



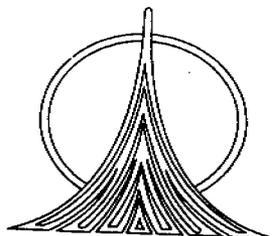
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

"EVALUACION DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO A LA PRESENCIA DE METANO Y ACIDO SULFHIDRICO EN SITIOS DE DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
**ESPECIALISTA DE SALUD EN EL TRABAJO
Y SU IMPACTO AMBIENTAL
P R E S E N T A ;
MANUEL SANCHEZ RUIZ**

DIRECTOR DE TESIS: BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJIA



MEXICO, D.F.

DE ESTUDIOS
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

OCTUBRE 2005



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.

CONTENIDO

Introducción	1
PARTE I INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL	
1. Antecedentes	1
2. Disposición final de residuos sólidos	2
3. Identificación del riesgo	5
4. Métodos para identificación de riesgos	7
4.1 Lista de seguridad	7
4.2 Lista de verificación (Check-list)	7
4.3 Análisis "qué pasa si" "what if"	8
4.4 Análisis de riesgo y operación (HAZOP)	8
5. Eventos ocurridos por sustancias peligrosas	9
6. Categorías de riesgo	11
7. Clasificación de sustancias químicas peligrosas	12
7.1 Productos tóxicos	12
7.2 Productos químicos inflamables, explosivos y reactivos	13
7.3 Cantidades, localización y propiedades físicas de los productos	14
8. Generación de biogás en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales	20
8.1 Producción de biogás en rellenos sanitarios	22
8.2 Parámetros que influyen en la formación del metano	25
9. Generación de ácido sulfhídrico en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales	26
9.1 Números de identificación	28
9.2 Propiedades físicas y termodinámicas	29

9.3 Propiedades químicas	29
9.4 Niveles de toxicidad	30
9.5 Riesgos a la salud provocados por ácido sulfhídrico	30
10. Riesgos a la salud	31
10.1 Riesgos a la salud generados por la exposición a sustancias peligrosas liberadas en los sitios de disposición final	31
10.2 Transporte de sustancias peligrosas de los sitios de disposición final a través de diferentes rutas y medios ambientales	34
11. Marco jurídico de los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales	37
11.1 Protocolo de Kyoto	37
11.2 Instrumentos jurídicos nacionales	39
11.3 Análisis	39
11.4 Marco jurídico de los estudios de riesgo ambiental	46
11.5 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	47
11.6 Distribución de competencias y marco jurídico	48
11.7 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	53
11.8 Listado de actividades altamente riesgosas	54
11.9 Ley General de Salud	55

PARTE II TRABAJO DE CAMPO

1. Justificación	56
2. Objetivos	59
2.1 Objetivo general	59
2.2 Objetivos particulares	59
3. Metodología	60
4. Resultados y discusión	64
5. Conclusiones	91
6. Bibliografía	94

Cuadros

Cuadro 1. Cantidad de residuos generados por habitante al día durante el año	1
Cuadro 2. Generación total de desechos en el Distrito Federal	2
Cuadro 3. Inventario de emisiones de dioxinas y furanos en México, año 2000	4
Cuadro 4. Identificaciones de riesgos a la salud y al ambiente	5
Cuadro 5. Accidentes ocurridos por la liberación, escape, explosión o incendio relacionado con alguna sustancia peligrosa	9
Cuadro 6. Sustancias involucradas en el mayor número de accidentes en México	10
Cuadro 7. Clasificación de las sustancias químicas peligrosas y aspectos importantes a considerar	14
Cuadro 8. Causa de los riesgos en la generación de gases tóxicos en sitios De disposición final de residuos sólidos	16
Cuadro 9. Causas de los riesgos relacionados con la generación de gases Tóxicos en sitios de disposición final	17
Cuadro 10. Componentes típicos encontrados en el biogás	21
Cuadro 11. Evolución de la composición de los gases producidos en Rellenos sanitarios a partir de su clausura	23
Cuadro 12. Atribuciones de las Secretarías para la gestión y regulación de Materiales riesgosos, de acuerdo con la Ley Orgánica de la Administración Pública General	49
Cuadro 13. Competencias de la SEMARNAT (Art 5º LGEEPA y 32 bis LPAPF)	49
Cuadro 14. Competencias del INE y la PROFEPA	50
Cuadro 15. Atribuciones de la ST, relativas con las actividades riesgosas	50
Cuadro 16. Competencias de la Dirección General de Seguridad e Higiene en el trabajo y de la Dirección General de Inspección Federal del Trabajo de la ST, relativas a las actividades riesgosas	51
Cuadro 17. Instituciones que intervienen en la regulación del riesgo ambiental en el D.F.	52
Cuadro 18. Parámetros para evaluar el riesgo ambiental en un sitio de Disposición final de residuos sólidos municipales	60
Cuadro 19. Resultados de la evaluación del riesgo ambiental en un sitio De disposición final de residuos sólidos municipales	64

Cuadro 20. Efectos del flujo térmico en instalaciones y población expuesta	80
Cuadro 21. Densidad de población y aforo al sitio	81
Cuadro 22. Clasificación, descripción y acciones recomendadas	83
Cuadro 23. Registros de monitoreo de metano en el pozo de venteo 1	84
Cuadro 24. Registros de monitoreo de metano en el pozo de venteo 2	85
Cuadro 25. Registros de monitoreo de metano en el pozo de venteo 3	85

Figuras

Figura 1. Riesgos de biogás	20
Figura 2. Etapas de actividad microbiana, formación relativa de metano en un tiradero	24
Figura 3. Registro de metano del pozo de venteo 1	70
Figura 4. Registro de explosividad del pozo de venteo 1	71
Figura 5. Registro de metano del pozo de venteo 2	71
Figura 6. Registro de explosividad del pozo de venteo 2	72
Figura 7. Registro de metano del pozo de venteo 3	72
Figura 8. Registro de explosividad del pozo de venteo 3	73
Figura 9. Distancia que alcanza una emanación furtiva de ácido sulfhídrico	77
Figura 10. Pantalla inicial para realizar los cálculos del radio De afectación de un incendio generado por biogás	78
Figura 11. Valores de los parámetros para estimar la radiación del incendio	78
Figura 12. Radios de zona mortal	87
Figura 13. Nube tóxica en sitios de disposición final	88

INTRODUCCIÓN

Actualmente todas las sociedades muestran una creciente preocupación hacia la compleja problemática ambiental generada por diferentes factores, como son la seguridad pública, ocupacional, aprovechamiento inadecuado de recursos naturales y por supuesto el factor económico. Esta situación ha favorecido la realización de esfuerzos para enfrentarla, desde la evaluación de los efectos en la salud del trabajador por contaminantes presentes en su lugar de trabajo, hasta los efectos planetarios, como el adelgazamiento de la capa de ozono y el efecto invernadero, pasando por un sinnúmero de efectos locales y regionales.

Un factor importante del deterioro ambiental es la generación de gases invernadero en tiraderos de basura a cielo abierto que, por sus características de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, etc., representan un alto riesgo para la salud humana y el ambiente. Considerando que la industrialización del país y la generación de estos compuestos ha tenido lugar de manera creciente y acelerada en los últimos cincuenta años sin haber realizado los estudios relacionados con los riesgos que representan, no se prepararon cuadros de profesionistas para detectar, prevenir y controlar el riesgo, así como modelos de riesgo que permitan predecir los efectos negativos en diferentes componentes del ecosistema (SEMARNAT-INE, 1997).

