARTÍCULO 67.- De acuerdo con las leyes, reglamentos y normas oficiales aplicables, durante la construcción y operación de los rellenos sanitarios y demás sitios destinados a la disposición final de residuos, deberán monitorearse periódicamente los lixiviados, la calidad de las aguas superficiales y subterráneas y la emisión de gases en la zona que se trate.
- ARTÍCULO 68.- Las actividades de manejo de residuos se llevarán a cabo directamente por la Dirección General de Servicios Urbanos, las Delegaciones respectivas o las personas a las que la Administración Pública otorgue la respectiva concesión o autorización conforme a las disposiciones jurídicas correspondientes.
- ARTÍCULO 69.- Las personas que realicen actividades de manejo de residuos están obligadas a:
 - I. Operar conforme a los sistemas, procedimientos, instalaciones, equipos, plazos y condiciones establecidos en la Ley, este Reglamento y las normas legales y reglamentarias aplicables;
 - II. Que el personal que lleve a cabo el manejo de residuos esté debidamente capacitado, para cuyo efecto deberá aprobar el



- examen que para tal efecto realice la Dirección en coordinación con la Dirección General de Servicios Urbanos
- III. Mantener sus instalaciones y equipos en condiciones adecuadas de funcionamiento de acuerdo con las normas oficiales respectivas.
 - IV. Llevar un registro con la información de las actividades de manejo de residuos que realicen de acuerdo con las disposiciones legales y reglamentarias aplicables y remitir a la Dirección General de Servicios Urbanos la documentación necesaria para su supervisión y control;
 - V. Dar aviso inmediato a la Dirección General de Servicios Urbanos cuando por cualquier causa imprevista se suspenda el manejo de residuos de que se trate o los equipos e instalaciones no funcionen debidamente, o con treinta días hábiles de anticipación en caso de suspensión programada.
 - VI. Cobrar, como máximo, las tarifas autorizadas por la Dirección General de Servicios Urbanos en coordinación con la Dirección o la Comisión de Recursos Naturales, según corresponda, y.
 - VII. Garantizar en los términos de las disposiciones legales y reglamentarias aplicables la debida realización de las actividades de manejo de residuos correspondientes.

- Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal

Este ordenamiento jurídico se publicó en el 2008 y tiene por objeto reglamentar la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal en materia de gestión integral de residuos sólidos no peligrosos y servicios de limpia. Establece las bases para el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, las normas ambientales para el Distrito Federal, de la cultura, investigación, educación ambiental, planes de manejo, el inventario de residuos sólidos, clasificación, manejo y disposición final de los residuos sólidos, la separación de los residuos sólidos, y la prevención



y control de la contaminación del suelo. El proyecto debe cumplir en especial con lo referente a la disposición final de los RSU. Este Reglamento consta de los siguientes títulos:

- I. De las Disposiciones Generales.
- II. De la Política Ambiental.
- III. De la Prevención y Minimización de la Generación de los Residuos Sólidos
- IV. Del Servicio Público de Limpia
- V. De la Valorización y Composta de los Residuos Sólidos
- VI. De las Disposiciones Complementarias de Restauración, Prevención y Control de la Contaminación del Suelo.
- VII. De la Denuncia Ciudadana
- VIII. De las Medidas de Seguridad, Inspección, Vigilancia y Verificación
- IX. De la Coordinación Interinstitucional, Sanciones y Recursos.

- ARTÍCULO 9.- La elaboración, aprobación y expedición de las normas ambientales en materia de gestión integral de residuos atenderá a lo establecido en la Ley Ambiental del Distrito Federal, en la Ley, en el presente ordenamiento, así como en las demás disposiciones jurídicas aplicables y deberán atender por lo menos a los siguientes aspectos:

- I. Generación;
- II. Operación;
- III. Acopio;
- IV. Recolección;
- V. Transporte;
- VI. Almacenamiento;
- VII. Transporte;
- VIII. Almacenamiento;
- IX. Reciclaje;



-
- X. Tratamiento;
 - XI. Industrialización;
 - XII. Disposición final;
 - XIII. Valorización;
 - XIV. Minimización
 - XV. Condiciones de seguridad, requisitos y limitaciones en el manejo de residuos sólidos que presenten riesgo para el ser humano, el equilibrio ecológico y el medio ambiente; y
 - XVI. Las demás que se relacionen con la gestión y manejo integral de residuos sólidos.
- ARTÍCULO 11.- La propiedad y responsabilidad del manejo de los residuos sólidos corresponde al generador, la cual sólo se transfiere a la Secretaría de Obras, a la Delegación o a las personas físicas o morales autorizadas, según corresponda, al momento de depositarlos en los contenedores o papeleras dispuestas para el efecto o en los sitios autorizados por la autoridad competente, o bien, al entregarlos al servicio de limpia y recolección, siempre que ello se ajuste a los lineamientos señalados en los Programas de Prestación del Servicio Público de Limpia de competencia de la Secretaría de Obras y de las Delegaciones y se trate de residuos sólidos separados.
 - ARTÍCULO 32.- Los residuos sólidos urbanos deberán separarse en orgánicos e inorgánicos. La subclasificación de los residuos orgánicos podrá efectuarse conforme a lo siguiente:
 - I. Residuos de jardinería y los provenientes de poda de árboles y áreas verdes;
 - II. Residuos provenientes de la preparación y consumo de alimentos;
 - III. Residuos susceptibles de ser utilizados como insumo en la producción de composta;



- IV. Los demás que establezcan en forma conjunta la Secretaría y la Secretaría de Obras.

Los residuos inorgánicos se subclasifican en:

- I. Vidrio;
 - II. Papel y cartón;
 - III. Plásticos;
 - IV. Aluminio y otros metales no peligrosos y laminados de materiales reciclables;
 - V. Cerámicas;
 - VI. Artículos de oficina y utensilios de cocina;
 - VII. Equipos eléctricos y electrónicos;
 - VIII. Ropa y textiles;
 - IX. Sanitarios y pañales desechables;
 - X. Otros no considerados como de manejo especial; y
 - XI. Los demás que establezcan en forma conjunta la Secretaría y la Secretaría de Obras.
- ARTÍCULO 50.- El sistema de transferencia asignará cajas para el transporte separado de los residuos sólidos, previo acuerdo de la Secretaría de Obras con las Delegaciones y de conformidad con el sistema de recolección selectiva. Las cajas estarán identificadas por tipo de residuo.
 - ARTÍCULO 51.- Las plantas de selección y tratamiento de residuos sólidos, construidas y por construir por la Secretaría de Obras, podrán ser operadas y/o concesionadas a particulares, cumpliendo previamente los procedimientos señalados en la legislación aplicable.
 - ARTÍCULO 52.- La Secretaría de Obras autorizará y registrará a los establecimientos mercantiles y de servicios, relacionados con la recolección, manejo, tratamiento, reutilización, reciclaje y disposición final de los residuos sólidos, quienes de acuerdo con su naturaleza jurídica,



además de observar previamente los procedimientos señalados en la legislación aplicable, deberán presentar la solicitud de registro en términos del procedimiento establecido por la Secretaría de Obra.

- ARTÍCULO 67.- Serán enviados al sitio de disposición final los residuos orgánicos separados en la fuente de origen que se consideren no aptos para ser procesados en los centros de composteo, los que excedan la capacidad de procesamiento en dichos centros, así como el material procesado que no reúna características para ser utilizados en las áreas verdes.
- ARTÍCULO 68.- Serán enviados al sitio de disposición final los residuos sólidos potencialmente reciclables que no puedan ser separados del resto de los residuos sólidos, tanto en la fuente de origen como en las plantas de selección, así como aquellos que una vez separados no puedan ser reincorporados a los procesos productivos.
- ARTÍCULO 69.- En la planeación, diseño, construcción, operación y clausura de los sitios destinados a la disposición final, debe preverse las medidas para reducir al mínimo la generación de lixiviados y emisiones atmosféricas y los riesgos a la salud humana y al medio ambiente



3.4 **Normas Oficiales Mexicanas**

La elaboración de Normas Oficiales Mexicanas se realiza de conformidad con lo establecido en la Ley Federal de Metrología y Normalización. Esta define a la Norma Oficial Mexicana como una regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las dependencias de la administración pública federal.

Las Normas Oficiales Mexicanas son actualmente la base más importante que sostiene el esquema comando-control en México, ya que estas definen una serie de condiciones mínimas bajo las cuales deben llevarse a cabo las operaciones de la industria que tengan un efecto en el ambiente. (28)

- Normas Oficiales Mexicanas
 - NOM-001-SEMARNAT.1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y Bienes Nacionales
 - NOM-002-SEMARNAT.1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas Residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
 - NOM-003-SEMARNAT.1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público.
 - NOM-034-SEMARNAT-1993 - Establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición
 - NOM-035-SEMARNAT-1993 - Establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire



ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición

- NOM-037-SEMARNAT-1993 -Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de nitrógeno totales en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- NOM-038-SEMARNAT-1993 - Establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre totales en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición
- NOM-043-SEMARNAT-1993 - Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas
- NOM-052-SEMARNAT-2005 - Establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos
- NOM-053-SEMARNAT-1993- Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente
- NOM-054-SEMARNAT-1993-Procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana
- NOM-055-SEMARNAT-2003 Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos excepto de los radiactivos
- NOM-081-SEMARNAT-1994, determinación del Nivel Sonoro Emitido por Fuentes Fijas
- NOM-083-SEMARNAT-2005 - Especificaciones de protección ambiental del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras



complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial

- NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002- Protección ambiental-salud ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos-clasificación y especificaciones de manejo.
- NOM-098-SEMARNAT-2002 - Establece la especificación de operación y límites de emisión de contaminantes en la incineración de residuos
- NOM-133-SEMARNAT-2000 - Protección ambiental - bifenilos policlorados (bpcs) especificaciones de manejo.
- NOM-113-SEMARNAT-1998- Especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia o de distribución que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios y turísticas. (21)

La revisión de la normatividad presentada permite brindar un panorama de todos los requerimientos necesarios para la implementación del sistema de gasificación. La LGPGIR regulará la contaminación del sitio de estudio, en lo cual el hecho de que el sitio sea Bordo Poniente es beneficioso, debido a que de esta forma ya no se dañara otro sitio del país.

Resulta necesario que SEMARNAT expida normas mexicanas que regulen la implementación y operación del sistema de gasificación, ya que actualmente no existen normas mexicanas específicas para regular algún tipo de sistema de tratamiento de residuos o de disposición final, a excepción de la NOM-083-SEMARNAT-2005 que es específicamente para la disposición final en rellenos sanitarios.



4 EL SITIO

Se ha estimado que para la implementación del sistema de gasificación, se requieren aproximadamente nueve hectáreas y se ha planteado colocarlo en un área que aún queda libre en Bordo Poniente, esto con el fin de no alterar más el ambiente en otro lugar de la ciudad. En la Figura 17 se muestra la ubicación del relleno sanitario Bordo Poniente, dentro del municipio Netzahualcóyotl. Enmarcado con morado se muestra en la Figura 17 el área disponible en Bordo Poniente para la implementación del gasificador.

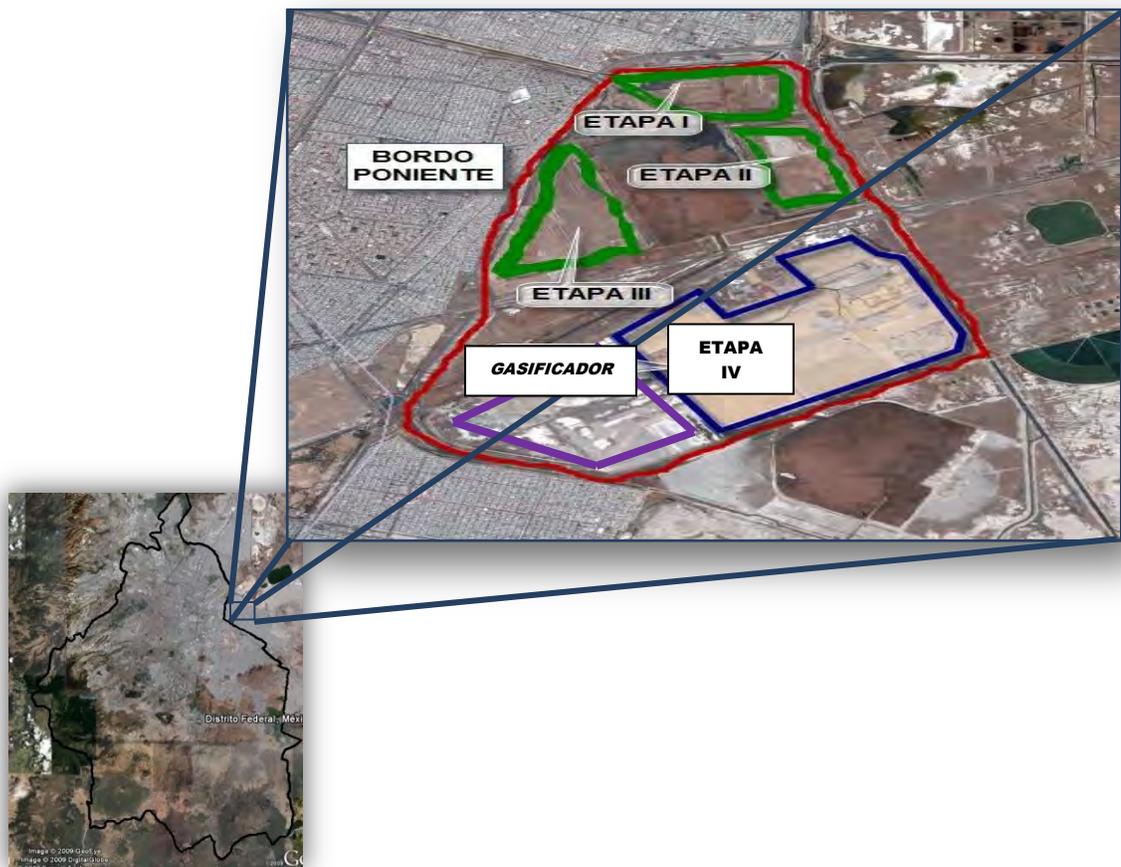


Figura 1. Ubicación del relleno sanitario Bordo Poniente y de las etapas que lo conforman



El Distrito Federal cuenta con el Relleno Sanitario Bordo Poniente, actualmente opera en su Etapa IV, con 472 hectáreas de superficie y un área de disposición de 320 hectáreas. El relleno sanitario Bordo Poniente se localiza en un predio de propiedad federal, dentro de los terrenos del antiguo Lago de Texcoco, que la Comisión Nacional del Agua destinó para ser utilizado como relleno sanitario por el Distrito Federal. Tiene una extensión total de 1,000 hectáreas de las cuales se han utilizado 721 en cuatro etapas. La vida útil de las primeras 3 etapas transcurrió de 1985 a 1995, momento en el cual entró en operación la IV Etapa. En Bordo Poniente también se encuentra una de las tres plantas de selección del Distrito Federal.

Bordo Poniente tiene también una planta de tratamiento de los lixiviados que se captan en los drenajes del sitio, así como de aguas. Con las aguas tratadas en esta planta se riegan y limpian los accesos tanto el relleno sanitario como la planta de selección que está en el sitio. Asimismo, existe una planta para la producción de composta que funciona con basura orgánica de panteones y jardines. La composta que produce es de baja calidad y no se comercializa; sólo se emplea por el D.F. para el cuidado de sus propios jardines(29).

✓ *Ubicación*

Bordo Poniente se encuentra en el norte del municipio Netzahualcóyotl, como ya se ha mencionado al noreste de la Ciudad de México. La ubicación geográfica del área disponible de Bordo Poniente para colocar el gasificador tiene las siguientes coordenadas: Latitud norte del paralelo 19° 26' 22.29"; Longitud oeste del meridiano 99° 02' 06.87" al meridiano. Esta situado a una altura de 2232 m(30).



Figura 2. Ubicación del municipio de Netzahualcóyotl

Fuente: Modificado de (31)

Limita al este con la delegación Iztacalco del Distrito Federal, al este con Texcoco y el Lago Nabor Carrillo y, al norte con el vaso regulador *Cola de pato* y el municipio de Ecatepec, Estado de México. Al sureste con el municipio de Chimalhuacán (Figura 2).

✓ *Superficie total*

La superficie total de Bordo Poniente, de acuerdo con la última ampliación de superficie en 1992, alcanzó una superficie de 1,000 hectáreas. Tan sólo la cuarta etapa mide 375 hectáreas. Se han cerrado 249 hectáreas, mismas que corresponden a las etapas 1, 2 y 3 de Bordo [(32) y (33)].

Como ya se ha mencionado, para la implementación del sistema de gasificación se requieren nueve hectáreas. Con los datos que se han obtenido se estima que el área disponible para el sistema de gasificación es de mínimo 200 hectáreas por lo cual es viable el sitio es viable para el proyecto.



✓ *Geología*

El sitio se localiza un poco al suroeste del centro del Valle de México, entre las Sierras de Guadalupe y Santa Catarina. Los rasgos fisiográficos de la región están íntimamente ligados al comportamiento volcánico y sísmico de la formación de la cuenca, ocurridos en los últimos 50 millones de años.

El espacio en que hoy se ubica el Valle de México, se encontraba ocupado por mares tropicales de poca profundidad antes del Eoceno (época geológica de la Tierra en la época Cenozoica). A inicios del Terciario, esos mares se retiraron debido a la emersión paulatina del continente, con el plegamiento de los sedimentos marinos, ocasionados por esfuerzos de compresión, alcanzando una elevación estimada en mil metros sobre el nivel del mar.