Aunque se dispone de información sobre la generación de gases invernadero, la evaluación de las afectaciones y riesgos para la salud y el ambiente es motivo de profunda preocupación y recibe más atención de las organizaciones internacionales.

Hasta hace pocos años se le daba una importancia casi nula a todo lo que se refería a la presencia de gases invernadero, debido a que no se tenía conciencia de la magnitud de sus repercusiones en todos los aspectos (social, económico y ecológico). Ahora bien, al contar con el antecedente de eventos catastróficos, como son fugas de sustancias peligrosas, incendios, lesiones, pérdidas económicas e impactos ambientales adversos, se han firmado

convenios internacionales encaminados a la protección y mejoramiento ambiental, considerando los factores políticos, económicos y tecnológicos.

México ha contraído compromisos ambientales en el ámbito internacional en lo relativo a la generación de gases invernadero en los sitios de disposición final de residuos sólidos. Dentro de los compromisos que México adquirió con la comunidad internacional representada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para generar el inventario nacional de gases de efecto invernadero, se contempló la estimación del metano producido por la basura dispuesta en los rellenos sanitarios, con el propósito de determinar la contribución de las emisiones de metano a la atmósfera en el país.

El metano producido en los rellenos sanitarios contribuye en proporción significativa a las emisiones anuales en el mundo y es 21 veces más efectivo en captar el calor que el bióxido de carbono (CO₂), proceso que da lugar al efecto invernadero (IPCC, 1992).

La basura depositada en tiraderos contiene materiales putrescibles que se descomponen por la acción de bacterias aerobias y anaerobias, produciendo gases tóxicos como el metano, amoníaco y ácido sulfhídrico, principalmente. El agua de lluvia concentra productos hidrosolubles (compuestos orgánicos y metales pesados) resultado de la descomposición química y biológica parcial o total de la basura, generando lixiviados, los cuales tienen movimientos verticales descendentes, provocando infiltraciones hacia el suelo natural, que al saturar su espesor alcanzan el manto freático, debido a sus movimientos horizontales también contaminan los suelos aledaños y se genera una cantidad apreciable de biogás.

Cuando los sitios de disposición final de residuos sólidos son clausurados se resuelven momentáneamente los problemas asociados, estos espacios tienen un tiempo de vida relativamente corto y se convierten en otra problemática de diferente magnitud e intensidad. Las autoridades comúnmente se preguntan ¿ahora que hacer con el predio?, ya que estas zonas contienen diversos tipos de materiales, entre los que se encuentran residuos sólidos municipales y

peligrosos de todo tipo (biológico infecciosos, metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas, etc), estos sitios no son recomendables para actividades recreativas o de construcción. Sin embargo, en la última década a los sitios de disposición final los han convertido en áreas verdes y los ocupan como zonas de esparcimiento.

Los que construyen los rellenos sanitarios argumentan que una vez abandonado y cubriéndolo con una membrana, la ausencia de oxígeno o agua impedirá la posterior degradación de los residuos. Sin embargo, cualquier rotura o desgaste de la membrana de cubrimiento, transformaría a los líquidos lixiviados y gases en un riesgo para las comunidades vecinas.

Al plantear cualquier tipo de proyecto en el que se manejará o producirá una sustancia cuyas propiedades se consideran potencialmente peligrosas para la salud humana y el ambiente; es necesario realizar un estudio de riesgo ambiental, con el cual se pueden predecir los daños potenciales, en el caso de que ocurra una situación fuera de control bajo condiciones anormales.

Lo anterior plantea la necesidad de fortalecer la capacidad nacional de realizar los ajustes, ya sea cambiando o reestructurando los programas y organismos encargados de evaluar, prevenir y controlar riesgos ocasionados por la presencia de gases invernadero formados en tiraderos de residuos sólidos, a través de diferentes alternativas, incluyendo las herramientas de carácter tecnológico, de las cuales también el país es dependiente de las tecnologías importadas y de los servicios de expertos extranjeros para instalarlas y operarlas (SEMARNAT, INE. 1997).

PARTE I

INVESTIGACIÓN DOCUMENTAL

1. Antecedentes

La disposición final de residuos sólidos municipales causa serios problemas de contaminación al agua, aire y suelo, lo que hace necesario tener un conocimiento detallado de la evolución de los tiraderos, su posible saneamiento y, algo muy importante, la evaluación del riesgo ambiental, de acuerdo con las consideraciones que se hagan por la cantidad de metano y otros gases tóxicos generados.

Para 1950 se producían 370 gramos de residuos per cápita, de los cuales fundamentalmente predominaban los biodegradables; para 1980 se generaban alrededor de 800 g por habitante (cuadro 1); la producción diaria por familia fluctuó de 3.750 a 5 Kg por familia.

Cuadro 1. Cantidad de residuos generados por habitante al día durante el año

concepto/año	1950	1960	1970	1980	1990	2005
cantidad generada (gramos/día)	350	450	600	800	1000	1320

(Elaborado a partir de Deffis, C. A. 1989).

No solo se incrementó de manera considerable el volumen, sino también se modificó su composición, los desechos no degradables pasaron de un 5% en la década de los cincuenta a un 40% en 1980. A partir de 1960 se experimentó un incremento caracterizado por actividades económicas concentradas en la producción y comercialización diversificada de bienes de consumo y un excesivo empleo de empaques y envases no degradables.

En 1982, de la generación total de desechos en el DF, 67% correspondía a la vivienda, en segundo lugar la industria y hospitales con 24%, y 9% provenían de vía pública (cuadro 2). Su composición era la siguiente:

Cuadro 2. Generación total de desechos en el Distrito Federal

Material	%	Material	%
material orgánico	49.50	vidrio color	2.61
Papel	15.30	trapo y algodón	4.21
Cartón	4.20	plástico rígido	1.08
Lata	2.80	plástico película	2.71
envases tetrapack	1.18	Fierro	0.34
Cuero	1.02	Polietileno	0.03
papel estaño	0.10	Hueso	1.29
material de construcción	1.28	Fibras	0.30
Madera	0.801	hule espuma	0.03
vidrio blanco	5.64		

(Fuente: Deffis, C. A. 1989).

2. Disposición final de residuos sólidos

La disposición final es la acción con mayores efectos ambientales, aún bajo condiciones controladas, debido a múltiples factores que influyen en la selección o el adecuado funcionamiento de un sitio para que sea eficaz su utilización. Anteriormente no se consideraban factores ambientales como son: relieve, clima, hidrología, geohidrología, condiciones geológicas y mecánicas del terreno, permeabilidad, así mismo, no se utilizaba el recubrimiento impermeable de fondo para evitar la infiltración de lixiviados al subsuelo (MOPU, 1982).

La elevada concentración de residuos, trae consigo los siguientes impactos:

- Lugares con alta potencialidad de flamabilidad (incendios)
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas
- Deterioro del paisaje
- Emisión de partículas y gases
- Malos olores

Su deficiente operación provoca:

- Generación de fauna nociva
- Dispersión de residuos por efecto del viento
- Migración de contaminantes al aire-suelo-agua
- Emisiones descontroladas de biogás

La generación de biogás y de lixiviados son considerados como los agentes contaminantes de mayor impacto que se producen en un sitio de disposición final.

El origen de los residuos depositados en estos sitios, principalmente son de origen doméstico, industrial, de la construcción, oficinas, hospitales, etc, que se depositan sin ningún control y expuestos a condiciones de intemperismo químico y biológico. La basura depositada contiene materiales putrescibles que se descomponen por la acción de bacterias aerobias y anaerobias, produciendo gases tóxicos como el metano, amoníaco y ácido sulfhídrico, entre otros.

Desde que se expresaron las primeras voces de preocupación por un grupo de compuestos químicos orgánicos, denominados genéricamente dioxinas (D) y furanos (F), especialmente a raíz de un evento catastrófico ocurrido en la población italiana de Seveso, estas sustancias han llamado la atención de especialistas y el público en general.

En su mayor parte, las dioxinas y furanos existen como subproductos indeseables de fenómenos fortuitos, como los incendios forestales y las quemas de basura, así como de procesos de fabricación de ciertas sustancias, especialmente plaguicidas y de operaciones de combustión de diversa índole.

El balance global de las D y F muestra que su fuente principal son, por mucho, los incendios, tanto de basura, como forestales, le siguen otras fuentes de combustión industriales, y la producción de compuestos orgánicos que contienen átomos de cloro. Un estudio hecho por el Centro Nacional de

Investigación y Capacitación Ambiental perteneciente al Instituto Nacional de Ecología y la North American Commission for Environmental Cooperation (ver cuadro 3), muestra un balance de la emisión de estos compuestos donde se puede advertir que las quemas de residuos agrícolas y de basura son, los mayores contribuyentes a la emisión de las D y F.

Cuadro 3. Inventario de emisiones de dioxinas y furanos en México, año 2000.

IF	QDA	IRPBI	IRI	QD	ISD	B	L	C	PyP	PVC	HAE	TOTAL
1.85	221.8	5.271	0.84	103.8	115.5	0.091	0.46	7.71	0.774	2.428	0.805	461.367

Fuente: Final report of pilot program for the measurement of environmental D&F in Mexico and selection of six initial sites. North American Commission for Environmental Cooperation, 2003.

Simbología:

IF Incendios Forestales

QDA Quemas de residuos agrícolas

IRPBI Incineración de residuos hospitalarios peligrosos (biológico infecciosos)

QD Quema de basura doméstica

IRI Incineración residuos industriales peligrosos

ISD Incendios de basureros

B Combustión de biogás

L Ladrilleras artesanales

C Plantas de cemento

PyP Plantas de celulosa y papel

HAE Hornos de arco eléctrico

PVC Plantas de PVC

La formación de las D y F en los procesos fortuitos, naturales o tecnológicos, requiere de una serie de ingredientes y condiciones especiales para poder llevarse a cabo (EPA, 1997).

Por tratarse de una molécula orgánica, es necesaria la presencia de sustancias que contengan carbón y que pueden provenir de diversas fuentes, entre ellas los combustibles que se queman de manera ineficiente. Los incendios forestales

o de basura son un ejemplo de combustiones incompletas evidenciadas por la humareda negra rica en hollín, característica de estos incidentes.

Otro de los ingredientes requeridos es el cloro; este elemento se encuentra presente en los compuestos denominados halogenados, tales como el policloruro de vinilo (PVC, plástico que se usa en las tuberías para drenaje doméstico y en algunos envases), solventes como el tetracloruro de carbono, plaguicidas como el clordano, dicloro dodecil tolueno (DDT) y otros aceites de transformador como los askareles o bifenilos policlorados (BPCs), etc.

Analizando lo anterior, es requisito fundamental, además del inventario señalado en el cuadro 3, identificar los riesgos a la salud y al ambiente. El inventario debe incluir lo siguiente:

Cuadro 4. Identificaciones de riesgos a la salud y al ambiente

CARACTERÍSTICAS	MANEJO
<ul style="list-style-type: none">• Peligrosidad• Toxicidad• Comportamiento en el ambiente• Trayectorias hacia el hombre	<ul style="list-style-type: none">• Cantidad• Ubicación• Almacenamiento• Transporte• Fabricación• Usos

3. Identificación del riesgo

Es importante conocer la diferencia entre peligro y riesgo. En este contexto el peligro se define como la propiedad intrínseca o inherente a los materiales y residuos que les confiere la posibilidad de ocasionar efectos adversos a la salud humana y al ambiente. Riesgo se define como la probabilidad de que la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo puedan ocasionar

efectos adversos. Desde esta perspectiva, la administración o manejo ambientalmente adecuado de los residuos está orientada a prevenir o reducir sus riesgos.

La evaluación de riesgo tiene por objetivo determinar la importancia relativa de los diferentes eventos negativos identificados y su probabilidad de ocurrencia. El análisis de riesgo esta basado en las siguientes preguntas ¿Qué puede salir mal?, ¿Qué tan posible es que suceda? y ¿Cuales son las consecuencias?.

Para responder a las preguntas anteriores en el análisis de riesgo se hace uso de la información disponible, generada por el peligro que corre un individuo, sus propiedades o el ambiente. Generalmente los análisis de riesgo siguen los siguientes pasos: identificación y estimación del riesgo.

Identificación del riesgo: Implica reconocer la existencia del riesgo y definir las características del acontecimiento; por ejemplo, el reconocer que pueden ocurrir fugas de sustancias altamente riesgosas para las personas, las propiedades y/o el ambiente.

Estimación del riesgo: Consiste en cuantificar el volumen o la tasa de escape, geometría del escape y condiciones climatológicas que definen la gravedad del acontecimiento peligroso.

La identificación del riesgo es el primer paso para su control. Los métodos de identificación de riesgos, son procedimientos cualitativos que se basan principalmente en las propiedades de las sustancias, sistemas de control o manejo, factores ambientales a los que están sometidas y características de la zona donde se ubican. Dicha revisión se realiza durante las diferentes fases del proyecto.

De manera general, la identificación de riesgos está pensada para procesos industriales. En el caso particular que se evalúa en este trabajo, como se ha mencionado antes, se trata de un tiradero a cielo abierto, que funcionó durante

casi 55 años, al cual se ha intentado dar un manejo para que sea posible usar el área como parque recreativo y deportivo, favoreciendo al mismo tiempo los procesos de degradación de los materiales ahí depositados, los cuales obviamente generan sustancias, como gases de descomposición (biogás) y “jugos de descomposición” (lixiviados), ambos considerados por sus propiedades físicas y químicas como altamente contaminantes para el ambiente y de manera particular como un factor de riesgo para las comunidades expuestas a los mismos.

4. Métodos para identificación de riesgos

Los métodos que se emplean para realizar la identificación de riesgos son los siguientes:

4.1 Lista de seguridad

Es un listado de las condiciones normales de funcionamiento de los sistemas. En nuestro caso, debido a las condiciones particulares del mismo como extiradero, se considera el proceso normal de descomposición, determinado por los factores ambientales como clima, drenaje superficial y subterráneo, temperaturas y efectos de la vegetación.

4.2 Lista de verificación (Check-list)

Es un listado de preguntas acerca del proceso normal de descomposición de los residuos sólidos depositados en la zona y la interacción con las actividades que se desarrollan en la misma. El principal propósito es identificar peligros en cualquier momento del ciclo de vida de un proceso, aumentando la seguridad humana y logrando la optimización del mismo. Lo anterior con la finalidad de identificar desviaciones del proceso normal que nos permitan prevenir un posible evento negativo que pueda generar daños a personas, propiedades o al ambiente.