Los procesos de tectónica mayor explican en gran medida los rasgos geológicos de la región, que dieron origen a la Cuenca de México, dentro de la Franja Volcánica Transmexicana (FVT). A escala continental, la formación de la FVT tiene como origen los movimientos relativos de las placas de la corteza terrestre, ocasionados por la expansión de la corteza en el Océano Pacífico, que desplaza del denominado Alto del Pacífico hacia el Continente Americano, dando origen a la Franja Volcánica Transmexicana desde Bahía de Banderas en el occidente, hasta Punta Delgada en el Golfo de México.

A mediados del terciario, el lecho marino se introdujo debajo del continente en la región de Puerto Vallarta, reduciendo una antigua trinchera a su tramo meridional, conocido como trinchera Mesoamericana o de Acapulco y ahora diferenciada por el estado de la República frente al que se ubica. La subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica ha ocasionado el plegamiento y fracturamiento de esta última, produciendo como manifestaciones principales la



formación de innumerables volcanes en la Franja Volcánica Transmexicana, con manifestaciones de esta naturaleza desde el Oligoceno.

Esta franja o eje, tiene un ancho que varía de 50 a 150 km, una longitud de 950 km y posee los mayores volcanes del país. Se asocia a esta franja una zona de debilidad cortical de la unión de dos placas de la corteza terrestre.

Uno de los rasgos de la FVT, es un sistema ortogonal de fracturamiento, con dos direcciones preferentes, de SW unos y SE los otros, que al conjugarse resultan en fracturas que forman una X. Además se manifiesta un sistema secundario con dirección E-W. Los grandes volcanes del complejo sistema volcánico se manifiestan en las principales fracturas de estos tres sistemas, como son el Nevado de Toluca, el Popocatépetl, la Malinche y el Citlaltépetl.

Las causas de la movilidad y actividad volcánica de la FVT, están ligadas al comportamiento de las Placas de Cocos y Norteamericana, así como del Caribe, por lo que otra interpretación sobre su origen la asocia a que ha existido un movimiento lateral izquierdo, debido a que la Placa Norteamericana se desplaza hacia el poniente y surponiente, mientras la de Cocos se moviliza hacia el nororiente, situación que genera la fisura cortical y a través de esta zona de debilidad se manifiesta la expulsión volcánica como producto de la subducción de la Placa de Cocos. El eje neo volcánico continúa en emersión, lo que genera esfuerzos de distensión que dan origen a la fosa de Bahía de Banderas, el graben de Chapala y Cuitzeo, las cuencas de Toluca, México, Puebla-Tlaxcala y la Libre Oriental.



○ *Descripción Litológica*

Se ubica al centro del antiguo lago de Texcoco, con potentes estratos de suelos, por lo que no afloran superficialmente en el área formaciones de roca. En la superficie, se presentan zonas aisladas de relleno reciente, producto de demoliciones y de la formación de caminos de acceso a la zona, generalmente de productos piroclásticos como tepetate y tezontle. El suelo natural está constituido por arcillas del tipo montmorilonítico muy susceptibles a cambios de volumen con cambios de humedad mal estructuradas, afectadas por secado, con abundantes microgrietas intrusionadas por materiales eólicos a profundidades de 0.30 a 2.4 m.

El nivel freático se localiza desde la superficie hasta una profundidad máxima de 1.3 m, las fluctuaciones del nivel freático durante el año causa movimientos de las fundaciones, las estructuras pesadas exprimirán el agua causando hundimientos: continúa en profundidad el mismo tipo de material con menor afectación por secado y agrietamiento, que alcanza profundidades de 37.4 a 39.2 m; se presenta a continuación una toba arenosa a veces compacta y en otras suelta, interdigitada por arcillas en algunas ocasiones, cuyo horizonte inferior se localiza entre 38.9 y 40.4 m de profundidad.

Subyace a las formaciones anteriores, otra formación volcánico lacustre de arcilla criptocritalina, interdigitada por lentes y estratos de poco espesor de ceniza y vidrio volcánicos; su horizonte inferior se localiza entre 54.2 y 59.3 m de profundidad; la siguiente formación en orden descendente; corresponde a diversos estratos de materiales volcánico fluviales y lacustres, representados por arenas, limos y arcillas, con una amplia distribución de partículas de tamaños menores al tamaño de las arenas (4.75 mm), con distintos grados de compacidad y estratificados por diversos eventos volcánicos, fluviales y lacustres, hasta una profundidad 180 m; continúan arcillas, lutitas, arcillas arenosas, arenas, areniscas y calizas lacustres. A un trozo de madera localizado a 132 m de profundidad se le



determinó una edad de 39,900 años por el método del Carbono 14 (datación de especímenes orgánicos).

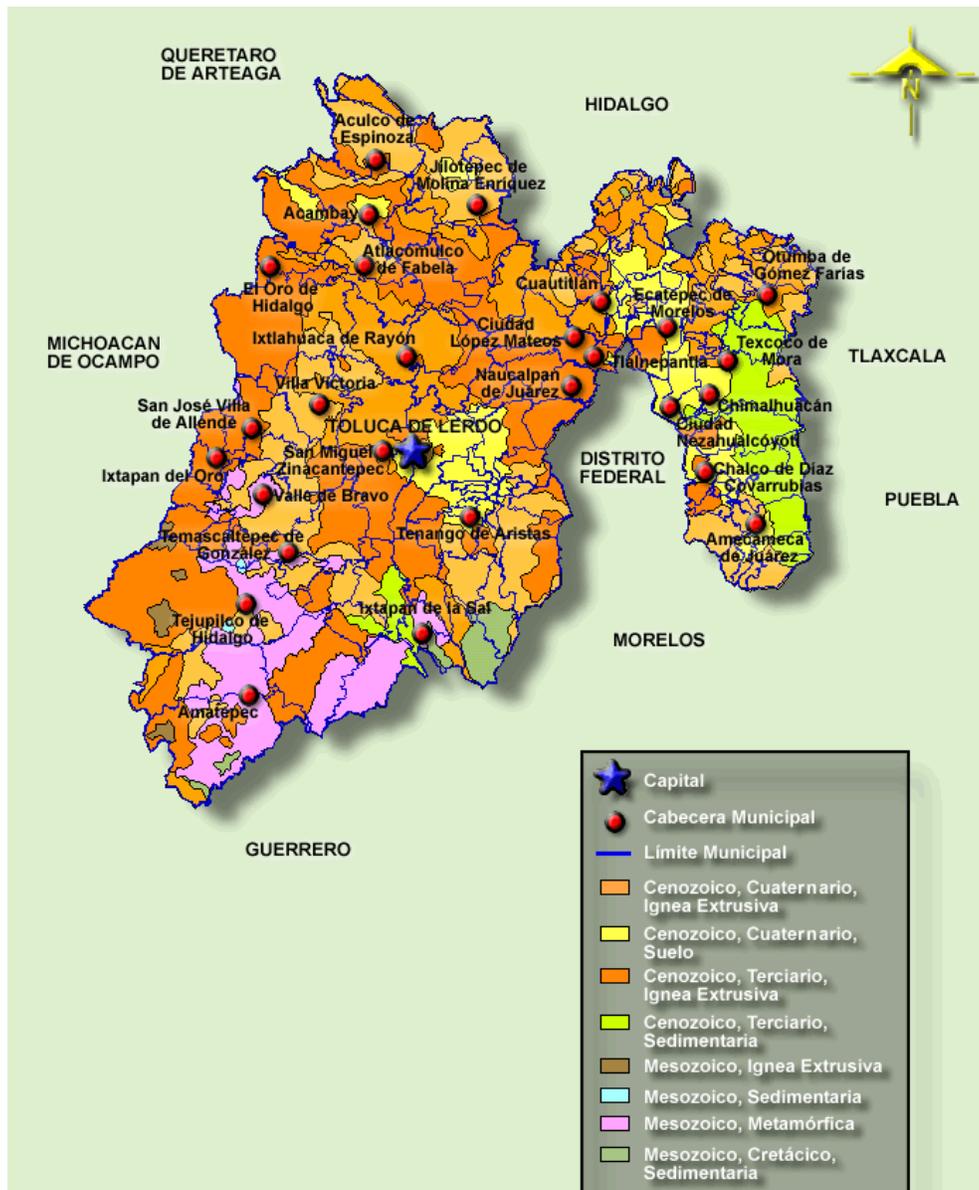


Figura 3. Mapa geológico de los alrededores del Distrito Federal

Fuente: (34)

Superficialmente, a partir del sitio de interés, se localizan a 5 km en dirección WSW, el cerro del Peñón de los Baños, a 7 km en dirección SE el cerro de



Chimalhuacán y a 14 km en dirección NE los promontorios de Huatepec y Tepetzting (35). En la Figura 19 se muestran el mapa geológico de los alrededores del Distrito Federal, incluido Netzahualcóyotl. Se puede observar que el suelo del sitio de estudio corresponde al período Cenozoico-Cuaternario.

El primer promontorio corresponde a rocas volcánicas del Mioceno Medio y Tardío, constituidas por brechas y lavas interestratificadas con brechas, todas de origen andesítico, emitidas durante la tercera fase volcánica. De esta misma época son los promontorios de Huatepec y Tepetztingo, fechados con 21 millones de años de edad y constituidos por andesitas. El cerro de Chimalhuacán corresponde a materiales andesítico-basálticos de la sexta fase del vulcanismo, en el Terciario Superior, con formación de conos cinerítico terminales, volcanes escudo y amplias coladas lávicas.

En la zona del antiguo lago de Texcoco, se detectan en profundidad los cuerpos ígneos sepultados de los cerros del Peñón de los Baños, Chimalhuacán y Huatepec, con bajos de sedimentos granulares, probablemente a mínimos de la anomalía regional gravimétrica. Se localizan dos mínimos gravimétricos denominados Xochitengo y de los Remedios.

- *Formaciones Geológicas*

La perforación exploratoria de mayor profundidad ubicada en la zona, corresponde al Pozo Profundo 1 (PP1), localizado a 3.5 km del sitio de interés y con una profundidad máxima de 2065 m. A esta profundidad, se obtuvo un núcleo de conglomerado calcáreo con algunos líticos basálticos o andesíticos, que señalan que en parte de la cuenca existían calizas del Cretácico y que se había iniciado el vulcanismo. Aunque en esta perforación no se alcanzaron las caliza, éstas fueron alcanzadas a 1575 m en el pozo Mixhuca 1 y corresponden a la formación Cuautla.



En orden ascendente se localizaron conglomerados calcáreos, margas y arcillas de 2065 a 2045 m; margas y anhidritas arcillosas de 2045 a 1980 m; arenas, rocas ígneas, aglomerados y tobas líticas y arcillosas de 1980 a 1487 m; conglomerados, brechas, rocas ígneas y tobas de 1437 a 505 m; tobas, calizas, lacustres, posiblemente de origen termal, areniscas, arenas, arcillas arenosas, lutitas y arcillas de 505 a 180 m; y arenas, limos y arcillas de 180 m a la superficie.

- *Porosidad, permeabilidad y resistencia de las capas geológicas.*

El modelo simplificado para la cuenca, se muestra en la Figura 20, que establece cinco unidades geohidrológicas regionales, a saber, en orden ascendente:

- a) El acuífero basal de calizas plegadas del Cretáceo
- b) El acuitardo de rocas volcánicas fracturadas del terciario
- c) El acuífero en conglomerados y evaporitas del Terciario, que rellenan la fosa de Texcoco
- d) El acuífero en rocas piroclásticas y aluvión, principalmente del Valle y sometido a explotación para el abastecimiento de la población, conformado por los rellenos aluviales y materiales volcánicos permeables de las Sierras Nevada y de Las Cruces.
- e) El acuífero en rocas volcánicas y piroclásticas del Cuaternario, representados por las Sierras del Chichinautzin que cierra el Valle hacia el sur y la Sierra interior de Santa Catarina.
- f) El acuitardo en depósitos lacustres, que cubre a las formaciones anteriores y ocupa la parte baja del Valle de México con las formaciones arcillosas.

En la región de interés, no se localizan rocas volcánicas del Cuaternario (Chichinautzin y Santa Catarina) (35)

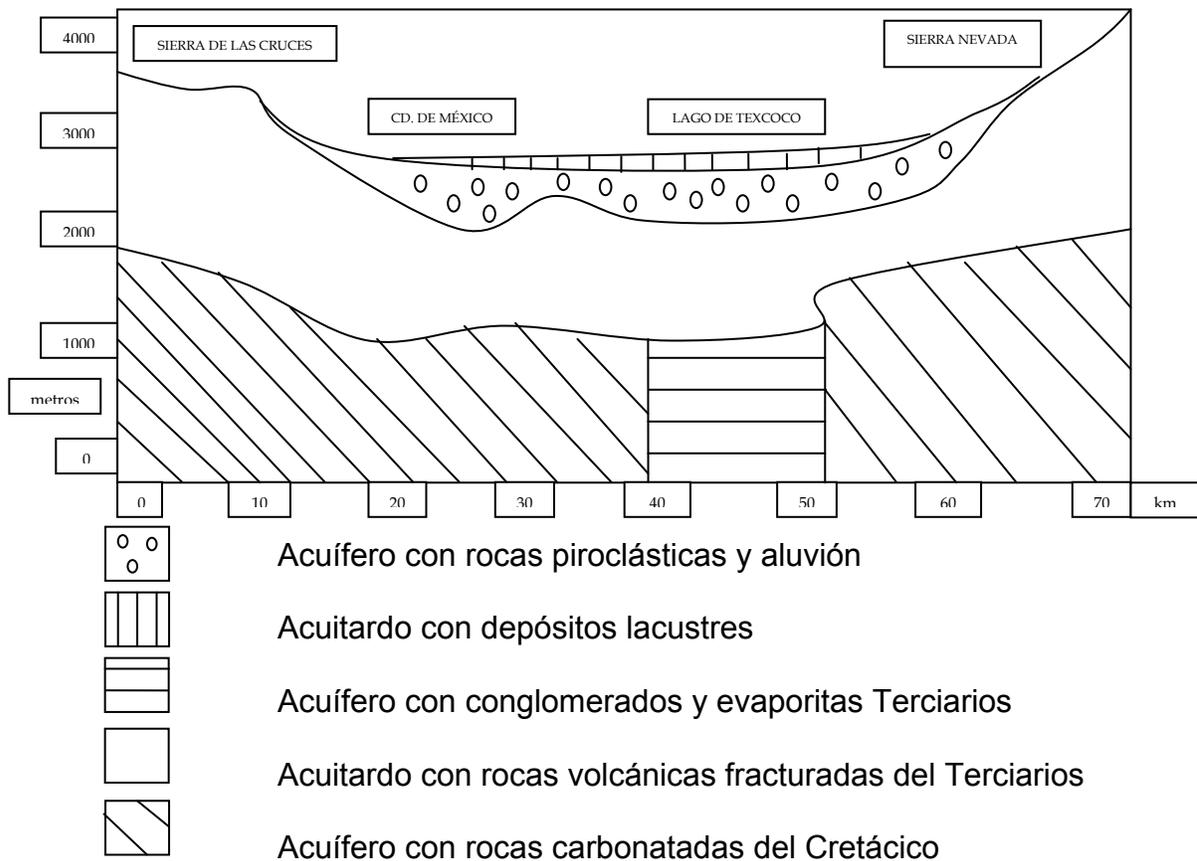


Figura 4. Modelo Geohidrológico del Valle de México

Elaboración: modificada del modelado simplificado de Ortega en 1989 para la cuenca del Valle de México

✓ Hidrología

Al noreste se encuentre el lago de Aragón. Como se menciona en la ubicación de Bordo Poniente, al oeste colinda con el lago Nabor Carrillo, el cual es un lago artificial construido como parte de un proyecto del gobierno federal para restaurar y aprovechar racionalmente los recursos de la zona del exvaso de Texcoco, se utiliza para tratar agua (36).



En un artículo publicado por Greenpeace se dice que existe un acuífero a 60 metros de profundidad del Bordo Poniente, el cual indican se encuentra en riesgo por llegar a tener contacto con los lixiviados del relleno sanitario (37).

✓ *Geomorfología*

En la región se presentan tres unidades geomorfológicas, la primera es la zona montañosa representada por las Sierras de Río Frío o Nevada, Santa Catarina y Guadalupe; al este, sur y norponiente respectivamente de la zona de interés. Son el resultado de procesos volcánicos efusivos de las fases volcánicas con elevaciones superiores a los 2400 m.

La Sierra del Río Frío tiene una dirección predominante NWN-SES y alcanza elevaciones algo mayores a los 52000 m en el Ixtaccihuátl, con pendientes medias entre 8 y 13%, con zonas locales en que existen pendientes mayores a 60%. La Sierra de Guadalupe tiene dirección N-S con elevación mayor a los 3000 m y pendientes similares a la de Río Frío. La Sierra de Santa Catarina, que cierra el antiguo vaso de Texcoco al sur, presenta dirección E-W, con alturas algo mayores a los 2700 m y pendientes entre 5 y 15%, con máximos de 45%.

La segunda unidad está representada por la zona de lomeríos, comprendida entre las elevaciones 2250 a 2400 m y se encuentra constituida por los abanicos aluviales de las corrientes superficiales y depósitos de materiales piroclásticos.

Hacia el este tiene una amplitud de 5 km y hacia el noreste y norte se amplía a más de 20 km; en la vecindad con las Sierras menores de Guadalupe y Santa Catarina, se manifiesta una reducción de su amplitud, por lo que representa transiciones abruptas entre la zona montañosa y la planicie, con amplitudes menores a 2 km.



La última unidad geomorfológica corresponde a la zona baja o planicie, conformada por sedimentos lacustres producto de la sedimentación en aguas tranquilas de cenizas volantes, donde se hidrataron, así como depósitos fluviales de tamaño inferior a las arenas. Esta unidad es la que se localiza en Bordo Poniente.

La zona baja corresponde a la de depósitos de los agentes hidráulicos erosivos de las dos unidades anteriores y se localiza entre las elevaciones 2230 m (fondo del Valle) y 2250 m, con pendientes casi nulas, menores al 1%, por lo que antiguamente eran zonas de inundación, actualmente desecadas por diversas obras de desagüe de la cuenca. Existen en el ex lago de Texcoco diversos cuerpos de agua artificiales, constituidos mediante depresiones topográficas, excavaciones y confinamientos mediante bordos, que constituyen el sistema hidráulico de esta región (35).

✓ *Clima*

El clima predominante es templado, semiseco, con lluvias abundantes en verano y escasas en primavera; en invierno el clima es frío. La temperatura promedio anual es de 15.8°C, con una máxima de 34°C y una mínima de -5°C. La precipitación pluvial media anual es de 518.8 milímetros.

La humedad aumenta durante las lluvias de verano sobre todo por las tardes y noches. Se registran heladas en los meses de noviembre a marzo. Los vientos dominantes se presentan principalmente entre los meses de febrero y abril y predominan los de sur a norte. (31)

✓ *Suelo*

Los suelos que constituyen la planicie lacustre de Texcoco son de origen volcánico – lacustre, producidos por la hidratación de cenizas volantes en aguas someras de



alta salinidad, que produjeron un rápida floculación y sedimentación que resultó en arcillas de los tipos montmorilonítico e íltico con pobre estructuración cristalina. Algunas efusiones piroclásticas de mayor tamaño en el Cuaternario, produjeron horizontes delgados de vidrio volcánico, predominantemente arenosos. En épocas de retracción de los cuerpos de agua, las cenizas volcánicas se depositaron por el viento en ambientes secos, así como en el pie de monte formando tobas de diversa compacidad, que cuando se localizan a profundidad en las zonas lacustres se denominan capas duras,, por su mayor consistencia que las formaciones arcillosa. Hacia la periferia del lago las corrientes torrenciales depositaron aluviones finos, interdigitados con las arcillas lacustres y tobas. En los últimos dos siglos, con la disminución de las zonas lacustres del Valle de México, se ha presentado una ligera depositación de suelos eólicos que rellenan parcialmente las fisuras superficiales de las arcillas. Los suelos eólicos están representados por limos y arenas finas primordialmente y no existe una acumulación superficial de importancia.

Los suelos de la planicie en Texcoco son franco arcillosos, cuya unidad edáfica corresponde a la solonchak, tipos gleyco y órtico. Son suelos profundos con texturas de medias a pesadas, ricos en limos muy susceptibles a erosión, migración y una pérdida de esfuerzo cuando está sujeto a agua con lentes arenosas de muy lento drenaje horizontal y vertical. Su permeabilidad en resulta de $3.5 \cdot 10^{-8}$ cm/s la vertical y de $3.8 \cdot 10^{-8}$ cm/s la horizontal.

Las reducidas pendientes y las condiciones de drenaje interno de los suelos ocasionan la formación de superficies de inundación en época de lluvias, mismas que se pierden en su totalidad debido a la diferencia tan notable entre precipitación y evaporación quedando en la superficie como residuo seco, las sales del agua evaporada, a las que se agregan sales que ascienden por efectos



capilares desde la zona saturada, lo que forma en temporada de secas precipitaciones de carbonatos y bicarbonatos.

✓ *Paisaje*

Es en su totalidad una zona urbana, es decir que se trata de una zona completamente habitada por el hombre, está conformado por las cuatro etapas de las cuales ya se ha hablado con anterioridad. También cuenta con una planta de selección y una planta de composta.

✓ *Flora y Fauna*

Notoriamente la fauna abundante en el relleno sanitario Bordo Poniente es en su mayoría fauna nociva: ratas, cucarachas, perros salvajes e insectos rastreros.

La fauna nociva designa aquellas especies de animales que, al darse ciertas condiciones ambientales, incrementan su población y se convierten en plaga, el cual es un vector potencial de enfermedades infecto-contagiosas o causantes de daños a las actividades o bienes humanos (38).

En cuanto a la flora es escasa o nociva, la flora nociva crece sin que se haya cultivado y que se propaga libremente, afectando a otros tipos de flora.

✓ *Población humana y actividades*

El personal que trabaja dentro del relleno sanitario que comparte el espacio con la planta de selección, se encarga principalmente de recuperar los residuos sólidos que todavía pueden ser procesados y recuperados. Esta zona es donde se acumulan los residuos que ya ha pasado por todo los ciclos del reciclaje y que por lo tanto que ya no cuentan con ninguna utilidad, no obstante, debido a que las plantas de selección no alcanzan a procesar el 100% de materiales, llegan una gran cantidad de éstos al relleno que todavía son rescatados.



En la actualidad, el número de pepenadores que trabajan en la Planta de Selección localizada en Bordo Poniente es de 1,500 agremiados de los cuales, aproximadamente el 50% son hombres y el otro 50% son mujeres, la presencia de niños ha disminuido pues se presentaron diversos accidentes con ellos, ya sea debido a la continua entrada y salida de los camiones o bien, a la maquinaria pesada que trabaja todo el día en el lugar. No obstante, se llegó a observar que si hay adolescentes de entre 13 a 17 años que se encuentran recolectando o separando los materiales, que probablemente son familiares de algún pepenador agremiado.

Entre la población que trabaja en la Planta de Selección con un promedio de edad de 20 a 45 años, hay mayor presencia de hombres con un 70% y un 30% de mujeres, significando, que hay más mujeres de edad avanzada, de cerca de 60 años o más, así como de mujeres jóvenes de 17 a 19 años. De los 1,500 pepenadores que trabajan en la planta de selección, sólo 600 personas están agremiadas, el resto, son personas emparentadas que han entrado a la actividad por transmisión.

Uno de los principales problemas dentro del gremio que afecta el desarrollo y convivencia en la planta de selección así como en las unidades habitacionales en las que viven, es la presencia de un alto nivel de muertes de pepenadores debido al alcohol, o bien, a enfermedades relacionadas con él.

Los accidentes también, son otra constante en los riesgos que se deben de correr en la realización de la pepena, sin embargo ofrecen un apoyo a los enfermos o accidentados, pagando los servicios médicos en algunas ocasiones. No existen las indemnizaciones ni las incapacidades, sino que, dependiendo al acuerdo que



se llegue entre los pepenadores de cada turno, se le otorgará al compañero todo el salario semanal o bien una parte proporcional de él.

No obstante, la esperanza de vida de un pepenador ha aumentado laborando dentro de la planta de selección, en comparación con el trabajo del tiradero, ya que las duras condiciones en que crecían, vivían y trabajaban, hacían que la vida de los pepenadores fuera corta (unos 40 años de esperanza de vida aproximadamente), aunado a la existencia de una altísima tasa de mortalidad infantil. Mientras que la calidad de vida en la planta de selección ha aumentado a más de 70 años en promedio, gracias a la protección que se tiene de los cambios climáticos con la infraestructura del lugar, además de que los pepenadores ya tienen una casa bien construida con todos sus servicios.

Por otro lado, no todos los agremiados son pepenadores únicamente, pues existe una apertura a otras ocupaciones u oficios como carpintería, de albañilería, de herrería, entre otros. En algunos casos, las ocupaciones más habituales son la de comerciante de materiales recuperados de la basura, chacharero (vendedor de chácharas) como ya se había mencionado anteriormente.

Para los pepenadores no es fácil cambiar de puesto ya sea dentro de las bandas o bien afuera de la planta de selección, pues otras actividades están más solicitadas y su asignación depende de la empatía que el líder tenga con ellos. Algunos pepenadores han preferido contratarse como mano de obra con la empresa recicladora AVANGAR, en la maquinaria que doto para procesar los materiales dentro de la planta obteniendo un salario fijo en comparación con el trabajo en el gremio.

También existen otro tipo de pepenadores que no trabajan dentro de la planta de selección, además de estar posicionados en el último nivel dentro del sistema de



reciclaje, se habla de aquellos que trabajan en el relleno sanitario, los cuales son confinados a ese espacio por no pertenecer a la organización, aunado a que la mayoría provienen de la planta de selección localizada en Santa Catarina, relatan que abandonaron los trabajos en la planta de selección de Santa Catarina debido a que se encontraban en una situación de inseguridad en cuanto a beneficios así como prestaciones dentro de su organización, los maltratos, amenazas y explotación por parte del líder así como de los cabos, además de la limitación de sus ganancias a partir de los productos que recolectaban.

Sin embargo, al no pertenecer al gremio fueron asignados al sitio del relleno sanitario, en donde no se tiene ningún beneficio en cuanto a las condiciones de trabajo, climáticas o de organización con la que cuentan los otros pepenadores, sino que el único beneficio es el poder trabajar, desempeñando la labor usando únicamente sus manos y soportando las inclemencias del sol. Son aproximadamente 200 pepenadores que se encuentran en dicha situación. No tienen un horario establecido en comparación con los pepenadores de la planta de selección, sino que ellos manejan sus horarios dependiendo de las condiciones climáticas, sobre todo del sol, pues en general descansan las horas en las que se encuentra más fuerte, por lo que su jornada inicia temprano para aprovechar más el día; no está permitido trabajar en el horario de la noche, por los peligros que representa.

No cuentan como ya se había mencionado, con ninguno de los beneficios que les son dados a los otros agremiados, por lo que llegan al relleno por sus propios medios, tampoco radican dentro de las unidades habitacionales de donde llegan la mayoría de los pepenadores, sino que están distribuidos por la ciudad, principalmente cerca de la planta de selección de Santa Catarina. En la Tabla 16 se presenta un cuadro comparativo entre los dos grupos de pepenadores.



Dentro de la planta de selección también se encuentran empleados directos del gobierno del Distrito Federal, que se encargan de manejar la maquinaria pesada, mecánicos para el mantenimiento de la misma, pesadores, checadores y guardias. Así, en Bordo Poniente hay 54 empleados de base con 71 eventuales, entre ellos 31 de operación, 9 de construcción y 23 de servicios generales; los salarios al igual que sus prestaciones están cubiertas por el gobierno de la entidad (29).

Tabla 1. Bordo Poniente: pepenadores en planta de selección vs pepenadores en el relleno sanitario

	Pepenadores de la Planta de selección	Pepenadores del Relleno Sanitario
Cantidad	600 agremiados (trabajo directo en las bandas) 900 no agremiados (realizan actividades dentro de la planta, pero no en bandas)	200
Edades	16 a 75	25 a 50
Ingreso estimado diario	100 a 150	80 a 100
Forma de organización tipo de trabajo	En equipo	Trabajo individual
Jornada	8 hrs	8 a 10 hrs
Disponibilidad de trabajo en la plana de gasificación	Improbable	Probable

Fuente: (29)



5 METODOLOGÍA

Para simplificar la explicación de la metodología utilizada se realizó el siguiente diagrama, que se muestra en la Figura 22.

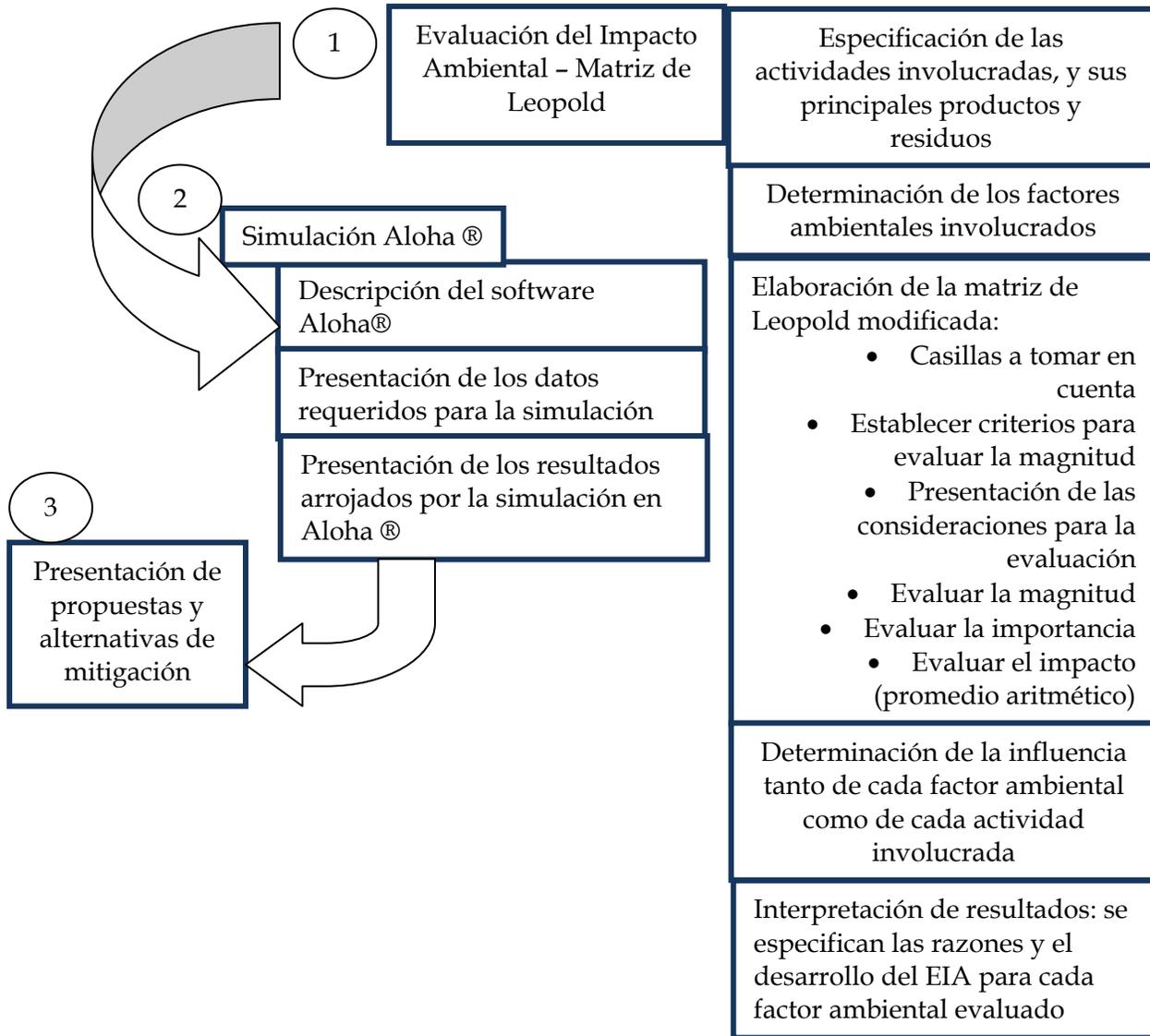


Figura 1. Representación de la metodología utilizada



6 RESULTADOS

En el primer apartado de este capítulo se lleva a cabo la descripción de cómo se realizó el EIA para el sistema de gasificación, en el cual se hace un listado de las principales actividades involucradas, presentando una breve descripción de cada una e incluyendo los principales productos y residuos que se obtendrán de cada actividad involucrada, seguido de un listado de los factores ambientales que se verían involucrados. A continuación se da una breve descripción de cómo se evaluó la magnitud, la importancia y el impacto, se presentan las consideraciones para la evaluación, los criterios para evaluar la magnitud y se presenta la matriz de Leopold. Después se determinó la influencia de cada factor ambiental y de cada actividad involucrada. Se incluye una sección de interpretación de resultados, en el cual se especifican las razones y el desarrollo de la evaluación del impacto ambiental para cada factor ambiental involucrado.

En el segundo apartado de este capítulo se presenta una descripción del uso del software Aloha®, los datos requeridos para la simulación del alcance realizada en dicho software y los resultados arrojados por la simulación. Y como último apartado de este capítulo se presentan las propuestas de alternativas de mitigación del sistema de gasificación, es decir las recomendaciones que se plantean para evitar los impactos que podría provocar la implementación del sistema de gasificación.



6.1 ***Evaluación del impacto ambiental para el sistema de gasificación***

✓ *Actividades del proyecto del sistema de gasificación que pueden provocar impacto*

➤ Fase de construcción

En este apartado se incluyen los efectos sobre el paisaje, más intensos durante esta fase, pero que serán permanentes por la presencia física de la incineradora, como gran edificación ajena, en principio, a las características paisajísticas y de naturalidad del entorno. Como se trata de una zona poco poblada pero con mucha vegetación, se observará un gran impacto paisajístico, muy notable.

- Acondicionamiento del terreno

Esta etapa representa producción de polvo y ruido por parte del tráfico de materiales y maquinaria, las siguientes son las principales actividades que se llevan a cabo durante este periodo:

- Caminos y pistas de acceso
- Movimiento de tierras
- Explanaciones

- Obras de construcción, reforzándose los impactos por modificaciones del relieve

Esta etapa representa generación de polvo y ruido, así como los derivados del continuo movimiento de maquinaria pesada

- Vertido de tierras, escombrado y demás materiales sobrantes de la construcción.

Fin de la fase de construcción, se pretende dejar el sitio listo para la fase de operación, removiendo todo lo que no será necesario.



➤ Fase de operación de la planta

En esta etapa se presenta el mayor número de afecciones y de mayor magnitud, los principales residuos, se genera el slag, una gran cantidad de ruido, se generan las aguas residuales, etc.

- Transportación de residuos sólidos urbanos hacia la planta

Presencia de tránsito de vehículos pesados y posibilidad de accidentes o pérdidas de carga durante el transporte de los residuos desde el lugar de origen hasta la planta.

- Almacén de residuos sólidos urbanos

El almacenamiento de los residuos sólidos debe durar el menor tiempo posible de tal forma que se eviten:

- Olores
- Fauna nociva

- Compactación

La compactación es muy importante para la etapa de gasificación, ya que las partículas a gasificar deben tener cierto tamaño de tal forma que se acelere y facilite el proceso de gasificación, en esta etapa se debe procurar que los equipos de trituración se encuentren en buenas condiciones.

- Ruido producido por las bandas y la trituración de los residuos para alcanzar el tamaño de partícula deseado.

- Pretratamiento - Pirólisis.