4.3 Análisis ¿qué pasa sí? ¿what if?

Este método se desarrolla obteniendo información específica de un proceso del que se puede generar una lista de preguntas, llamadas preguntas ¿qué pasa sí?. Se emplea durante etapas específicas del proceso, principalmente en el periodo de mayor actividad, donde se generan datos que facilitan la prevención de eventos negativos al suponer condiciones que se pueden dar en el sistema y que puedan tener consecuencias adversas para el mismo en el caso que se generen. Este análisis sistemático considera las consecuencias de eventos inesperados y anormales que pueden ocurrir en el sistema. El examen debe incluir todos los factores y componentes del sistema. Su comprensión y éxito depende del nivel de experiencia del personal que conduce el análisis, por tanto se realiza por un grupo multidisciplinario de profesionistas en el área.

4.4 Análisis de riesgo y operación (HAZOP)

El análisis HAZOP puede identificar peligros de procesos y problemas de operatividad, debe ser desarrollado por un grupo multidisciplinario de profesionistas en el área, mediante la búsqueda de desviaciones de las condiciones de diseño y operatividad esperadas. El equipo examina cuidadosamente la instalación de proceso, corriente por corriente o componente, por componente utilizando "palabras guías". Establece, de forma sistemática y metódica, consecuencias basándose en los resultados de la aplicación de las palabras guía: No, Más, Menos, Parte de, En lugar de; entre otros.

Como se ha mencionado, debido a que no se trata de un proceso industrial, para el caso en estudio será necesario realizar una serie de adaptaciones de las técnicas de identificación de riesgos e incluso combinarlas con algunos métodos de identificación de impactos para lograr resultados confiables, en los cuales podamos fundamentar la existencia de riesgos como resultado de las acciones y situación actual de sitios de disposición final de residuos sólidos municipales.

5. Eventos ocurridos por sustancias peligrosas

En el ámbito mundial hay múltiples ejemplos de accidentes con alguna sustancia peligrosa, destacando los más recordados por sus graves afectaciones (ver cuadros 5 y 6).

Cuadro 5. Accidentes ocurridos por la liberación, escape, explosión o incendio relacionado con alguna sustancia peligrosa.

LUGAR	EVENTO	CONSECUENCIAS
Flixborough, Reino Unido, 1974.	Explosión de nube de vapor de ciclohexano.	28 muertos y 89 heridos, \$232 000 000 por daños a inmuebles.
Seveso, Italia, 1976.	Escape de dioxinas.	30 personas heridas y 220,000 fueron evacuadas, además se contaminaron los campos aledaños.
Mississauga, Ontario, 1978.	L. P. G., BLEVES	
Ortuella, España, 1980.	Explosión de gas propano.	Provocó 51 muertes y numerosos heridos.
Bhopal, India, 1984.	Fuga de isocianato de metilo.	Más de 2 800 muertos, 200 000 afectados.
Sandoz, Alemania Occidental, 1986.	Incendios en almacenes derrames de pesticidas.	Graves efectos al Río Rin.
Italia, 1987.	Incendio por metano.	Causó la muerte de cuatro personas y varios heridos.
Bulgaria, 1986.	Explosión de cloruro de vinilo.	Provocó la muerte de 17 personas y 19 heridos.
Estados Unidos, 1986. San Juan Ixhuatpec, México, D. F., 1984.	Escape de cloro. L. P. G., BLEVES	Lesiones a 76 personas. Más de 650 muertes y varios miles de heridos, \$20 000 000 en daños a inmuebles.

Fuente: Convenio de cooperación México-Canadá, 1994 y OIT, 1990.

Cuadro 6. Sustancias involucradas en el mayor número de accidentes en México.

SUSTANCIA	NÚMERO DE ACCIDENTES
Metano	13
Gas L. P.	67
Gasolina	49
Amoniaco	31
Combustóleo	28
Cloro y compuestos	22
Diesel	13
Solventes	9
Ácido Sulfúrico	9
Petróleo crudo	8
Hidróxido de Sodio	6

Fuente: SINAPROC-CENAPRED, 1994.

En 1992 una serie de siniestros acaecidos durante 1991 propiciaron la creación del Programa Metropolitano de Gestión de los Residuos Sólidos: "trece incendios provocados por los gases provenientes del depósito incontrolado de los desperdicios y la presencia de numerosos damnificados, entre ellos niños que habitan en la zona aledaña a los tiraderos. Antes de la implementación de este programa, el único mecanismo de disposición final de los desechos sólidos era el tiradero a cielo abierto, con todos los daños que esto supone.

Persisten los depósitos de basura sin control, se habla de cerca de seis mil tiraderos clandestinos en lotes baldíos, áreas de cultivo; de igual modo que el problema de contaminación por lixiviados de aguas y corrientes internas a pocos metros de la superficie de la ciudad. La SEMARNAT ha detectado que en 21 estados del país existen 124 sitios abandonados que están contaminados con residuos peligrosos con volúmenes estimados en 33 millones de toneladas. (-<http://www.semarnat.gob.mx/slp/mexicolimpio/mexicolimpio.shtml>)

6. Categorías de riesgo

Algunos riesgos caen dentro de distintas categorías, por ejemplo, la liberación accidental de un compuesto peligroso puede ser analizada desde diferentes puntos de vista, como es la salud humana o la afectación al ambiente. Las liberaciones pequeñas y limitadas pueden afectar la salud de un solo individuo teniendo un efecto significativo en el ambiente. La mayoría de los análisis de riesgo desarrollados actualmente están encaminados hacia los riesgos de salud y seguridad humana, así mismo el Análisis de Riesgo Ambiental se ha vuelto cada vez más común (Dewolf, 1993).

En este sentido es necesario destacar que los profesionistas que realizan cualquier investigación de situaciones potenciales riesgosas, deben identificar y delimitar perfectamente el tipo de riesgo al que se enfrentan y cual es el objetivo que se persigue al detectarlos. Algunas repercusiones de importancia son las siguientes:

- a) Seguridad/Salud Ocupacional.
- b) Seguridad/Salud Pública.
- c) Daños al Ambiente.
- d) Financiero (Corporativo/Social).

Ahora bien dentro de la información que se requiere para la identificación, evaluación y estimación de los eventos riesgosos, se debe contar con el conocimiento de los siguientes elementos:

- i) Tipo de instalación
 - ii) Tipo de emplazamiento
- i) En los tiraderos municipales a cielo abierto se generan concentraciones importantes de metano y de ácido sulfhídrico, entre otros compuestos. Así mismo, la mayoría de las instalaciones industriales tienen algunos productos químicos peligrosos aún en pequeñas cantidades, de los cuales, arriba de cierta

concentración su riesgo potencial se vuelve de cierta consideración. Por tanto, es necesario que estas instalaciones cuenten con manuales que incluyan:

- a) Descripción de situaciones de emergencia y un plan para actuar de inmediato.
- b) Inventario de productos químicos (hojas de seguridad).
- c) Inventario de gases tóxicos generados (hojas de seguridad)
- d) Propiedades y volumen de manejo y almacenamiento o generación por unidad de tiempo.

7. Clasificación de sustancias químicas peligrosas.

El contar con la clasificación facilita el acceso a la información que permita establecer planes y programas de manejo de sustancias químicas peligrosas durante todo su ciclo de vida, permitiendo reducir la probabilidad de ocurrencia de un accidente; a continuación se presenta una clasificación y los aspectos más importantes a considerar sobre estos productos (ver cuadro 7).

7.1 Productos tóxicos

El peligro causado por los productos químicos tóxicos necesariamente depende de la dosis de la exposición (definida como la concentración de dicha sustancia en el aire contra la duración de la exposición) que experimenta la población afectada. Se han realizado muchas discusiones sobre los niveles de exposición en los términos de niveles de preocupación (Levels of Concern, LOC), los que se definen como la mínima concentración de una sustancia peligrosa en el aire sobre la cual una persona puede experimentar efectos a la salud serios e irreversibles, incluso la muerte, cuando la exposición ha sido por un período de tiempo corto.

No existe una medida precisa de estos niveles para productos químicos peligrosos, por lo que se usan criterios diferentes para medirlos, donde los métodos y expresiones más comunes para fugas accidentales son los siguientes:

7.2 Productos químicos inflamables, explosivos y reactivos

Inflamabilidad. Los materiales inflamables son aquellos con bajos puntos de ignición, que se encienden relativamente a bajas temperaturas. Los tipos de fuego pueden incluir "flamazos" (gases inflamables que son descargados a gran velocidad y forman flamas arriba de 30 metros de largo, provocando una Explosión de Líquidos en Ebullición y Vapor Expandido ("BLEVES") provocadas por la excesiva presión en la parte más débil del contenedor, nubes de fuego de vapor o polvo, fuego en contenedores de líquidos y fuego en sólidos inflamables.

Explosividad. Es la capacidad de un producto de reaccionar lo suficientemente rápido con él mismo o con otros materiales, incluyendo el oxígeno del aire, donde la explosión puede tener como origen una nube de vapor o de polvo. Esto también incluye a los gases inflamables que están en una nube de vapor dentro de sus límites inferiores y superior de explosividad.

Reactividad. Los productos químicos reactivos pueden explotar o reaccionar exotérmicamente entre sí o con otros productos, generando suficiente calor o presión para que resulte una emisión de calor o sobrepresión de un contenedor.

Cuadro 7. Clasificación de las sustancias químicas peligrosas y aspectos importantes a considerar.

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	SIGNIFICADO
STEL	Short Term Exposure Limit (límite de exposición de corto plazo).	Esta es la concentración máxima de un químico a la que un trabajador sano puede estar expuesto por arriba de 15 minutos en un día normal de trabajo de 8 horas de una semana hábil de 40 horas. Están permitidas cuatro exposiciones por día, siempre y cuando los índices PEL (límite de Exposición Personal) y TWA (límite de exposición laboral) no sean excedidos.
PEL	Permissible Exposure Limit (límite permisible de exposición).	Este límite determinado por la Agencia de Administración de la Seguridad Ocupacional y la Salud (OSHA) es la máxima concentración de productos químicos en el aire legalmente permitido al que un trabajador sano puede estar expuesto durante un período de 8 horas (concentración promedio TWA).
IDLH	Immediately Dangerous to Life and Health (Peligro inmediato a la vida y a la salud).	Concentración máxima de la sustancia (en ppm) a la cuál una persona sufre daño irreversible a la salud, si se expone por un período mayor a 30 minutos sin equipo de protección.
LC50	Concentración Letal Media.	La concentración de Productos químicos en el aire, en el cual el 50% de los animales de prueba mueren en un lapso de 8 horas.
DL50	Dosis Letal Media.	La dosis de producto químico aplicada oral o cutáneamente, en la cual el 50% de los animales de prueba mueren en un lapso de 8 horas.
LCLO	Concentración Letal Baja.	La concentración más baja de productos químicos en el aire, en la cual algunos de los animales de prueba mueren en un lapso de 8 horas.

Fuente: Convenio de cooperación México-Canadá, 1994 y OIT, 1990.

7.3 Cantidades, localización y propiedades físicas de los productos

Esta información es importante para graduar el riesgo relativo y especificar el escenario probable. Para determinar las cantidades de las sustancias peligrosas, se debe considerar tanto las cantidades máximas en

almacenamiento y las que se encuentran en cualquier contenedor durante el proceso, incluyendo las tuberías o bien la cantidad máxima de metano y ácido sulfhídrico formados durante la etapa de descomposición de los residuos sólidos municipales. La localización debe incluir todas las áreas de generación o almacenamiento, áreas de proceso y rutas de transporte o tránsito de peatones.

Los acontecimientos más comunes como incendios, explosiones y derrames, pueden dar origen a eventos tales como:

- a) Nubes de gas tóxico.
- b) Incendios: chorros de fuego (jet fire), pozos de fuego, bolas de fuego (fire ball).
- c) Explosiones (BLEVES, explosiones químicas, etc.).
- d) Derrame de líquidos o sólidos (polvos) peligrosos.

A continuación se resumen en los cuadros (8 y 9), algunas de las causas importantes de los riesgos durante la generación de gases tóxicos en sitios de disposición final; cabe mencionar que existen algunos denominadores comunes de causas de riesgo, como los asociados al pobre desempeño ambiental en las empresas o falta de capacitación y formación técnica de los responsables de administrar los tiraderos a cielo abierto, carencia de programas de capacitación de los trabajadores, para la prevención de riesgos y respuesta a emergencias.

De igual forma destacan aquellos factores que se derivan de la falta de programas de protección civil y programas de manejo ambiental. Hay un desconocimiento de la normatividad emitida al respecto. Otras causas de riesgo que están asociadas son la carencia de tecnologías de control de emisiones para descargas de sustancias tóxicas y equipos de monitoreo, entre otros.

Cuadro 8. Causa de los riesgos en la generación de gases tóxicos en sitios de disposición final de residuos sólidos.

Causas	Origen de la falla	Indicadores
Falta de conocimientos y buenas prácticas gerenciales.	Ausencia de infraestructura.	Carencia de monitoreo de emisiones y evaluación de efectos contaminantes.
Carencia de incentivos para promover un comportamiento responsable.	Pobre mantenimiento de la infraestructura cuando en el mejor de los casos existe.	Carencia de monitoreo de exposiciones y vigilancia médica de los trabajadores, pobladores aledaños y usuarios frecuentes.
Deficiente capacitación de los trabajadores.	Inexistencia de equipos de control de emisiones, tratamiento de biogás y lixiviados y combate de incendios.	
Ausencia de programa de comunicación y prevención de riesgos.		Falta de cumplimiento de Normatividad.
Incumplimiento de la Normatividad para la protección de los trabajadores y la prevención de la contaminación ambiental.		
Ignorancia de los impactos sobre las comunidades vecinas.		

Fuente. SEMARNAP, INE, 1997.

Durante la generación de gases tóxicos en los tiraderos son indispensables ciertos procedimientos e instalaciones para prevenir la eventual ocurrencia de un accidente; a continuación se señalan las principales causas de estos eventos.

Cuadro 9. Causas de los riesgos relacionados con la generación de gases tóxicos en sitios de disposición final.

Causa	Origen de la falla	Indicadores
Ignorancia de la peligrosidad de las sustancias y de cómo reducir sus riesgos.	Carencia de equipos y dispositivos de protección en caso de emergencia.	Carencia de monitoreo de emisiones e impactos ambientales.
Falta de capacitación de los trabajadores y usuarios.	Inexistencia de equipos o tecnologías para el control de emisiones, tratamiento de biogás y lixiviados generados y su manejo ambiental adecuado.	Carencia de monitoreo de exposición y vigilancia médica de los trabajadores, pobladores aledaños y usuarios.

Fuente: SEMARNAP-INE, 1997.

En este sentido, debe ponerse especial atención a las migraciones de biogás y lixiviados, hacer el muestreo para la medición *in-situ* de los parámetros necesarios para el registro histórico y la evaluación de las condiciones, tanto del sitio como de los diversos elementos del ambiente que interaccionan con sus emanaciones.