El pre tratamiento también es una etapa para favorecer la gasificación, su buena implementación disminuirá la producción de dioxinas y furanos



durante la gasificación. Durante el pre tratamiento se obtienen los siguientes subproductos:

- Residuos de rechazo
- O₂ y agua

- Gasificación.

La etapa de gasificación es la etapa que más debe cuidarse, se debe procurar un buen control de la temperatura de operación y cuidar principalmente:

- Emisiones a la atmósfera.

En las emisiones a la atmósfera, se incluyen multitud de productos contaminantes que pueden ser transferidos a medio, resultando la vía atmosférica la que adquiere una mayor dispersión.

- Generación de slag
- Hidróxido de metales
- Azufre
- Dioxinas y furanos
- Generación de syngas

- Homogenización del slag

Durante esta etapa se procura la recuperar el mayor porcentaje de metales y minerales, es de vital importancia tratar el agua residual que se obtiene de esta etapa, ya que es agua residual con alto contenido de metales pesados.

- Metales y agregados de minerales
- Agua residual con alto contenido de metales pesados



- Enfriamiento del gas

En esta etapa se procura disminuir al mínimo la generación de dioxinas

- Depuración del gas

Durante la limpieza del gas se obtienen:

- Cenizas, concentrado de zinc, sales y agua depurada

- Tratamiento de aguas

Durante el tratamiento de las aguas residuales si se lleva a cabo una buena remoción de contaminantes, se obtendrá:

- Agua pura, concentrado de zinc y sales

- Generación de energía

Al producir energía se obtendrán:

- H₂, CO y vapor



✓ *Factores ambientales que se pueden alterar por el impacto producido*

Los factores ambientales que se considerarían afectados son los siguientes:

- Medio físico
 - Aire
 - Agua
 - Tierra/suelo
- Medio biótico:
 - Flora
 - Fauna
- Medio perceptivo:
 - Paisaje
 - Sonido/ruido
 - Olores
- Medio cultural y socioeconómico
 - Población humana y actividades
 - Economía

✓ *Evaluación de la magnitud*

La magnitud consiste en la valoración del impacto o de la alteración potencial a ser provocada; grado, extensión o escala. Hace referencia a la intensidad y a la dimensión del impacto en sí mismo.

✓ *Evaluación de la importancia*

En esta fase de evaluación se valorará la importancia que tiene cada una de las etapas sobre los factores ambientales, se determinará si dicho impacto tiene o no relevancia sobre el sitio de estudio.



✓ *Evaluación del impacto*

Es necesario estandarizar todos los impactos de tal forma que la alteración, ya sea positiva o negativa, represente realmente el impacto que produce. Para lo cual se multiplica la magnitud por la importancia, de tal forma que cada impacto tenga el peso real que conlleva en el proyecto.

✓ *Evaluación del impacto ambiental para el sistema de gasificación.*

En primera instancia se determinaron las casillas a tomar en cuenta, trazando sobre ellas una línea cruzada, por esta razón al final de la evaluación hay casillas vacías. No todos los factores ambientales se ven afectados por las etapas.

○ *Consideraciones para realizar la evaluación del impacto ambiental:*

Para llevar a cabo la evaluación de la magnitud establecieron ciertos criterios para cada factor ambiental, los cuales se muestran en la Tabla 17 y en la Tabla 18, y son específicos para este proyecto. Para determinarlos se tomaron en cuenta las características del sitio, la normatividad, entre otros. Se colocó un signo positivo o negativo dependiendo de si la actividad beneficiaba o dañaba el factor ambiental evaluado. Debajo de la diagonal se colocó el impacto del factor evaluado, la determinación de la importancia implica que tanto peso tiene la alteración del factor evaluado en el sitio. Esta determinación se realizó subjetivamente con los conocimientos que se han adquirido a lo largo del desarrollo de este trabajo.

En la Tabla 19 se muestra la matriz de Leopold obtenida para el sistema de gasificación.



Tabla 1. Criterios para determinar la magnitud para los impactos negativos

FACTOR AMBIENTAL			AIRE	AGUA	SUELO	FLORA Y FAUNA	PAISAJE	RUIDO	OLORES	POBLACIÓN HUMANA Y ACTIVIDADES	ECONOMÍA
IMPACTO	ESCALA	MAGNITUD	CRITERIOS								
NEGATIVO	1	BAJO	PARTÍCULAS EMITIDAS AL AIRE	GENERACIÓN DE EFLUENTES SIN CONTAMINANTES	ALTERACIÓN SOLO SOBRE LA SUPERFICIE DEL TERRENO	DESAPARICIÓN DE MEDIOS DE ALIMENTACIÓN	REMOCIÓN DE ÁRBOLES, FLORA Y FAUNA DEL MEDIO	EMISIONES DE RUIDO POR DEBAJO DE LOS 65 dB	PRESENCIA DE OLORES DESAGRADABLES	DECAIMIENTO EN LA CALIDAD DE VIDA DE LOS PEPENADORES DEL RELLENO SANITARIO	DISMINUCIÓN DE LOS INGRESOS PÉR CAPITA DE LA POBLACIÓN
	2	MEDIO	EMISIONES A LA ATMÓSFERA DENTRO DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	GENERACIÓN DE EFLUENTES CON CONCENTRACIONES DENTRO DE LOS LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES	ALTERACIÓN HASTA CINCO METROS DEBAJO DEL TERRENO	ALTERACIÓN DE LA FORMA DE VIDA DE ALGUNAS ESPECIES	DRÁSTICA DISMINUCIÓN DE ÁRBOLES, FLORA Y FAUNA , ASÍ COMO ALTERACIÓN EN LOS CUERPOS DE AGUA	EMISIONES DE RUIDO HASTA POR 65 dB	PRESENCIA DE OLORES FÉTIDOS, QUE PUEDEN RESULTAR INSOPORTABLES	DECAIMIENTO EN LA CALIDAD DE VIDA DE LOS PEPENADORES DE LA PLANTA DE SELECCIÓN	DISMINUCIÓN DE SECTORES PRODUCTIVOS
	3	ALTO	EMISIONES A LA ATMÓSFERA ARRIBA DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	GENERACIÓN DE EFLUENTE CON CONCENTRACIONES ENCIMA DE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	ALTERACIÓN MAYOR A CINCO METROS DEBAJO DEL TERRENO	EXTINCIÓN DE LA FAUNA Y FLORA PRESENTE	DESAPARICIÓN DE BOSQUES, SELVAS, ENTRE OTROS	EMISIONES DE RUIDO POR ENCIMA DE LOS 99 dB	PRESENCIA DE OLORES FÉTIDOS QUE PUEDEN PROVOCAR NÁUSEAS	AUMENTO DRÁSTICO DE LA CANTIDAD DE PEPENADORES DE RELLENO SANITARIO	DESAPARRICIÓN DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS

Elaboración: propia



Tabla 2. Criterios para determinar la magnitud para los impactos positivos

FACTOR AMBIENTAL			AIRE	AGUA	SUELO	FLORA Y FAUNA	PAISAJE	RUIDO	OLORES	POBLACIÓN HUMANA Y ACTIVIDADES	ECONOMÍA
IMPACTO	ESCALA	MAGNITUD	CRITERIOS								
POSITIVOS	1	BAJO	REMOCIÓN DE PARTICULAS	REMOCIÓN DE PARTICULAS EN SUSPENSIÓN (TRATAMIENTO PRIMARIO)	EVITAR EFLUENTES O CONTAMINANTES EN EL ACUITADRO CON DEPÓSITOS LACUSTRES	PROCURACIÓN DEL MEDIO PARA EL DESARROLLO DE ESPECIES	REMOCIÓN DE TODOS LOS DESPERDICIOS HACIA UN LUGAR DE ALMACENAMIENTO ADECUADO	AUSENCIA DE EMISIONES DE RUIDO MAYORES A 99 dB	DESAPARICIÓN DE OLORES DESAGRADABLES	MEJORA DE LA CALIDAD DE VIDA DE LOS 200 PEPENADORES DEL RELLENO SANITARIO	AUMENTO DE INGRESOS PER CÁPITA
	2	MEDIO	LIMPIEZA DE GASES EMITIDOS A LA ATMÓSFERA	REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y METALES (TRATAMIENTO SECUNDARIO)	EVITAR EFLUENTES O CONTAMINANTES ENTRE EL ACUITARDO CON DEPÓSITOS LACUSTRES HASTA EL ACUÍFERO CON CONGLOMERADOS	DESAPARICIÓN DE FAUNA Y FLORA NOCIVAS	MEJORAS EN LA VISIBILIDAD DE LAS VIVIENDAS	AUSENCIA DE EMISIONES DE RUIDO MAYORES A 65 dB	DESAPARICIÓN PAULATINA DE OLORES FÉTIDOS, QUE PUEDEN RESULTAR INSOPORTABLES	INCORPORACIÓN DE UN PORCENTAJE DE LOS 200 PEPENADORES DEL RELLENO SANITARIO A LA PLANTA DE GASIFICACIÓN	CRECIMIENTO DE SECTORES PRODUCTIVOS
	3	ALTO	IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA CERO EMISIONES	REMOCIÓN DE COMPUESTOS ALTAMENTE NO BIODEGRADABLES (TRATAMIENTO TERCARIO)	EVITAR EFLUENTES O CONTAMINANTES DEL ACUÍFERO CON CONGLOMERADOS EN ADELANTE	PROCURACIÓN EN LA CONSERVACIÓN DE ESPECIES	MEJORAS EN LA ARMONÍA VISUAL DE TODO EL ENTORNO	AUSENCIA DE RUIDO	DESAPARICIÓN INMEDIATA DE OLORES FÉTIDOS	INCORPORACIÓN DE LOS 200 PEPENADORES DEL RELLENO SANITARIO A LA PLANTA DE GASIFICACIÓN	GENERACIÓN DE NUEVOS SECTORES PRODUCTIVOS

Elaboración: propia



Tabla 3. Matriz de Leopold obtenida para el sistema de gasificación

MATRIZ		FACTORES AMBIENTALES									
		FISICO			BIÓTICO	PERSPECTIVO			CULTURAL Y SOCIECONÓMICO		
SISTEMA DE GASIFICACIÓN		AIRE	AGUA	SUELO	FLORA Y FAUNA	PAISAJE	RUIDO	OLORES	POBLACIÓN HUMANA Y ACTIVIDADES	ECONOMÍA	
ACTIVIDADES QUE PUEDEN CAUSAR IMPACTOS AMBIENTALES	FASE DE CONSTRUCCIÓN										
	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	1 (-) / 1		2 (-) / 2	2 (-) / 1	1 (-) / 1	3 (-) / 2		2 (+) / 3	3 (+) / 3	
	OBRAS DE CONSTRUCCIÓN	1 (-) / 1		2 (-) / 2	2 (-) / 1	1 (-) / 1	3 (-) / 2		2 (+) / 3	3 (+) / 3	
	VERTIDO DE TIERRAS	1 (-) / 1		2 (-) / 2	2 (-) / 1	1 (-) / 1	3 (-) / 2		2 (+) / 3		
	FASE DE OPERACIÓN										
	TRANSPORTACIÓN DE RSU	2 (-) / 1		1 (-) / 2	2 (-) / 1	1 (-) / 2	2 (-) / 2	2 (-) / 2	2 (+) / 2		
	ALMACEN DE RSU	2 (-) / 1	1 (-) / 1		2 (-) / 1	1 (+) / 2		3 (-) / 2	2 (+) / 2		
	COMPACTACIÓN						3 (-) / 3		1 (+) / 2		
	PRETRATAMIENTO	2 (-) / 2	2 (-) / 2						1 (+) / 2		
	GASIFICACIÓN	2 (-) / 2			2 (-) / 1	2 (-) / 2	3 (-) / 2		2 (-) / 1		
HOMOGENIZACIÓN DEL SLAG		2 (-) / 2	1 (+) / 1							2 (+) / 2	
DEPURACION DEL GAS	2 (+) / 2	2 (-) / 1		2 (-) / 1				2 (+) / 2			
TRATAMIENTO DE AGUAS		2 (+) / 2		2 (+) / 1	1 (+) / 2		2 (+) / 3	3 (+) / 3			
GENERACIÓN DE ENERGÍA	2 (-) / 2			2 (-) / 1				3 (+) / 3	3 (+) / 3		

Elaboración: propia



Con los promedios positivos y negativos no se puede saber que tan beneficiosa o dañina es la acción propuesta para definir esto se recurre al promedio aritmético. Para obtener el valor en el casillero respectivo, sólo basta multiplicar el valor de la magnitud con la importancia de cada casillero, y adicionarlos algebraicamente según cada columna. De igual forma las mismas estadísticas que se hicieron para cada columna. De igual forma las mismas estadísticas que se hicieron para cada columna deben hacerse para cada fila (39). Obteniendo las siguientes tablas: en la Tabla 20 se muestran los valores parametrizados para los factores ambientales, mientras que en la Tabla 21 se muestran los valores parametrizados para las etapas del proyecto. Con los datos que se obtuvieron se calculó la influencia total del impacto de cada etapa o factor, dividiendo el valor absoluto del impacto total de cada etapa o factor entre el máximo total del impacto.

Tabla 4. Interpretación de resultados de la matriz de Leopold para los factores ambientales

Factor ambiental	Impacto total	# de impactos identificados	Influencia total (%)
Aire	-15	9	8.52%
Agua	-7	5	3.98%
Suelo	-13	5	7.39%
Flora y Fauna	-14	9	7.95%
Paisaje	-5	7	2.84%
Ruido	-37	6	21.02%
Olores	-4	3	2.27%
Población humana y actividades	50	11	28.41%
Economía	31	4	17.61%

Elaboración: propia



Tabla 5. Interpretación de la matriz de Leopold para las etapas del proyecto.

Actividad	Impacto total	# de impactos identificados	Influencia total (%)
Acondicionamiento del terreno	1	7	1.02%
Obras de construcción	1	7	1.02%
Vertido de tierras	-8	6	8.16%
Transportación de RSU	-12	7	12.24%
Almacén de RSU	-5	6	5.10%
Compactación	-7	2	7.14%
Pretratamiento	-6	3	6.12%
Gasificación	-18	5	18.37%
Homogenización del slag	1	3	1.02%
Depuración del gas	4	4	4.08%
Tratamiento de aguas	23	4	23.47%
Generación de energía	12	4	12.24%

Elaboración: propia

Para facilitar la interpretación de los resultados se especificarán las razones y el desarrollo de la evaluación para cada factor ambiental, y se presentará una tabla para cada factor ambiental en la cual se presentará la magnitud, el impacto y la importancia de las actividades en las que se evaluó. Sólo en los impactos mayores se presenta un gráfico en el cual se muestra el impacto provocado por las actividades involucradas en la evaluación, acompañado de la importancia que conlleva. De la Tabla 21 se obtiene que los factores más impactados son: el aire, el ruido, y la población humana y actividades, debido a que presentan el mayor porcentaje de influencia total, es decir que son los más alterados durante el proyecto.



✓ Aire

Durante la fase de operación del sistema de gasificación el aire es el factor físico que más se debe cuidar, debido a las emisiones que se producen durante el proceso, principalmente dioxinas, furanos, NOx, SOx, HCl_(liq) y Hg; ya que en grandes concentraciones pueden contaminar causando daños muy graves a la población y a todo el entorno.

El aire resulto ser factor físico con el mayor impacto negativo al realizar la evaluación. La importancia que se le asignó fue media, vario entre uno y dos, debido a que todas las emisiones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la normatividad vigente aplicable. En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de dicho factor físico.

Tabla 6. Magnitud, Impacto e importancia para el aire.

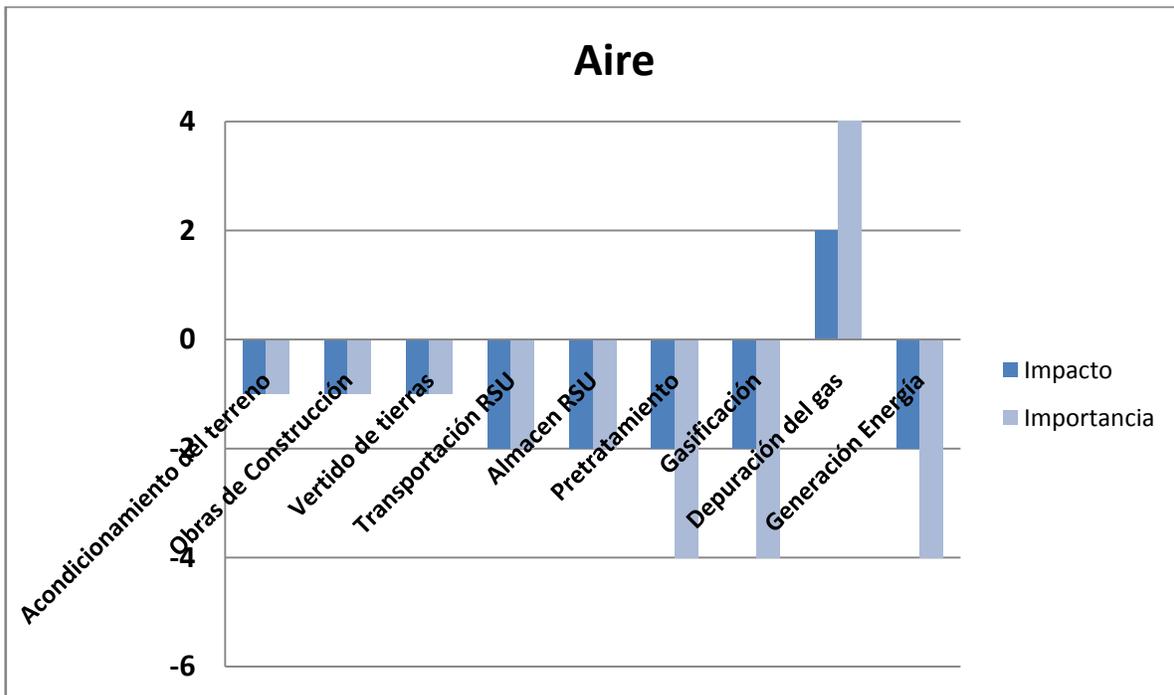
Aire			
Etapa	Magnitud	Importancia	Impacto
Acondicionamiento del terreno	-1	1	1
Obras de Construcción	-1	1	1
Vertido de Tierras	-1	1	1
Transportación de RSU	-2	1	2
Almacenamiento RSU	-2	1	2
Pretratamiento	-2	2	4
Gasificación	-2	2	4
Depuración	2	4	8
Generación de energía	-2	2	4

Elaboración: propia



En la fase de construcción se le otorgaron valores de -1 debido a que en esta parte entra en el criterio de magnitud baja como se observa en el Gráfico 5. La fase de construcción producirá levantamiento de tierra y partículas al aire, las cuales volverán a sedimentarse en algún otro lugar.

Gráfico 1. Representación de los resultados obtenidos de la matriz de Leopold para el aire



Elaboración: propia

El pretratamiento, la gasificación y la generación de energía son las etapas en las que más se daña al sitio, esto se debe a que son las etapas de mayor importancia para el proceso, es donde se da la transformación de la basura, y en las cuales se trabaja a muy altas temperaturas y a cambios muy bruscos de temperatura. Cabe resaltar que para este factor se presenta una actividad positiva, la limpieza de los gases, esta actividad consiste en hacer decaer la temperatura drásticamente, debido a que las reacciones que se llevan a cabo durante la gasificación son reversibles, de tal forma que se evite la formación de productos contaminantes no



deseados, principalmente las dioxinas y furanos, los cuales son de las sustancias conocidas más dañinas para el ser humano.

Durante la transportación de RSU se tienen emisiones de NOx producidas por los vehículos, pero no se le dio una importancia de uno debido a que al sitio de estudio llegan diariamente una gran cantidad de transfers.

En el almacenaje de RSU se pueden llegar a producir emisiones de contaminantes a la atmósfera, pero esto dependerá de las condiciones en las que se almacenen los RSU, es decir que si se mantienen los RSU en buenas condiciones las emisiones serán mínimas o nulas, por esta razón se le dio una importancia de uno.

✓ Agua

Durante la fase de construcción no se le adjudica ningún impacto ya que ninguna de estas actividades la involucra. Antes de la construcción del relleno sanitario Bordo Poniente, esa zona se encontraba rodeada por lagos que con el tiempo fueron entubados y utilizados como drenaje, actualmente a un lado de Bordo se encuentra el Lago Artificial Nabor Carrillo, el cual está construido de tal forma que reciba daños generados por Bordo Poniente. Se cree que a 60 metros de profundidad de Bordo Poniente se encuentra un acuífero. Como se puede entender no hay acuíferos relevantes en Bordo Poniente, y si llegarán a existir estarían completamente impactados debido al rompimiento de las membranas del relleno sanitario que producen escapes de lixiviados. Por esta razón la evaluación del agua no tiene un gran peso para el proyecto, por el contrario podría mejorar el sitio evitando que más RSU sean depositados en el relleno.

Durante el almacenamiento de los RSU podría llegar a existir flujo de lixiviados, pero se puede minimizar o evitar llevando a cabo el almacenaje en buenas condiciones, es decir, evitando que los RSU estén durante mucho tiempo almacenados y colocándolos sobre alguna superficie impermeable, la cual si



llegara a haber presencia de lixiviados evite el paso de estos al suelo y posteriormente a los cuerpos de agua. La lluvia también representa una alteración durante el almacenamiento debido a que al mojarse los RSU aumenta la probabilidad de creación de lixiviados.

Durante el pretratamiento, la homogenización del slag y la depuración de los gases se obtienen principalmente efluentes con altas concentraciones de metales pesados, lo cual tiene un gran peso para la evaluación, ya que a pesar de no tener contacto directo con cuerpos de agua, la lluvia puede provocar la disipación de dichos contaminantes. El tratamiento de aguas es de vital importancia para evitar la contaminación de cuerpos de agua se requiere de un tratamiento secundario que remueva los metales pesados así como la materia orgánica que pudiera estar presente. En la Tabla 23 se muestran los resultados de la evaluación que se llevó a cabo.

Tabla 7. Magnitud, Impacto e Importancia para el agua.

Agua			
Etapas	Magnitud	Importancia	Impacto
Almacén RSU	-1	1	-1
Pretratamiento	-2	2	-4
Homogenización del slag	-2	2	-4
Depuración	-2	1	-2
Tratamiento de aguas	2	2	4

Elaboración: propia



✓ Suelo

El suelo sufre los principales impactos durante la etapa de construcción, debido al movimiento de tierras, explanaciones, excavaciones, vertido de tierras, entre otros. Estos impactos son de vital importancia para el proyecto, aunque es muy probable que causen un gran impacto en el suelo, pero como se trata de Bordo Poniente la alteración no resultaría tan significativa a comparación de realizar el proyecto en algún otro sitio, ya que el suelo de Bordo Poniente se encuentra altamente impactado y presenta hundimientos significativos con el paso del tiempo.

La transportación de RSU implica una alteración de la superficie del terreno, debido al tránsito continuo de los transfers, los cuales llegan a transportar hasta una tonelada de residuos, pero en este caso al tratarse de Bordo Poniente la alteración no tendría gran peso, en comparación con otro sitio, debido a que diariamente se transportan 12,000 toneladas de residuos a este sitio utilizando los antes mencionados transfers. Por esta razón se les dio un valor de dos en la importancia.

Tabla 8. Magnitud, Impacto e Importancia para el suelo

Suelo			
Etapa	Magnitud	Impacto	Importancia
Acondicionamiento del terreno	-2	2	-4
Obras de construcción	-2	2	-4
Vertido de tierras	-2	2	-4
Transportación RSU	-1	2	-2
Homogenización del slag	1	1	1

Elaboración: propia



✓ Flora y Fauna

El proyecto tiene un gran potencial para causar una alteración negativa tanto de la flora como de la fauna, pero como el sitio de estudio no cuenta con una amplia diversidad su importancia es irrelevante, debido a que está conformada por fauna y flora nociva, esto se muestra en la Tabla 25.

Tabla 9. Magnitud, Impacto e Importancia para la flora y la fauna

Flora y Fauna			
Etapa	Magnitud	Importancia	Impacto
Acondicionamiento del terreno	-2	1	-2
Obras de construcción	-2	1	-2
Vertido de tierras	-2	1	-2
Transportación RSU	-2	1	-2
Almacenamiento de RSU	-2	1	-2
Gasificación	-2	1	-2
Depuración	-2	1	-2
Tratamiento de aguas	2	1	2
Generación Energía	-2	1	-2

Elaboración: propia

Como ya se ha mencionado Bordo Poniente se encuentra en condiciones deplorables, la flora y la fauna son nocivas, por esta razón en la evaluación de todos los impactos se les da un valor de uno ya que es un factor que carece de importancia para el sitio. El tratamiento de aguas se evaluó positivamente ya que brindaría agua tratada, tal vez no potable pero seguramente en mejores condiciones, que podría ser utilizada para el riego y se podría fomentar fauna favorable para el sitio.



La fase de construcción arrojó resultados negativos debido a que si hubiera fauna y flora presente representaría una grave alteración del ecosistema, se ha calificado negativo pero con una importancia baja. Aunque desde otro punto de vista las actividades de esta fase podrían evaluarse positivamente, ya que producirían una disminución de la flora y la fauna nocivas.

✓ Paisaje

El paisaje del sitio es una zona en su totalidad urbana, si el proyecto se implementará en una zona rural el impacto al paisaje sería dañino, pero como se trata de una zona completamente urbana, altamente impactada y el condiciones deplorables, el impacto es irrelevante, al igual que para la flora y la fauna.

El tratamiento de aguas se evaluó positivamente debido a que podría traer una mejoría para cuerpos de agua, la flora y la fauna. De tal forma que se realice una mejora en la visibilidad del entorno.

Tabla 10. Magnitud, Impacto e Importancia para el paisaje

Paisaje			
Etapas	Magnitud	Importancia	Impacto
Acondicionamiento del terreno	-1	1	-1
Obras de construcción	-1	1	-1
Vertido de tierras	-1	1	-1
Transportación RSU	-1	2	-2
Almacenamiento RSU	1	2	2
Gasificación	-2	2	-4
Tratamiento de aguas	1	2	2

Elaboración: propia



✓ Ruido

El ruido es un gran contaminante, se define como un sonido no deseado, en la evaluación el ruido resultó ser el impacto negativo más alto (Tabla 20). Lo que nos indica que debe ser uno de los factores principales para procurar.

En materia de exposición a ruido, la OMS recomienda que, para no afectar el oído humano, el ruido en el ambiente no debe exceder los 85Db. En México, a través de la SEMARNAT y la STPS se regula a este contaminante. La SEMARNAT legisla a cualquier fuente de ruido hacia el ambiente; la STPS se encarga de proteger a los trabajadores expuestos a este contaminante. En la actualidad en el país se estableció que de 06:00 a 22:00 h las fuentes fijas no deben emitir más de 68 dB (A), y de 22:00 a 06:00 h el límite es de 65 dB; dentro de estas fuentes se encuentran talleres, comercios, termoeléctricas, clubes de caza, industrias, entre otros.

Tabla 11. Magnitud, Impacto e Importancia para el ruido

Ruido			
Fase	Magnitud	Impacto	Importancia
Acondicionamiento del terreno	-3	2	-6
Obras de construcción	-3	2	-6
Vertido de tierras	-3	2	-6
Transportación RSU	-2	2	-4
Compactación	-3	3	-9
Gasificación	-3	2	-6

Elaboración: propia

La compactación de RSU ocupa maquinaria muy pesada que es necesario operar con protección, tapones para los oídos, esta es la razón por la cual se le dio una importancia de tres. Durante la fase de construcción y la gasificación también se utiliza maquinaria pesada, pero la exposición no es tan constante como en la

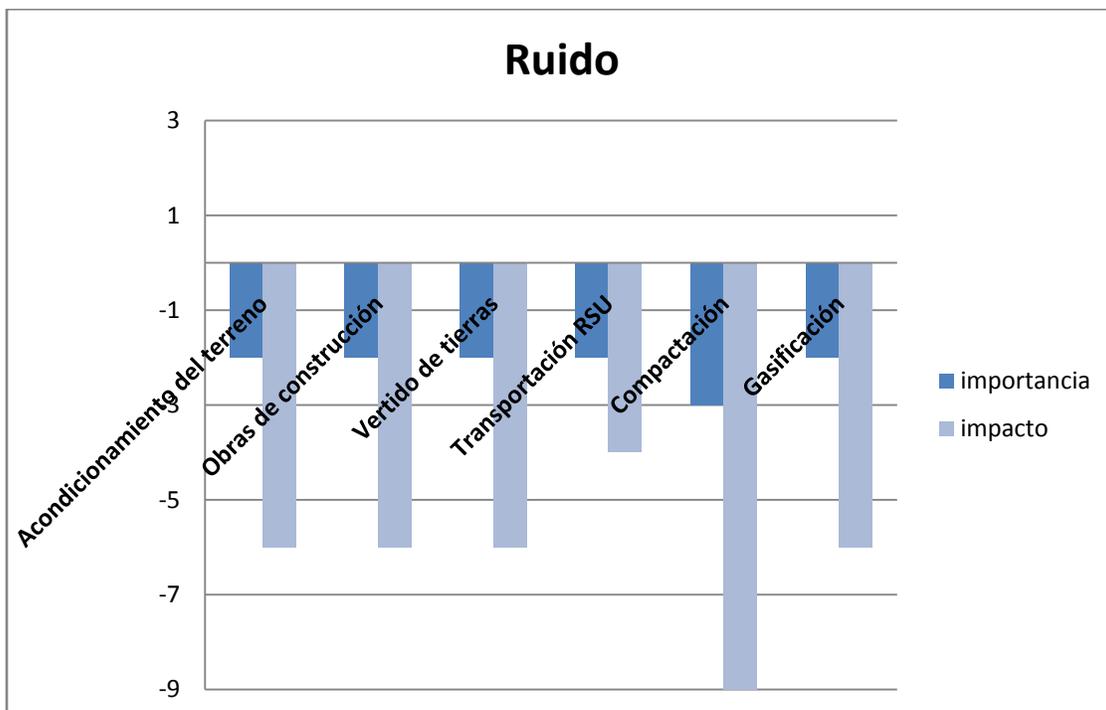


compactación y el ruido no llega a tener una intensidad tan fuerte en comparación con la compactación, por lo cual se les dio una importancia media.

Al transporte de RSU se le da una importancia media y se considera estar debajo de los 65 dB, pero no se considera de gran importancia ya que es algo cotidiano en el relleno sanitario Bordo Poniente. Es importante señalar que cualquier sitio que se utilice para disposición de residuos necesita de maquinaria pesada, lo que impactará al sitio.

Al realizar la procura es necesario tomar en cuenta a todos los trabajadores que estarán expuestos al ruido emitido por la maquinaria pesada, por lo cual es recomendable la revisión periódica de los trabajadores y el uso de tapones, como medidas de seguridad.

Gráfico 2. Representación de los resultados para el ruido



Elaboración: propia



✓ Olores

Como se ha mencionado se trata de un sitio altamente impactado y alterado, al tratarse de RSU, el impacto sobre los olores es muy significativo, pero a pesar de esto no es tan relevante debido al sitio, Bordo Poniente es el sitio de disposición final actual de los RSU del Distrito Federal por lo cual, los olores como factor ambiental ya están gravemente alterados, como se observa en el Tabla 28 su relevancia es media, por lo cual se le ha asignado un valor de dos en cuanto a importancia para los impactos negativos.

En el transporte de residuos se presentan olores fétidos que resultan insoportables para el olfato normal. Mientras que en el almacenamiento de RSU se presentan olores fétidos más intensos que los recién mencionados, debido a la acumulación de basura, lo que provoca una concentración extrema de los olores de los residuos.

Ya se ha indicado con anterioridad la importancia de mantener en buenas condiciones el almacenamiento de los residuos, que sea de corta duración y la menor cantidad posible.

Tabla 12. Magnitud, Impacto e Importancia para los olores

Olores			
Etapa	Magnitud	Importancia	Impacto
Transportación RSU	-2	2	-4
Almacenamiento de RSU	-3	2	-6
Gasificación	2	3	6

Elaboración: propia



✓ Economía

La economía sólo se involucra en cuatro actividades: el acondicionamiento del terreno, las obras de construcción, la homogenización del slag y la generación de energía. Y en todas lo hace con un valor positivo ya que se consideran como nuevos sectores productivos que como generaran fuentes de empleo y ayudarán a una mejora en la calidad de vida de los pepenadores no agremiados de Bordo Poniente.

De la homogenización del slag se obtienen metales y agregados de minerales, lo que constituiría un nuevo sector en materia de recuperación y reciclaje de residuos en México, con lo cual se impulsaría el crecimiento económico del sitio de estudio y su población.

Tabla 13. Magnitud, Impacto e Importancia para la economía

Economía			
Etapa	Magnitud	Importancia	Impacto
Acondicionamiento del terreno	3	3	9
Obras de construcción	3	3	9
Homogenización del slag	2	2	4
Generación Energía	3	3	3

Elaboración: propia



✓ Población humana y actividades

Es el factor más involucrado en el proyecto, debido a que con la implementación del sistema de gasificación en este sitio de disposición final, se podrán crear empleos dignos para los 200 pepenadores que trabajan en el relleno sanitario, lo cual traerá consigo fuentes de empleo con mejores condiciones de trabajo, y se permitirá un buen desarrollo para estas personas que no tienen ninguna relación con el gremio.

Tabla 14. Magnitud, Impacto e Importancia para la población humana y sus actividades

Población humana y actividades			
Etapa	Magnitud	Importancia	Impacto
Acondicionamiento del terreno	2	3	6
Obras de construcción	2	3	6
Vertido de tierras	2	3	6
Transportación RSU	2	2	4
Almacenamiento de RSU	2	2	4
Compactación	1	2	2
Pretratamiento	1	2	2
Gasificación	-2	1	-2
Depuración	2	2	4
Tratamiento de aguas	3	3	9
Generación Energía	3	3	9

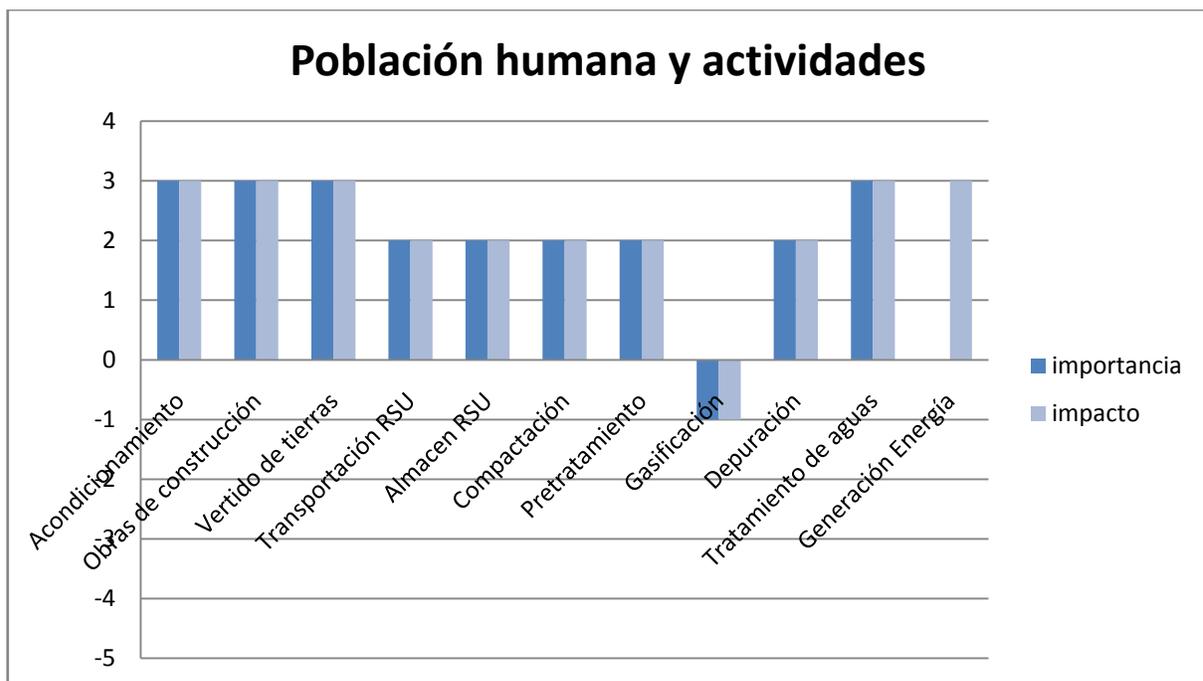
Elaboración: propia

Con todo lo que se ha mencionado se podrán mejorar las condiciones de vida de la población, al establecer nuevas fuentes de empleo en Bordo se permitirá mayor



apertura en la población de tal forma que los líderes dejen de reprimir tanto a los trabajadores. Lo que conllevará a una mejor calidad de vida para los 200 trabajadores de relleno sanitario de tal forma que se les podrán otorgar viviendas más cercanas a Bordo Poniente lo que conllevará a un aumento en la calidad de vida. Todas las actividades involucradas serían una fuente de empleo (Tabla 29) con mejores condiciones para los trabajadores, para que funcione es necesario involucrar a los 200 pepenadores no agremiados, de otra forma serían un obstáculo y sería imposible implementar algo nuevo en dicho sitio. La gasificación, como actividad, fue la única evaluada negativamente debido a que puede llegar a ser una gran fuente de contaminantes, principalmente hacia la atmósfera, si no se opera a las condiciones recomendadas. Pero se puede observar en la Gráfico 7 que se le dio una importancia de uno, ya que se cree que la probabilidad de una mala operación es baja.