Es conveniente sistematizar la comparación de los resultados obtenidos de las actividades de monitoreo con límites máximos permisibles establecidos para cada uno de los parámetros considerados por la legislación vigente.

Antes de analizar las muestras del monitoreo de los lixiviados y biogás, es importante comprender de manera general los principios de la descomposición de los residuos sólidos municipales en sus reacciones físicas y químicas

Reacción química

Las reacciones importantes que ocurren dentro del tiradero a cielo abierto abarca la disolución y suspensión de materiales y productos de conversión biológica en los líquidos que percolan a través de los residuos sólidos, la evaporación de los compuestos químicos y agua, dentro de la masa envolvente de biogás, la adsorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles

dentro de los materiales del tiradero, la deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos y las reacciones de óxido-reducción que afectan la disolución de metales y sales metálicas. La disolución de los productos de conversión biológica y otros compuestos, particularmente los compuestos orgánicos, dentro de los lixiviados es un factor muy importante, porque estos materiales pueden ser transportados fuera del tiradero con los lixiviados y posteriormente ser incorporados a la atmósfera través del suelo.

Otras importantes reacciones químicas que se presentan, son aquellas que se dan entre ciertos compuestos orgánicos (sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc) y las capas de arcilla, las cuales alteran las propiedades y estructuras de las mismas.

Reacción física

Los cambios físicos más importantes en el tiradero están asociadas con la difusión de gases dentro y fuera del tiradero, el movimiento de lixiviados al subsuelo y los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de los materiales depositados.

Como producto de la descomposición de la materia orgánica se forman gases, como metano (CH_4) y ácido sulfhídrico (H_2S), que contaminan la atmósfera por olores y producen efectos nocivos en el ambiente y la salud. También se forman monóxido y dióxido de carbono (CO , CO_2) de efectos asfixiantes el primero y el segundo como principal causante del efecto de invernadero a las capas superiores de la atmósfera, contribuyendo así al aumento de la temperatura global.

El movimiento de gases y las emisiones a la atmósfera son elementos de particular importancia para el manejo del sistema. La fuga de biogás acarrea trazas de compuestos carcinogénicos y teratogénicos que son incorporados al ambiente, además dado que el biogás contiene un porcentaje considerable de metano, existe el riesgo de explosión o combustión, tanto en el tiradero como en

las inmediaciones. El CO₂ emitido contribuye al cambio climático al absorber las radiaciones infrarrojas reflejadas por el suelo, y no permitirles ascender.

El arrastre de metales pesados por los líquidos percolados provoca la acumulación de estas sustancias en el agua subterránea, pudiendo llegar a inhabilitar cuencas como fuentes de abasto poblacional.

En épocas de lluvia el escurrimiento superficial arrastra o disuelve gran cantidad de compuestos peligrosos, los cuales son lavados hacia suelos o aguas superficiales con la consiguiente afectación a la flora y fauna de estos medios ambientales.

El desplazamiento del biogás es el movimiento de éste dentro de los estratos del tiradero y depende de:

- Espesor de los estratos y edad de los residuos sólidos.
- Composición física de los residuos sólidos depositados.
- Características de permeabilidad del terreno y del material de cubierta.
- Características del suelo.
- Porcentaje de compactación de los residuos y del material de cubierta.
- Características de permeabilidad del suelo adyacente al tiradero.

La evaluación del suelo para detectar la presencia del biogás, en la migración del biogás hacia zonas no controladas y puede detectarse de la siguiente forma:

- Percibiendo su olor característico.
- Revisando fracturas o grietas de la cobertura mediante una explosímetro.
- Observando incendios o desprendimiento de vapores en el tiradero.
- Muestreando el sitio donde se sospeche que hay emigración de biogás.

8. Generación de biogás en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales

La composición del biogás varía entre 25-60% de metano y 40-75% de dióxido de carbono. Adicionalmente el biogás contiene una gran variedad de compuestos orgánicos reactivos, incluyendo benceno, tolueno, xileno, metil-etil-cetona y percloroetileno. Estos compuestos son subproductos de los procesos de digestión de los materiales dispuestos. El principal riesgo del biogás se presenta cuando éste se mezcla con el aire en concentraciones del 5 al 15%, originando explosiones o incendios (ver figura 1).

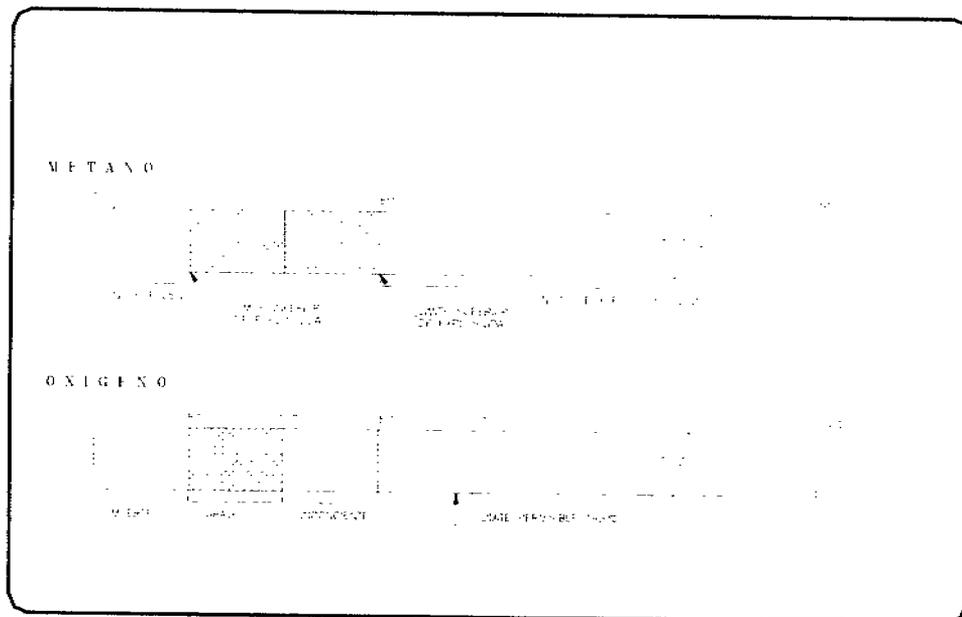


Figura 1. Riesgos del biogás

En este sentido, el monitoreo del biogás sirve para determinar si está presente en concentraciones de riesgo para la salud humana y el ambiente. En el cuadro 10 se presenta una composición tipo de los gases producidos en un tiradero.

El biogás es una mezcla de metano, bióxido de carbono (CO₂), ácido sulfhídrico (H₂S) y agua; es incoloro, inodoro y su combustión produce una llama azul y productos no contaminantes, no es venenoso por naturaleza, arde con flama limpia y suave de color ligeramente azul, no tiene olor ofensivo (si se eliminan ciertos gases), su punto de ebullición es de -161.5 °C, tiene una temperatura crítica de -82 °C, la presión crítica es de 42 atmósferas, el poder calorífico se encuentra entre 4700 –6000 kcal/m³, con una gravedad específica 0.86 (líquido), el número de Wobbe es de 732.

Cuadro 10. Componentes típicos encontrados en el biogás

COMPONENTE	PORCENTAJE (BASE SECA)
Metano	25-60
Dióxido de carbono	40-75
Nitrógeno	2-5
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc.	0.1-1.0
Amoniaco	0-1.0
Hidrógeno	0-0.2
Monóxido de carbono	0-0.2
Constituyentes traza	0.01-0.6
CARACTERÍSTICA	VALOR
Temperatura	37-67 °C
Densidad específica	1.02-1.06
Contenido de humedad	Saturado
Poder calorífico superior (Kcal/m ³)	4700 –6000

Fuente: Tchobanoglous George, Theisen Hilary y Vigil A. Samuel. Gestión Integral M Residuos Sólidos. Mc Graw Hill. 1994.