Gráfico 3. Representación de los resultados para la población humana y sus actividades



Elaboración: propia



6.2 ***Evaluación del alcance de las emisiones del sistema de gasificación.***

6.2.1 *Alcance*

Con la evaluación de las emisiones del sistema de gasificación se pretende presentar el impacto producido de forma cuantitativa, para poder observar de una forma más directa el impacto. El Software Aloha® se utilizó para llevar a cabo dicha evaluación con lo cual se obtuvo una simulación de comportamiento de los principales contaminantes presentes en la implementación del sistema de gasificación. De los cuales se tienen una aproximación de las posibles emisiones que se generarían, las cuales se mostraron en la Tabla 9 del presente trabajo.

ALOHA® (Area Locations of Hazardous Atmospheres) es un programa diseñado especialmente para la gente que trabaja en la industria química, así como para la planeación o el entrenamiento de alguna emergencia. Modela el peligro de la toxicidad, la flamabilidad, la radiación y la sobrepresión, relacionado a los productos químicos que resultan de la dispersión de gases tóxicos, incendios y explosiones.

Su biblioteca química contiene la información sobre las características físicas de aproximadamente 1,000 productos químicos peligrosos comunes. Se diseñó para reducir al mínimo el error del operador, ya que su aplicación es muy fácil y práctica, debido a que cuenta con un sistema de fácil acceso.

La NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) y la EPA (Environmental Protection Agency) pusieron el software al alcance de cualquiera en la página de la EPA (40). Modela tres situaciones peligrosas:

1. Dispersión de gases tóxicos
2. Incendios
3. Explosiones



En este caso utilizaremos la dispersión de gases, para lo cual se utilizará un modelo de dispersión de aire. El cual se utiliza para la simulación del movimiento y dispersión de nubes de gas.

✓ *Dispersión*

Cuando se vierte una sustancia contaminante al medio ambiente, ésta no permanece en el lugar donde se realiza el vertido sino que se produce su dispersión, pues se da toda una serie de fenómenos físicos, químicos y biológicos que provocan el transporte.

La dispersión es un término utilizado para modelar movimiento y difusión. La dispersión de una nube de vapor generalmente se mueve hacia abajo y se difunde verticalmente (perpendicularmente a la nube) y cruzado. Si se trata de una nube de gas más denso que el aire (gas pesado) adicionalmente se difundirá un poco hacia arriba.

Aloha® utiliza dos modelos de dispersión, el modelo gaussiano y el modelo de los gases pesados.

○ *Modelo Gaussiano*

Indica la dispersión de gases con características similares al aire, gases con una densidad similar al aire. Este modelo considera al viento y a la turbulencia de la atmósfera como fuerzas que mueven las moléculas de los gases a través del aire. Así como una nube saliente es dirigida hacia abajo, la turbulencia del aire produce el movimiento vertical y cruzado de la nube de gas.

Una gráfica de la concentración del gas, según el modelo gaussiano, lucirá como una campana, alta en el centro (donde la concentración es muy alta) y baja en las orillas (donde la concentración es muy baja) como se muestra en el Gráfico 4. En el punto máximo la concentración del gas contaminante se encuentra muy alta, y



el gas no se difunde muy lejos de la dirección vertical y cruzada, así que un gráfico de la concentración en un corte de la dirección cruzada de la nube de gas lucirá como se observa en el Gráfico 5. (40)

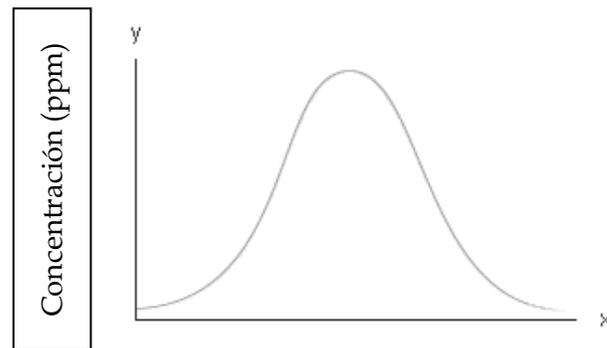


Gráfico 4. Distribución gaussiana

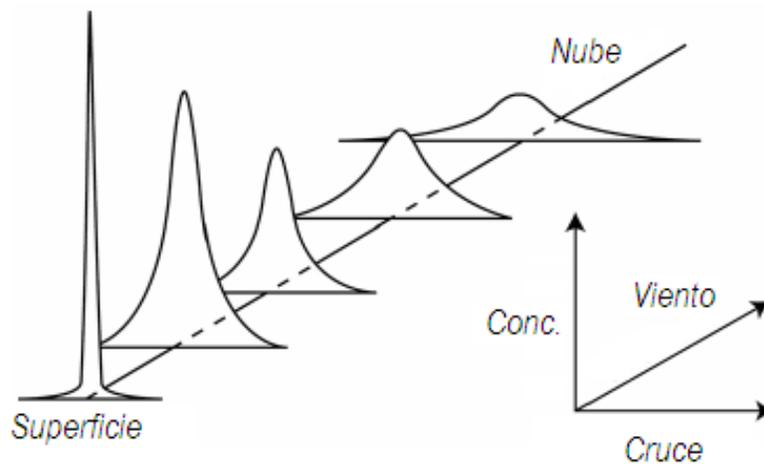


Gráfico 5. Dispersión de un contaminante con el modelo gaussiano

Fuente (40)

- *Gases Pesados*

Cuando se trata de un gas más pesado que el aire, el gas pesado en un principio se sumergirá. Conforme se mueve la nube de gas, la gravedad hace su trabajo lo que hace que un poco del vapor vaya hacia arriba. Conforme la nube se va diluyendo y su densidad se aproxima a la del aire, se va pareciendo más a este,



esto ocurre cuando la concentración del gas pesado cae cerca del 1% (aproximadamente 10,000 ppm). Por alguna razón esto ocurre en los primeros metros de dispersión.

✓ *Datos requeridos para la simulación*

Para llevar a cabo la simulación del alcance son necesarios los siguientes datos:

- Sitio: Bordo Poniente, Netzahualcóyotl, México
- Elevación: 2232 m
- Coordenadas: 19° 26" N; 99° 02" W
- Químico¹: HCl, Hg, SO_x y NO_x; las emisiones utilizadas corresponden a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**
- Velocidad del viento: 6.8 km/h = 1.89 m/s
- Dirección del viento: SE
- Altura medida sobre la tierra: Estimada en 3 m
Referente a la altura con respecto al nivel del suelo se tendrá la emisión.
- Tipo de lugar: Urbano
- Clima: Templado (3)
- Temperatura del aire: 15.8°C

¹ El alcance de las emisiones de dioxinas y furanos no se realizó debido a que ALOHA no los puede simular y a que sus emisiones son mínimas y se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.



- Estabilidad atmosférica : B

La estabilidad atmosférica se refiere a la característica de la atmósfera que impide el movimiento vertical del aire (41). A partir de la Tabla 15 se estableció la estabilidad atmosférica del sitio, como se mencionó con anterioridad se tiene una velocidad del viento de 1.89 m/s y se tiene una entrada de la radiación solar leve.

Tabla 15. Estabilidad atmosférica

Superficie	Día			Noche	
	Entrada de la radiación solar			Arriba de 0.5	Debajo de 0.5
Velocidad del viento (m/s)	Fuerte	Moderado	Leve	Nublado	Nublado
≤ 2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
≥6	C	D	D	D	D

Fuente (40)

- Inversión térmica: el sitio se considera sin inversión térmica

La inversión térmica es la situación en la que aumenta la temperatura al aumentar la altitud. En este caso se inhiben los movimientos verticales y se genera una gran estabilidad atmosférica. Es un fenómeno natural y por si misma no representa ningún riesgo para la salud humana; solamente se vuelve peligrosa cuando, en la capa atmosférica en la que se encuentra inmersa, existen altas concentraciones de contaminantes que debido a la estabilidad atmosférica no pueden dispersarse. Las causas más importantes de este fenómeno son:

1. La radiación. Enfriamiento rápido de la superficie terrestre durante las noches sin nubes



2. La advección. Transporte de aire frío hacia zonas calientes, superficies acuosas
 3. La subsidencia. Descenso de grandes masas de aire normalmente frío, provocado por los sistemas de altas presiones
 4. Los fenómenos frontales(42)
- Humedad: Media (50%)
 - Fuente de emisión: Directo
Todas las emisiones consideradas salen directamente del scrubber, es decir de la limpieza de gases.
 - Diámetro supuesto: 20 “
Suponemos un diámetro aproximado de 20 pulgadas a la salida del scrubber (sistema de limpieza de gases), ya que se está trabajando con un flujo de 8100 m³ por día de materia orgánica que es aproximadamente lo que se convierte en gas de síntesis a través del gasificador, por lo tanto se tiene un flujo de aproximadamente 300 m³ por hora. En las referencias consultadas se encontró que el diámetro de un scrubber puede variar desde dos pulgadas hasta 60 pulgadas aproximadamente.
 - Tipo de suelo: Suelo arenoso húmedo
 - Temperatura del suelo: 15.8°C
 - Temperatura de salida: 70°C, debido a que es la temperatura a la que se debe enfriar el syngas.



6.2.2 Resultados

Generalmente al llevar a cabo la estimación de las emisiones, Aloha® brinda un gráfico de zona de amenaza de riesgo y un gráfico de la fuerza de la fuente, con lo cual se puede observar el impacto que tendrán las emisiones de los principales contaminantes del sistema de gasificación en el sitio “Bordo Poniente”.

En todas las simulaciones realizadas Aloha® no brindó el gráfico de zona de amenaza de riesgo, debido a que no consideró que por ser de un rango muy pequeño el programa no es tan confiable. Pero se obtuvo un gráfico de la fuerza de la fuente en gr/min.

En todos los casos las emisiones fueron menores a los diez metros, lo cual ALOHA® lo justifica haciendo referencia a los ERPG's (Emergency Response Planning Guidelines Committee), los cuales son guías para la respuestas a emergencias, realizados por la AIHA (American Industrial Hygiene Association)(43).

Tabla 16. Niveles ERPG

Nivel de ERPG	Descripción
ERPG-3	La máxima concentración en aire por debajo del cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar efectos de salud o en desarrollo poniendo en peligro la vida.
ERPG-2	La máxima concentración en aire por debajo del cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar o desarrollar otras graves de salud o efectos irreversibles o síntomas que puedan afectar a la capacidad de un individuo a tomar medidas de protección.
ERPG-1	La máxima concentración en aire por debajo del cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar distintos efectos sobre la salud adversos leves transitorios o percibiendo un olor desagradable se define con claridad.

Fuente (44)

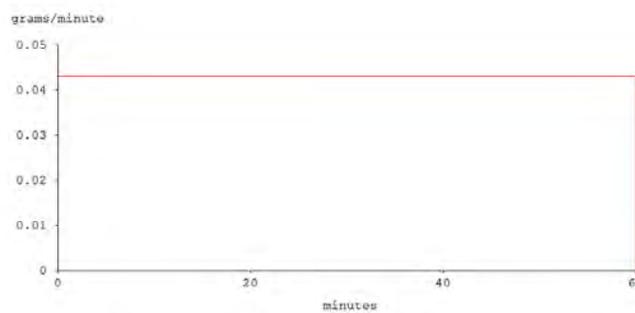
Los ERPG's son altamente utilizados por muchas industrias en la dispersión de gases de análisis para determinar los niveles de exposición de los trabajadores y



del público a los vapores de los productos químicos tóxicos. Según la definición de la American Industrial Hygiene Association (AIHA), los ERPG's proporcionan estimaciones de los rangos de concentración, donde una persona puede razonablemente anticipar la observación de efectos adversos como consecuencia de la exposición al producto químico.(44) Tres valores ERPG se proporcionan para cada una de las sustancias que se han investigado, los cuales se muestran en la Tabla 16.

a) $HCl_{(g)}$

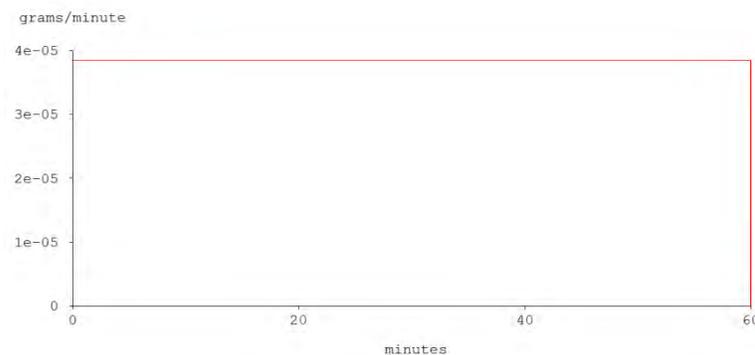
Gráfico 6. Fuerza de la fuente de HCl (g/min)



Fuente: (40)

b) Hg

Gráfico 7. Fuerza de la fuente para el mercurio (g/min)

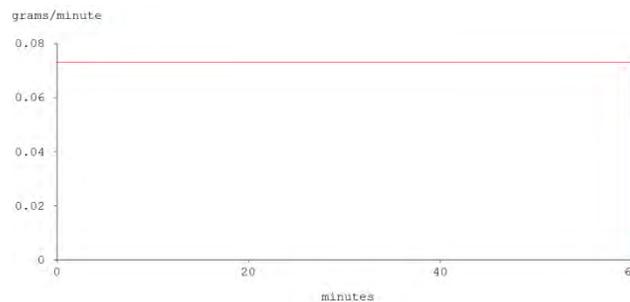


Fuente: (40)

c) SO_x



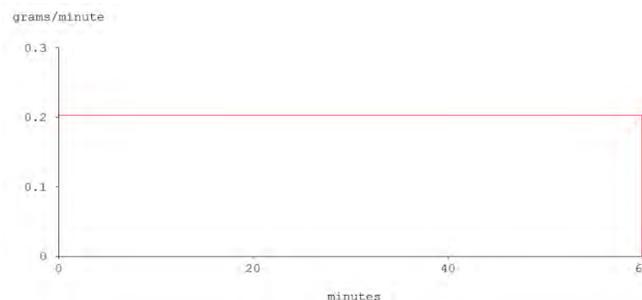
Gráfico 8. Fuerza de la fuente para SOx (g/min)



Fuente: (40)

d) *NOx*

Gráfico 9. Fuerza de la fuente para NOx (g/min)



Fuente: (40)

e) *Dioxinas*

En este caso no fue posible estimar el alcance, por lo cual se presentan a continuación algunas de las propiedades físicas de las dioxinas. En la Figura 23 se muestra la estructura general de las dioxinas y a continuación se muestran sus principales características:

- Aspecto: Cristales, semejantes a agujas, de incoloro a blanco, inodoros.
- Masa molecular relativa: 321.96 g
- Densidad: 1.8 g/cm³
- Punto de ebullición: 900°C
- Punto de fusión: 305-306°C
- Presión de vapor: despreciable a 25°C
- Solubilidad: nada soluble en agua (45)

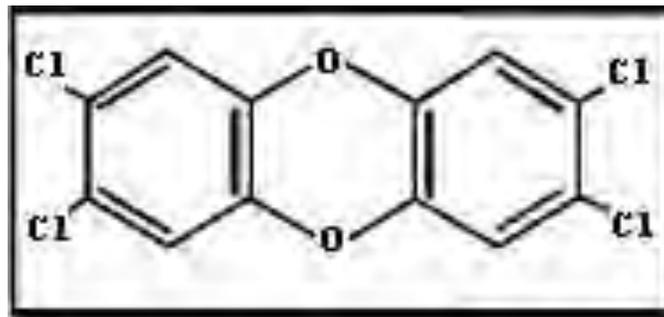


Figura 1. Estructura general de una dioxina

A partir de los resultados obtenidos de la simulación realizada con Aloha® se puede determinar que el alcance que tendrían las emisiones no es de gran relevancia, debido a que en todos los casos Aloha® determino que las emisiones no serían mayores a 10 metros y proporciono un gráfico del flujo constante que se tendría. Como se trata de un alcance de muy poca proporción Aloha® nos indica que dibujo el alcance debido a que los efectos cercanos hacen que la dispersión poco confiable. También Aloha® coloca a todas las simulaciones en el nivel ERPG-1 lo que indica que se encuentra dentro de la máxima concentración en aire por debajo del cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar distintos efectos sobre la salud adversos leves transitorios o percibiendo un olor desagradable se define con claridad.

Solo en el caso de la simulación realizada para el HCl, Aloha® indico un probable cambio de estado, debido al cambio de temperaturas, de tal forma que el HCl en estado gaseoso que sale del gasificador (en el gasificador se opera por encima de los 800°C) al pasar al scrubber (en la limpieza de gases, los gases se enfrían a 70°C) cambia a estado líquido debido al cambio drástico de temperaturas y a que durante este cambio de temperaturas pasamos por el punto de ebullición del HCl, el cual es aproximadamente de 108°C. Podría colocarse un sistema para la recuperación de dicho ácido de tal forma que se pudiera aprovechar en otra aplicación.



Los resultados arrojados por Aloha® muestran que el alcance de las emisiones estimadas para el sistema de gasificación no tienen un gran alcance y no representan un gran daño. El alcance de las emisiones para todos los contaminantes simulados no rebasa los 10 metros por lo cual se concluye que el alcance de las emisiones no representa un impacto significativo.

Para el caso de las dioxinas y furanos no fue posible realizar su simulación en Aloha®, ya que como se ha mencionado sus puntos de ebullición se encuentran por encima de los rangos que maneja Aloha®, pero es importante señalar que la emisión estimada para ambos contaminantes fue la menor y su concentración se encuentra dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la EPA.



6.3 ***Propuestas de alternativas de mitigación del sistema de gasificación***

Con base en los posibles impactos ambientales generados a partir de la implementación del sistema de gasificación, en el presente apartado se dan a conocer las medidas y acciones, para la prevención y mitigación de dichos impactos y las propuestas para reducir los efectos negativos considerados.

- En la comparación de tecnologías se encontró que todas las tecnologías evaluadas cumplen con las normas establecidas por la EPA, en todos los ámbitos. Por lo cual para implementar un sistema de gasificación que no cause un impacto ambiental grave al sitio es necesario cumplir con todas las etapas presentadas, de tal forma que se trabaje con las mejores condiciones posibles.
- El sistema de tratamiento de aguas debe cumplir con lo establecido, para que también evite diluciones dañinas al ambiente, ya que los metales pesados representan un gran daño para el ambiente, y durante el proceso se generan efluentes con grandes concentraciones de metales pesados.
- Se recomienda mantener el proceso en buen funcionamiento, provocando que en el sistema de limpieza de gases se controlen las emisiones al ambiente y se evite un impacto sobre el aire, de lo contrario existirán emisiones con altas concentraciones de contaminantes principalmente, las dioxinas y furanos, que son de los contaminantes más dañinos para el ser humano.
- También se recomienda colocar un sistema para recuperar el ácido clorhídrico que sale del scrubber, de tal forma que se pueda reutilizar en alguna otra aplicación.



- Con la implementación del sistema de gasificación se presenta un nuevo sistema para el manejo de los residuos sólidos urbanos en el Distrito Federal el cual se muestra en la Figura 24.

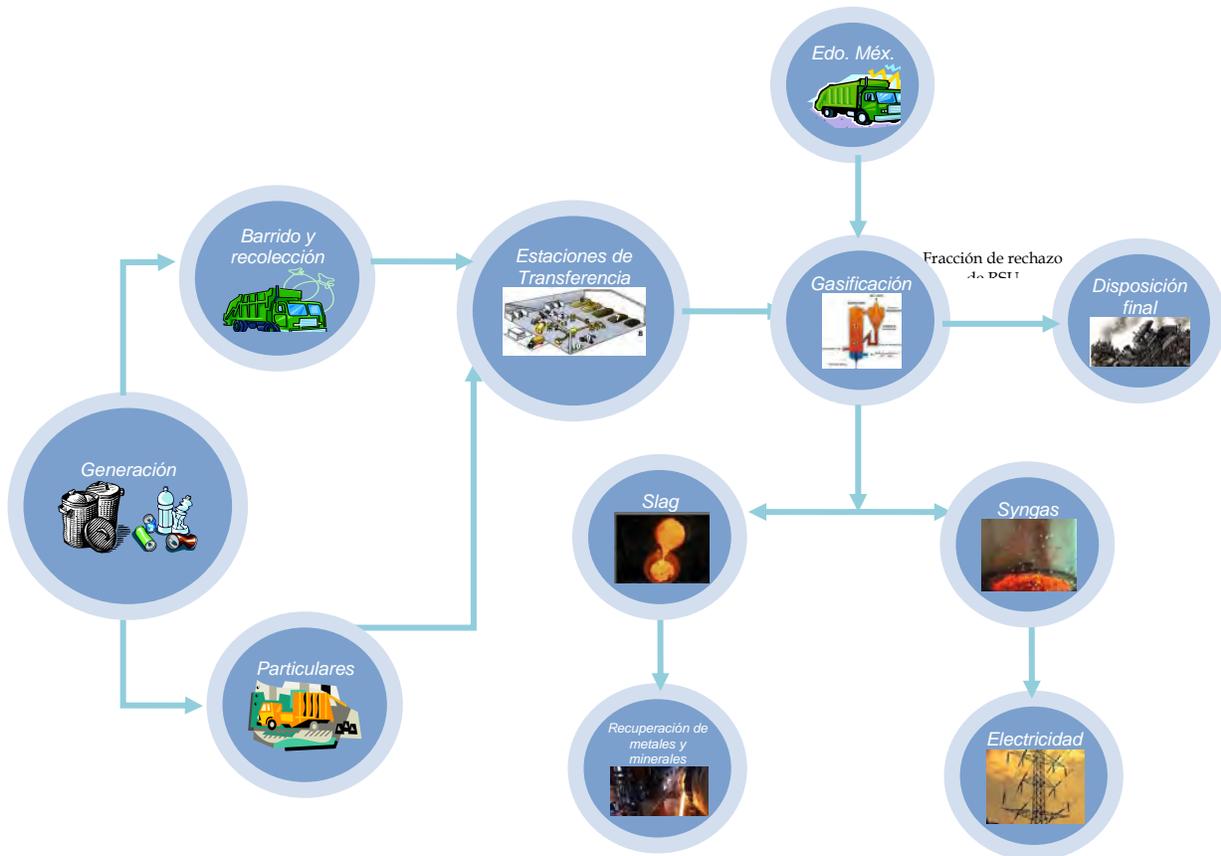


Figura 2. Nuevo esquema de manejo de RSU para el Distrito Federal.

- El sistema de almacenamiento es de vital importancia. Los residuos deben permanecer el menor tiempo posible almacenados y evitar que tengan contacto directo con la luz del sol. De otra forma se concentraran los olores de los residuos, y se generara fauna nociva.



- Se recomienda colocar una capa de algún material impermeable debajo de los residuos durante su almacenamiento, evitando de esta forma la filtración de lixiviados al suelo y los cuerpos de agua.
- También se recomienda la implementación de áreas verdes para mejorar el paisaje y fomentar tanto flora como fauna no nociva para el sitio y la población.
- Los residuos se deben almacenar en un lugar techado que evite el contacto directo con el sol, de tal forma que se conserven relativamente frescos y se evite la concentración de olores, principalmente en época de calor.
- Se deben tomar las medidas necesarias para que los trabajadores cuenten con lo necesario para poder trabajar en condiciones normales, y no en las condiciones en las que se opera Bordo Poniente en la actualidad:
 - Uso de tapones para los oídos principalmente para los trabajadores que laboren en la fase de compactación.
 - Uso de equipo para evitar el contacto directo con los residuos: lentes de seguridad, tapabocas, botas de seguridad y guantes.
- Es importante que se involucre en el proyecto a la población de Bordo Poniente, ya que si no se hace será imposible la implementación de cualquier proyecto en dicho sitio.
- Bordo Poniente es un sitio que se encuentra altamente impactado, por lo cual se recomienda que a largo plazo se vayan implementando mejoras al sitio, principalmente en cuanto a vivienda y exterminación de fauna nociva, para beneficiar a la población.



7 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

A partir del análisis de información bibliográfica, de los datos recabados en el sitio de interés y de la matriz de identificación de impactos, se concluye lo siguiente:

- Debido a la problemática ambiental que presenta Bordo Poniente es urgente la implementación de un nuevo sistema de manejo para los residuos sólidos urbanos del Distrito Federal, la capacidad del relleno sanitario Bordo Poniente ha llegado a su máxima capacidad y ya no es posible que siga operando. Diariamente llegan a Bordo Poniente 12,000 toneladas de RSU, es necesario disminuir la cantidad de RSU dirigidas a disposición final, lo cual se puede lograr con la implementación del sistema de gasificación. Como ya se ha mencionado los RSU del Distrito Federal tienen un alto contenido de carbono lo que favorecerá la producción del gas de síntesis en la gasificación.
- Después de realizar la comparación de los diferentes sistemas de gasificación que operan actualmente en el mundo, se obtuvo una generalización del sistema de gasificación, la cual consta de las siguientes etapas: transportación de RSU, compactación de RSU, un pretratamiento que consiste en una desgasificación, gasificación y fundición, homogenización del slag, enfriamiento del gas, purificación del gas, tratamiento de aguas y generación de energía. Estas actividades son las que se utilizarán para llevar a cabo el EsIA.
- También se llevó a cabo una estimación de la concentración de los principales contaminantes emitidos, esta estimación se hizo en base a la cantidad de residuos orgánicos que se obtienen por día, ya que los contaminantes principales que se obtienen provienen de la formación del syngas, el cual se genera en base a la cantidad de materia orgánica. Se



obtuvieron como principales contaminantes: dioxinas, furanos, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, cloruro de hidrógeno y mercurio.

- Después de hacer una revisión de las principales metodologías para realizar un estudio de impacto ambiental (EslA) se optó por escoger un método de identificación de impactos, la matriz de Leopold modificada por ser el método que más se adecua al tipo de proyecto y también por ser un método muy práctico que puede adaptarse a cualquier tipo de proyecto.
- La revisión de la normatividad presentada permite brindar un panorama de todos los requerimientos necesarios para la implementación del sistema de gasificación. La LGPGIR regulará la contaminación del sitio de estudio, en lo cual el hecho de que el sitio sea Bordo Poniente es beneficioso, debido a que de esta forma ya no se dañara otro sitio del país.
- Resulta necesario que SEMARNAT expida normas mexicanas que regulen la implementación y operación del sistema de gasificación, ya que actualmente no existen normas mexicanas específicas para regular algún tipo de sistema de tratamiento de residuos o de disposición final, a excepción de la NOM-083-SEMARNAT-2005 que es específicamente para la disposición final en rellenos sanitarios.
- La implementación del sistema de gasificación en Bordo Poniente es una opción viable como sitio de disposición de RSU del Distrito Federal, permitirá una mejora en la población del sitio, tanto en condiciones de trabajo como en calidad de vida.
- Si se implementa el sistema de gasificación en Bordo Poniente se evitará afectar algún otro lugar de la ciudad, principalmente reservas ecológicas y cuerpos de agua.



- El sistema de gasificación es muy utilizado en Japón debido a que no requiere de una gran área para colocarlo, lo cual representa una ventaja para la ciudad de México.
- La operación de un sistema de gasificación no representa una gran alteración al ambiente. Las emisiones pueden ser controladas si se mantiene el sistema en buenas condiciones de operación.
- La ventaja del sistema de gasificación, en cuanto a residuos se refiere, es que permite que la mayor parte de los residuos obtenidos se transforme en algo de utilidad. Por lo cual la cantidad de residuos a disposición final es mínima.
- El aire es el factor ambiental que más debe de cuidarse en un sistema de gasificación, representa un medio que puede contaminarse fácilmente sino se tienen las precauciones debidas. Las principales emisiones se obtienen durante la gasificación, por lo cual en el tren de operación le sigue la limpieza de gases, en la cual al descender la temperatura de 800°C a 70°C evita que la reacción que se lleva a cabo durante la gasificación sea reversible, evitando la formación de dioxinas y furanos.
- Es urgente un nuevo esquema de gestión en el que exista la responsabilidad compartida comunidad-autoridad, en donde prevalezcan los principios de la reducción, el reciclaje y la reutilización; en el cual tengan cabida proyectos de valorización energética de los RSU.
- A partir de los resultados obtenidos de la simulación realizada con Aloha® se puede determinar que el alcance que tendrían las emisiones no es de gran relevancia, debido a que en todos los casos Aloha® determino que las emisiones no serían mayores a 10 metros y proporciono un gráfico del flujo



constante que se tendría. Como se trata de un alcance de muy poca proporción Aloha® nos indica que dibujo el alcance debido a que los efectos cercanos hacen que la dispersión poco confiable. También Aloha® coloca a todas las simulaciones en el nivel ERPG-1 lo que indica que se encuentra dentro de la máxima concentración en aire por debajo del cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora sin experimentar distintos efectos sobre la salud adversos leves transitorios o percibiendo un olor desagradable

- Para el caso de las dioxinas y furanos no fue posible realizar la simulación en Aloha®, debido a que sus puntos de ebullición se encuentran por encima de los rangos que maneja Aloha®, pero es importante señalar que la concentración estimada para ambos contaminantes se encuentra dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la EPA.
- Si se cumple con las propuestas de mitigación establecidas los factores ambientales no estarán expuestos y se podrá mejorar la calidad del sitio.
- Es importante señalar que el sistema de gasificación no es un sistema de disposición final de residuos, con su implementación se reducirá en un gran porcentaje la cantidad de residuos sólidos urbanos que se manden a disposición final, por lo cual es importante tomar en cuenta que es necesario contar con un sitio de disposición final, el cual puede ser un relleno sanitario, en el mismo sitio Bordo Poniente o en sus cercanías.
- Con las propuestas de mitigación que se han establecido con anterioridad es posible minimizar el impacto negativo y maximizar el impacto positivo, promoviendo y formalizando con esto las actividades humanas.



-
- La participación e interés del Gobierno del Distrito Federal es de vital importancia para la viabilidad y arranque del proyecto, sin olvidar que la óptima operación también dependerá del Gobierno.

Lo anterior implica que el proyecto puede ser viable, siempre y cuando se realicen actividades correctivas para impactar en la menor medida posible el medio y lograr los beneficios directos que la obra conllevaría, debido a que el impacto detectado no resulta tan perjudicial para el sitio. Al cumplir con las propuestas de mitigación lo mejor que se pueda se obtendrá un menor impacto para el sitio, así como un mayor desempeño en el proceso, y una mejor calidad de vida para las personas involucradas en el proyecto. Por otro lado la ciudad de México se verá favorecida al disminuir drásticamente la cantidad de residuos destinados a disposición final, ya que a fin de cuentas los residuos de disposición final tardan años en desintegrarse y representan un problema a largo plazo.



8 REFERENCIAS

1. Cámara de diputados. [En línea] 2006. www3.diputados.gob.mx/camara/content/download/167639/410736/file/07_06_02.pdf.
2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. [En línea] <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263.pdf>.
3. **Japón, Agencia de Cooperación Internacional del.** *Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos.* s.l. : Kokusai Kogyo CO, LTD, Mayo, 1999.
4. **Rezaian, Cheremisinoff.** *Gasification Technologies, A primer for Engineers and Scientists.* EUA : Taylor & Francis, 2005.
5. *A review and database of current and emerging technologies.* **Williams, R.B.** 2003.
6. **EBARA.** TwinRec Reference List. 2007. [En línea] 2007. [Citado el: 23 de 02 de 2009.] www.ebara.ch/_en_/icfg.php?n=1.
7. TIRU. [En línea] <http://www.tiru.fr/spip.php?article375>.
8. ALCYONE. TIRU. [En línea] 2009. www.tiru.fr.
9. **Columbia University.** The Earth Institute. *Solid waste management alternatives for the city of New York.* [En línea] 2009. www.columbia.edu/cu/mpaenvironment/pages/projects/EDC%20Submission.pdf.
10. *An advanced field proven high temperature recycling process.* **Thermoselect.** 2003.
11. **Osada, Morihiro.** Direct melting system for MSW Recycling. *Shaft furnace type gasification and melting.* [En línea] 2002. www.koetv.or.kr/incs/fileget.jsp?pn=7&fn=NSC+DMS+PAPER.doc.
12. *Renewable energy technologies. How the pyrolytic gasification chamber works.* . **Entech.**
13. ENTECH. *Reference project.* [En línea] Disponible en www.entech-res.com/assets/projects/entech-project-1.pdf.
14. *Development Status of BGL Gasification.* **Kamka, Frank, Jochmann, Andreas y Picard, Lutz.** Freiberg, Alemania : s.n., 2005.
15. BioGen Our Futute is your future. [En línea] 2008. www.biogenpower.com/technology.html.
16. *High-temperature Winkler gasification of municipal solid waste.* **Industries, Sumitomo Heavy.**
17. **Sumitomo/Ku.** Refuse Gasification and Melting Plant. [En línea] [Citado el: 02 de 10 de 2009.] http://www.gcc.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_3/html/Doc_445.htm.
18. **Delgado, Nayeli Cabrera.** OPCIONES DE TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN TÉRMICA PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS GENERADOS EN EL DISTRITO FEDERAL. México : s.n., 2010.
19. *Energy from gasification of solid wastes, Waste managment.* **Belgiorno, V., y otros.** Fisciano, Italia : s.n., 2003.