Su factor de rapidez de flama es de 11.1, es bajo y por tanto hay que considerar que su flama puede apagarse en quemadores que no han sido correctamente diseñados.

Su inflamabilidad en el aire es de 6-25 % de biogás mezclado con aire son inflamables (este rango es relativamente pequeño por lo tanto es más seguro

que cualquier otro gas usado con fines domésticos. La eficiencia térmica en un quemador estándar es de 60 %).

El biogás puede causar explosiones al tener componentes como el metano. Tomando en cuenta que su composición típica tiene entre 25-60 % de metano, los niveles de explosión son de 7 a 29 % de biogás en aire (en volumen). La densidad y su composición son también factores importantes en la seguridad; sabiendo que la densidad del aire es de 1.293 g/L y considerando que con un contenido de 35 % de CO₂ rebasa el 46 %, el biogás es más denso que el aire, subiendo su límite de peligrosidad, puede ser asfixiante cuando su acumulación causa que el oxígeno del aire baje a 17.3 % o positivamente sofocante si baja hasta 13 %, si en la composición del biogás se tiene CO₂ en proporción de 0.1 % es fatal en 4 horas y si la producción de H₂S es de 0.6 % es fatal en menos de media hora.

Los límites inferior y superior de flamabilidad del metano en mezclas de aire expresado en por ciento del volumen son:

Límite inferior = 5.0 %

Límite superior = 15.0 %

Desde el punto de vista ambiental, el metano tiene la capacidad de absorber 21 veces más calor que el bióxido de carbono (CO₂) y sitúa al biogás como un importante contribuyente al efecto de invernadero, lo que equivale a menos de la quinta parte del provocado por el CO₂ emitido por el transporte urbano nacional y es prácticamente igual al mismo CO₂ emitido por la industria cementera nacional (Arvizu F, 1997).

8.1 Producción de biogás en rellenos sanitarios

En el cuadro 11 podemos ver la evolución de la composición de los gases, que se generan a lo largo del tiempo en rellenos sanitarios.

Cuadro 11. Evolución de la composición de los gases producidos en rellenos sanitarios a partir de su clausura.

tiempo transcurrido	composición en % de los gases		
	N ₂	CO ₂	CH ₄
Meses			
0 – 3	5.2	88	5
3 – 6	3.8	76	21
6 – 12	0.4	65	29
12 – 18	1.1	52	40
18 – 24	0.4	53	47
24 – 30	0.2	52	48
30 – 36	1.3	46	51
36 – 42	0.9	50	47
42 – 48	0.4	51	48

Fuente: Brunner R. Dirk y Keller J. Daniel. Sanitary Landfill Design and Operation U.S.E.P.A., 1972.

La basura se puede clasificar en tres grupos:

1. Fermentación rápida (restos de comida)
2. Fermentación lenta (papel y madera)
3. Inerte (metal , vidrio y plástico)

La conversión biológica de los residuos orgánicos se realiza en cuatro etapas (ver figura 2).

Etapa aerobia: en ésta, los compuestos orgánicos complejos son transformados a compuestos más simples mediante una hidrólisis enzimática, realizada por microorganismos facultativos y aerobios. Puede durar de unos días a varios meses, dependiendo de la velocidad de descomposición. Si el residuo tiene suficiente contenido de humedad, la descomposición aerobia despojará de oxígeno rápidamente a la parte profunda del tiradero y el proceso entrará en la segunda etapa. El producto formado en mayor proporción es el CO₂.

Etapa anaerobia no metanogénica: en ella ocurre una fermentación ácida o conversión intracelular de los azúcares, péptidos, aminoácidos y otros compuestos, producto de la hidrólisis, dando como resultado una gran cantidad de compuestos, entre los que destacan los ácidos acético y propiónico.

Etapa anaerobia con producción acumulativa de metano: es en esta etapa cuando los ácidos orgánicos, producto de la fermentación ácida, son

transformados a gas metano y bióxido de carbono por un grupo de microorganismos comúnmente llamados metanogénicos, los cuales son estrictamente anaerobios y tienen un alto grado de especificidad en cuanto al sustrato que fermentan. Las bacterias productoras de metano son de la familia *Methanobacteriaceae*, la cual se divide en cuatro géneros: *Methanobacterium*, *Methanosarcina*, *Methanococcus*, y *Methanospirillum*. En esta etapa la producción de metano adquiere un carácter francamente ascendente.

Etapa anaerobia de régimen permanente: Se caracteriza porque en esta etapa los porcentajes de CO₂ y CH₄ que constituyen al biogás ya no varían en el tiempo.

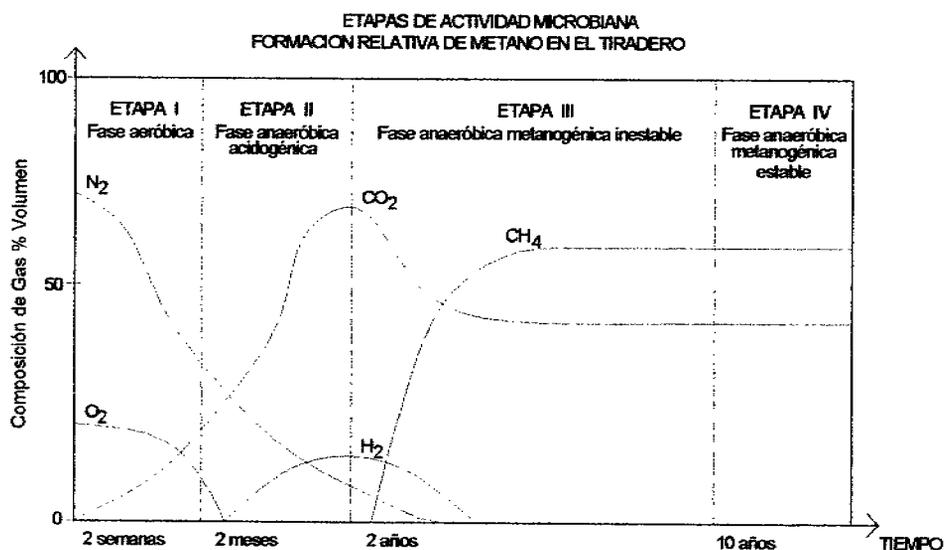
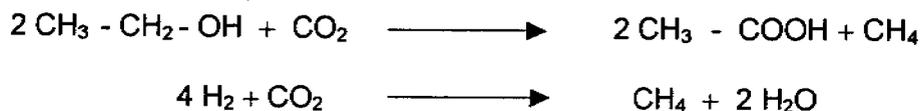
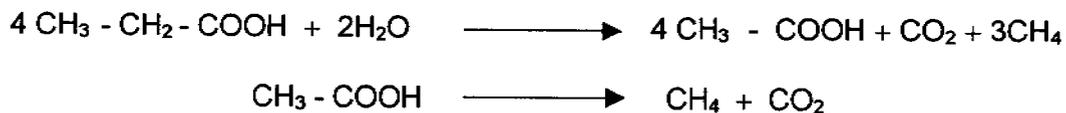


Figura 2. Etapas de actividad microbiana, formación relativa de metano en un tiradero

Se consideran dos posibles mecanismos de formación de metano por la acción de las bacterias. En el primero el gas se produce como resultado de la oxidación del alcohol etílico y la reducción del bióxido de carbono atmosférico:



En el segundo, el metano se produce como resultado de la reducción del CO_2 , producto de la oxidación de los ácidos acético y propiónico:



De estas reacciones se puede observar que los ácidos acético y propiónico son los principales intermediarios que promueven la formación de metano, por ello la importancia que tienen dentro del proceso de fermentación anaerobio.