20. **Association, Bioenergy Producers.** *Evaluation of Emissions from Thermal Conversion Technologies Processing Municipal Solid Waste and Biomass.* Riverside, California : s.n., 2009.
21. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. [En línea] 2010. www.semarnat.gob.mx.
22. **Federal, Gobierno del Distrito.** *Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo.*
23. Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales. [En línea] 2009. www.semarnat.gob.mx.
24. **Abellán, Manuela Andrés.** *La Evaluación del Impacto Ambiental de proyectos y actividades agroforestales.* Cuenca, España : De la universidad de Castilla-La Mancha, 2006.
25. **SEMARNAT.** Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012. [En línea] 2009. [Citado el: 22 de Diciembre de 2009.] <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Publicacion/SEMARNAT%20Residuos%2009.pdf>.
26. —. Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012. *Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de Agosto de 2009.* 2009.
27. —. Acuerdo por el cual se expiden los procedimientos para la emisión de cartas de aprobación de proyectos de reducción o captura de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). *Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 27 de Octubre de 2005.* 2005.
28. Instituto Nacional de Ecología. [En línea] www2.ine.gov.mx/publicaciones/libros/259/regulacion.html.
29. **Berthier, Dr. Hector Castillo.** *Revisión y Análisis del entorno social para promover la sustentabilidad del proyecto en equilibrio con la sociedad dependiente de los residuos sólidos en la etapa de disposición.* México : Instituto de investigaciones sociales, UNAM, Enero, 2010.
30. Google Earth. s.l. : Google e Inegi, 1 de marzo del 2008.
31. **Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal.** Enciclopedia de los municipios de México, Estados de México. [En línea] 2005. www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15058a.htm.
32. ciudadanos en red. [En línea] 2010. www.metropoli.org.mx/node/17405.
33. La Crónica de Hoy. *Bordo Poniente no da para más.* [En línea] 21 de enero de 2009. www.cronica.com.mx/nota.php?id_notas=410170.
34. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). [En línea] 2009. <http://www.inegi.org.mx/inegi/default.aspx>.
35. **Gobierno del Distrito Federal, Secretaria de Obras y Servicios, Dirección General de Servicios Urbanos, Dirección de Transferencia y Disposición Final.** *Anexo 14, Estudio de impacto ambiental del sistema integral de manejo de desechos sólidos.* D.F, México : GDF, 1994.
36. **E., Maya Rendón Catalina y Jiménez Cisneros Blanca.** *Calidad fisicoquímica y microbiológica en efluentes secundarios por el lago artificial Nabor Carrillo, México.* México : Instituto de Ingeniería, UNAM.



37. **Greenpeace.** Greenpeace México. [En línea] 24 de Septiembre de 2009. www.greenpeace.org/mexico/prensa/releases/bordo.
38. **FUNGLODE.** Diccionario Enciclopédico Dominicano de Medio Ambiente. [En línea] 2010. www.dominicanaonline.org.
39. **UNAM, Facultad de Química.** *Análisis de matriz de Leopold*. 2009.
40. **Restoration, NOAA Office of Response and.** ALOHA and GreenBook. [En línea] 2008. <http://response.restoration.noaa.gov/ADA/GreenBook>.
41. Curso de orientación para el control de la contaminación del aire. [En línea] <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/meteoro/glosario.html#e>.
42. Google. *glosario.net*. [En línea] <http://ciencia.glosario.net/ecotropia/inversi%F3nt%E9rmica-9344.html>.
43. **AHIA.** *AIHA ERPG Levels*. [En línea] <http://www.aiha.org/1documents/Committees/ERP-erpglevels.pdf>.
44. Emergency Response Planning Guidelines (ERPG). *knol BETA*. [En línea] <http://knol.google.com/k/ian-sutton/emergency-response-planning-guidelines/2vu500dgllb4m/12#>.
45. Sustain labour. [En línea] www.sustainlabour.org.
46. [En línea] SEMARNAT. http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_2008/conjunto_basico/conjunto/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServleta1de.html?IBIF_ex=metadato&IDINDICADOR=4-3&IBIC_user=dgeia_mia&IBIC_pass=dgeia_mia&INDIC=4-3&TEMA=4&RANDOM=18.14.11.
47. Residuos sólidos. [En línea] <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html>.
48. GreenFacts. [En línea] 2010. <http://www.greenfacts.org/es/dioxinas/toolboxes/equivalentes-toxicos.htm>.
49. Diario el Planeta. [En línea] <http://astrojr.blogspot.com/2008/09/la-casa-de-la-serpiente.html>.
50. **SIAM.** www.siam-cma.org/PUBLICACIONES/doc.asp?id=278. [En línea]
51. **Santo, Ana Lucía Florisbela dos.** Gaceta Ecológica. *De pepenadores y triadores. El sector informal y los residuos sólidos municipales en México y Brasil*. [En línea] Instituto Nacional de Ecología, 2001. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf.539/53906006.pdf>.



9 ANEXOS

9.1 *Relleno Sanitario*

Un relleno sanitario es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos domésticos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población.

El relleno sanitario es uno de los métodos más simples y generalmente menos costosos, utilizado actualmente para la disposición final de los residuos sólidos. Consiste básicamente en el esparcido y en la compactación de los residuos en capas sobre el suelo que posteriormente se recubren con tierra. Se puede colocar una nueva capa de basura, formando así celdas sucesivas de residuos y material de recubrimiento.

La aplicación inmediata del material inerte sobre la basura elimina la proliferación de moscas e insectos, así como la emanación de los malos olores, evitando incendios y gran cantidad de humos. Impide la presencia de animales para alimentarse con los restos de comida, y finalmente, mejora las condiciones estéticas del área.

La Secretaría del Medio Ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) define al relleno sanitario como una obra de infraestructura que involucre métodos y obras de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, con el fin de controlar, a través de la compactación e infraestructura adicionales, los impactos ambientales.(46)

La obra de ingeniería consiste en preparar un terreno, colocar los residuos extenderlos en capas delgadas, compactarlos para reducir su volumen y cubrirlos al final de cada día de trabajo con una capa de tierra de espesor adecuado.



Un relleno sanitario planificado y ambiental de la basura doméstica ofrece, una vez terminada su vida útil, excelentes perspectivas de una nueva puesta en valor del sitio gracias a su eventual utilización en usos distintos al relleno sanitario; como ser actividades silvoagropecuarias en el largo plazo.

✓ *Requerimientos generales de los rellenos sanitarios*

- El sitio debe tener espacio necesario para almacenar los residuos generados por el área en el plazo definido por el diseño.
- El sitio es diseñado, localizado y propuesto para ser operado de forma que la salud, las condiciones ambientales y el bienestar sea garantizado.
- El sitio es localizado de manera de minimizar la incompatibilidad con las características de los alrededores y de minimizar el efecto en los avalúos de estos terrenos.
- El plan de operación del sitio se diseña para minimizar el riesgo de fuego, derrames y otros accidentes operacionales en los alrededores.
- El diseño del plan de acceso al sitio se debe hacer de forma de minimizar el impacto en los flujos.

✓ *Tipos de rellenos*

El parámetro básico de diseño de un relleno es el volumen. Este depende del área cubierta, la profundidad a la cual los residuos son depositados, y el radio de material de cobertura y residuo. Debido a que la tasa de generación de residuos es usualmente definida en unidades másicas un parámetro adicional que influencia la capacidad del relleno es la densidad in situ de la basura y el material de cobertura.



Generalmente todo diseño de relleno incluye algunas obras comunes. Zonas buffer y pantallas perimetrales son necesarias para aislar el relleno de los vecinos y el sitio. Son necesarios cercos perimetrales para evitar el acceso no autorizado al sitio, se requiere un cuidadoso mantenimiento del frente de trabajo. Durante tiempos inclementes podría ser necesario contar con tractores para asistir a los camiones. El barro y suciedad que se adhieren al camión por su operación en el sitio debe ser retirado del mismo antes que abandone el recinto del relleno.

- *Método de trinchera o zanja*

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos a tres metros de profundidad, con el apoyo de una retroexcavadora o tractor oruga. Incluso existen experiencias de excavación de trincheras de hasta 7 metros de profundidad para relleno sanitario. La tierra se extrae se coloca a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura. Los desechos sólidos se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con tierra.

La excavación de zanjas exige condiciones favorables tanto en lo que respecta a la profundidad del nivel freático como al tipo de suelo. Los terrenos con nivel freático alto o muy próximo a la superficie no son apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos tampoco lo son debido a las dificultades de excavación.

- *Método de área*

En áreas relativamente planas, donde no sea posible excavar fosas o trincheras para enterrar las basuras, estas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, elevando el nivel algunos metros. En estos casos, el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. En ambas condiciones, las primeras celdas se construyen



estableciendo una pendiente suave para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el terreno.

Se adapta también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava en las laderas del terreno, o en su defecto se debe procurar lo más cerca posible para evitar el encarecimiento de los costos de transporte. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba (47).

✓ *Criterios ambientales en rellenos sanitarios*

Los problemas sanitarios causados por la disposición de los residuos sólidos en el suelo se deben a la reacción de las basuras con el agua y a la producción de gases, riesgo de incendios y explosiones.

Los residuos sólidos están compuestos físicamente por un 40 a 50% de agua, vegetales, animales, plásticos, desechos combustibles, vidrios, etc. Químicamente están compuestos por sustancias orgánicas, compuestos minerales y residuos sólidos peligrosos.

Las sustancias líquidas, y los sólidos disueltos y suspendidos tienden a percolar por la masa de residuos sólidos y posteriormente en el suelo. A partir de determinada profundidad se encuentra el nivel freático donde el agua se mueve a baja velocidad de alta a baja presión horizontalmente y en dirección vertical por efecto de la gravedad, por ascensión capilar entre los granos del suelo.

Las sustancias contaminantes del lixiviado al percolar a través del suelo, adquieren gran agilidad al llegar al nivel freático y puede contaminar el agua de los manantiales, las subterráneas por las fisuras y otras fallas de las rocas y suelos impermeables, a la vez de causar un efecto negativo en la calidad del suelo.



Todo lo anterior lleva a tener en cuenta el microclima dentro del cual tenemos la lluvia que influye en los fenómenos biológicos y químicos, con el transporte de contaminantes, problemas en vías de acceso y del trabajo en si del relleno sanitario, por lo tanto el relleno debe ser drenado superficialmente por la periferia y el fondo del relleno. El viento también causa molestias, llevando los olores y el polvo a las vecindades.

✓ *Etapas para la implementación del relleno sanitario:*

En la Figura 1 se muestran las etapas necesarias para la implementación del relleno sanitario, seguido de una breve descripción de las actividades que conforman cada etapa. Estas actividades son las generalmente necesarias para llevar a cabo una evaluación del impacto, es decir realizar la matriz de Leopold reducida.

Figura 1. Etapas para la implementación del relleno sanitario





- **Habilitación**
 - Construcción de vías de acceso:
 - Vía externa
 - Vía interna
 - Acondicionamiento del área:
 - Limpieza, nivelación del terreno, remoción de la cubierta vegetal y almacenamiento de productos extraídos, entre Otras.
 - Construcción de módulos Administrativos y de Servicios
 - Oficinas, cocina, comedor y servicios higiénicos
 - Otras instalaciones:
 - Construcción de tanque elevado para el abastecimiento de agua, construcción de tanque séptico, caseta de control e instalación de balanza.
 - Cercado del área:
 - Instalación de cercos de madera con alambre de púas en el perímetro del área del relleno.

- **Operación**
 - Transporte de los RS:
 - Desde la fuente o las Plantas de Transferencia.
 - Descarga de los RS:
 - En los frentes de trabajo de la plataforma
 - Esparcido y Compactación de los RS:
 - Con el uso de tractor sobre orugas.
 - Cobertura diaria de los RS:
 - Cobertura final de los RS:
 - Extracción y transporte de material de cobertura.
 - Evacuación de gases:



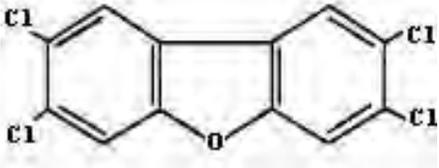
-
- Construcción de chimeneas de madera y malla de gallinero.
 - Evacuación de lixiviados:
 - Construcción de zanjas de drenaje.
 - Evacuación de aguas pluviales:
 - Construcción de zanjas perimetrales
 - Tratamiento de gases:
 - Tratamiento de lixiviados:
 - Se procederá a la recirculación de los lixiviados.
- Postclausura
- Mantenimiento:
 - Control de evacuación de gases.
 - Control de evacuación de lixiviados
 - Control de la superficie del relleno



9.2 Glosario

Acuífero	Formaciones geológicas en que se acumula el agua subterránea y que son capaces de cederla.
Acuitardo	Formaciones geológicas semipermeables
Aluvión	Conjunto de materiales y sedimentos terrestres arrastrados por esta corriente de agua y depositados en tierras emergidas.
Andesita	Roca volcánica compuesta de cristales de andesina (mineral del grupo de los silicatos, correspondiente a la serie de las plagioclasas, principalmente encontrada en la roca volcánica andesita, en la cordillera de los Andes.)
Arcilla criptocristalina	Arcilla que no presenta cristales en la matriz
Arcillas de tipo ilítico	Arcilla característica de ambientes marinos
Arcillas del tipo montmorilonítico	Arcilla producida por la erosión
Bifenilos policlorados (PCB)	Residuos tóxicos y peligrosos, que son utilizados sobre todo en mezcla líquida con triclorobenceno en el aislamiento eléctrico y la refrigeración de determinados tipos de transformadores eléctricos.
Calcáreo	Tipo de suelo que contiene elevadas cantidades de calcio. Estos suelos son de color blanquecino o marrón claro y se les debe colocar tierra mejorada y materia orgánica.
Conos cinerítico	Es una montaña con laderas muy inclinadas, que se forma debido a la acumulación de partículas y lava mezclada con gases. Es el volcán más simple de todos. En general son monogenéticos. Alcanzan alturas entre 30 y 450 m. Sus magmas son de baja viscosidad.
Desgasificación	Proceso de eliminación de gases disuelto en agua, usando aspiración o calor.



Dioxinas	Policlorodibenzodioxinas, son una familia de sustancias químicas que tienen el dudoso honor de ser reconocidas como los productos químicos más tóxicos que el hombre ha sido capaz de sintetizar. El término se aplica indistintamente a las policlorodibenzofuranos (PCDF) y las policlorodibenzodioxinas (PCDD).
Explanaciones	Construir terraplenes (tierra con la que se rellena un terreno), o hacer desmontes hasta dar al terreno la nivelación o el declive que se desea.
Furanos	Paradiclorobenzofuranos (PCDF), son un grupo de 135 compuestos con de 1 a 8 átomos de cloro unidos a los átomos de carbono de la estructura básica (el dibenzofurano). 
Gleyco	Suelo que se caracteriza por mostrar un gradiente en la distribución del Fe y Mn entre el agua freática y la franja de capilaridad.
Hidrogasificación	Reacción de sustratos celulósicos con hidrógeno, obteniéndose una mezcla de metano y etano.
Humus	Componente orgánico del suelo que se encuentra en las capas superiores de los suelos y constituye el producto final de la descomposición de los restos de plantas y animales, junto con algunos minerales; confiere un alto grado de fertilidad a los suelos.
Lacustre	Rodeado o relacionado a los lagos
Limos	Fracción de suelo cuyo tamaño oscila entre 0,02 mm y 0,002 mm, es decir entre la arena fina y la arcilla. Es un sedimento clástico incoherente transportado en suspensión por los ríos y por el viento, que se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados.



Lutitas	Roca sedimentaria detrítica, es decir, formada por detritos, que está integrada por partículas del tamaño de la arcilla y del limo. En las lutitas negras el color se debe a la presencia de materia orgánica y, si la cantidad de ésta es muy elevada, se habla de "lutitas bituminosas". Es conocida por ser la roca madre o almacén por excelencia, dadas sus condiciones de porosidad y permeabilidad.
Margas	Tipo de roca sedimentaria compuesta principalmente de caliza y arcilla, con predominio, por lo general, de la caliza, lo que le confiere un color blanquecino con tonos que pueden variar bastante de acuerdo con las distintas proporciones y composiciones de los minerales principales. Predominan en las formaciones montañosas del Mesozoico.
Nivel freático	Capa del subsuelo que contiene las aguas subterráneas que existen en el planeta, son venas o corrientes de aguas dulces, y no en todos los casos se encuentra en la misma profundidad es variable, dependiendo de las fuentes de agua terrestre, y del nivel del mar.
Ordenamiento ecológico	Proceso de planeación cuyo objetivo es encontrar un patrón de ocupación del territorio que maximice el consenso y minimice el conflicto entre los diferentes sectores sociales y las autoridades en una región. A través del cual se generan, instrumentan, evalúan y, en su caso, modifican las políticas ambientales con las que se busca lograr un mejor balance entre las actividades productivas y la protección al ambiente.
Peletización	Proceso que consiste en la aglomeración del mineral finamente molido o un concentrado por la adición de aglomerantes como el caso de la bentonita y determinada cantidad de agua para darle forma de partículas esféricas (Pellas verdes) las cuales son endurecidas por cocción en hornos rotatorios.
Pirólisis	Destilación destructiva de la materia orgánica en ausencia de aire u oxígeno. Las reacciones de descomposición se producen al calentar el material de baja humedad en ausencia de oxígeno, dando lugar a la formación de tres tipos de combustibles: alquitrán de madera, gases combustibles y carbón.



Piroclastos	Los materiales rocosos fragmentados emitidos por una erupción, lanzados en forma sólida o líquida.
Promontorio	Elevación rocosa de altura considerable que avanza hacia el mar.
Solonchak	Suelo salino con una elevada acumulación de sales solubles de calcio, sodio, magnesio y potasio
Toba	Piedra caliza, muy porosa y ligera, formada por la cal que llevan en disolución las aguas de ciertos manantiales y que van depositándola en el suelo o sobre las plantas u otras cosas que encuentran a su paso.
Unidad edáfica	Referente al suelo
Vaso regulador	Depósito de compensación, depósito auxiliar de agua que permite mantener constante el nivel del agua del vaso. El vaso es un estanque artificial.