8.2 Parámetros que influyen en la formación del metano

Existen varios factores que determinan la producción del biogás, entre los que se destacan:

- 🗑️ Contenido orgánico de los residuos.
- 🗑️ Humedad disponible.
- 🗑️ Composición de los residuos.
- 🗑️ Tamaño y densidad de los residuos.
- 🗑️ pH y temperatura.
- 🗑️ Contenido de oxígeno.

Tomando en cuenta que las bacterias son el constituyente esencial del proceso, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo biológico. A continuación se analizan detalladamente los parámetros que influyen en la formación del metano.

Tiempo de retención. El tiempo de retención varía en forma inversa con la velocidad de degradación de las bacterias, la que a su vez depende directamente de la temperatura. Así a mayores temperaturas el tiempo de retención necesario para obtener una buena producción de gas es menor.

Naturaleza de los materiales orgánicos. Los materiales ricos en celulosa y hemicelulosa con suficiente sustancia proteínica producen más biogás. Los polisacáridos complejos son más propicios a la formación de metano, mientras que, si sólo están presentes materiales proteínicos, se producirá poca cantidad de biogás.

Temperatura. Se requiere que el valor de temperatura se halle entre 30 y 60° C para que las bacterias formadoras de metano trabajen en forma óptima, según el tipo de éstas, se adapten y desarrollen. En la práctica no se tiene control de la temperatura en el relleno.

Para el desarrollo óptimo del proceso, se distinguen dos intervalos de temperatura: el mesofílico de 30 a 40° C y el termofílico de 55 a 60° C. Las bacterias que se desarrollan en el intervalo mesofílico se producen fácilmente y permanecen activas si no hay cambios súbitos de temperatura. En el termofílico se producen mayores cantidades de biogás en tiempos más cortos, pero sólo se utiliza en instalaciones industriales, pues requiere de un control riguroso ya que las bacterias termofílicas son muy sensibles a los cambios de temperatura.

9. Generación de ácido sulfhídrico en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales

El ácido sulfhídrico (H_2S) es un gas incoloro, inflamable, con olor a huevo podrido, de sabor dulce y perceptible a concentraciones de 0.002 mg/L, con peso molecular de 34.08 g/mol. Sin embargo, en concentraciones mayores de 500 ppm afecta la capacidad de percepción del nervio olfativo y con ello impide su detección a través de este sentido, haciéndolo más peligroso. Se encuentra

en los gases provenientes de volcanes, manantiales sulfurosos y agua estancada.

Este gas es más denso que el aire. Los cilindros y tanques sometidos a fuego pueden romperse violentamente si cede la válvula.

Es soluble en agua, sin embargo estas disoluciones no son estables pues absorben oxígeno, con lo que se forma azufre elemental y las disoluciones se enturbian. Esto puede prevenirse con el uso de disoluciones 50/50 (V/V) de glicerol y agua, retardando la formación de azufre.

Es muy tóxico por lo que una exposición prolongada a este gas puede generar efectos adversos a la salud. Es considerado tan tóxico como el ácido cianhídrico, sin embargo su olor tan desagradable permite que sea percibido a muy bajas concentraciones.

El ácido sulfhídrico anhidro es poco corrosivo al acero al carbón, aluminio, Inconel, Stellite y aceros inoxidable 304 y 316. Sin embargo, los aceros duros, si están altamente tensionados, se vuelven frágiles por la acción de este producto, lo cual puede evitarse con cubiertas, por ejemplo de teflón. Por otra parte, a temperaturas elevadas puede producirse sulfuración de metales, lo cual, en algunos casos, puede ser una pequeña ayuda contra ataques posteriores (pavonado).

Una parte del H_2S , recuperado como subproducto de algún proceso, se utiliza en la producción de azufre elemental por medio del proceso Claus o en la generación de ácido sulfúrico. También se usa en la fabricación de otros productos químicos como sulfuros inorgánicos (sulfuro y bisulfuro de sodio principalmente), utilizados en la industria de colorantes, hules, pesticidas, aditivos para plásticos, peletería y fármacos. También en síntesis orgánica tiene aplicación, pues se utiliza en la obtención de mercaptanos. En metalurgia, se utiliza para separar cobre y níquel.

De manera natural, las bacterias lo producen al reducir sulfatos y descomponer proteínas.

Otro método de obtención a nivel industrial es mediante la reacción de hidrógeno y azufre en fase de vapor, esta reacción se lleva a cabo a aproximadamente 500 °C en presencia de un catalizador como bauxita, aluminosilicato o molibdato de cobalto. A través de este método se obtiene sulfuro de hidrógeno de buena pureza, adecuado para la producción de sulfuro o bisulfuro de sodio.

En el laboratorio puede obtenerse tratando sulfuro de hierro, sulfuro de cinc o hidrosulfuro de sodio con ácido clorhídrico o sulfúrico diluidos, o bien con sulfuro de calcio y cloruro de magnesio en agua.

Además se obtiene como subproducto de muchos procesos industriales, como la hidrodesulfuración de petróleo y una buena parte del producto comercial se obtiene a partir del gas natural.

9.1 Números de identificación

CAS: 7783-06-4 UN: 1053

NIOSH:MX 1225000 RCRA: U135

NOAA: 3625 STCC: 4905410

RTECS: MX1225000 HAZCHEM CODE: 2WE

NFPA: Salud: 3 Reactividad: 0 Fuego: 4 El producto está incluido en: CERCLA y EHS

NOM 114: Salud: 2 Ractividad: 0 Fuego: 4

MARCAJE: gas inflamable y venenoso

Sinónimos

Monosulfuro de dihidrógeno

Sulfuro de dihidrógeno

Sulfuro de hidrógeno

Dihidruro de azufre
Hidruro de azufre

9.2 Propiedades físicas y termodinámicas

Punto de fusión: $-85.49\text{ }^{\circ}\text{C}$, punto de ebullición: $-60.33\text{ }^{\circ}\text{C}$, densidad: 1.5392 g/L (0°C y 760 mm de Hg), 0.993 g/cm^3 ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$), densidad de vapor: 1.189 , presión de vapor (kPa): 102.7 ($-60\text{ }^{\circ}\text{C}$), 256.6 ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), 546.6 ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), 1033 ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), 1780 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) 2859 ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$) y 4347 ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$), temperatura de autoignición en el aire: $260\text{ }^{\circ}\text{C}$, límites de explosividad: (% en aire a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$): $4.3\text{-}46$. Solubilidad: Un gramo de sulfuro de hidrógeno se disuelve en 1.87 mL de agua (a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$), 242 ml (a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$), 314 mL de agua (a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$), en 94.3 mL de etanol absoluto (a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$). O bien, en $\text{g}/100\text{ g}$ de disolución: 0.71 ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), 0.53 ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$), 0.398 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$). También es soluble en metanol, acetona, carbonato de propileno, sulfolano, algunos glicoles, éteres de glicoles, N-metil-pirrolidina (disuelve 49 mL/g a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a presión atmosférica) y éter etílico. Su solubilidad en disolventes no polares es menor, por ejemplo: 8.9 mL/g en hexano y 16.6 mL/g en benceno. En general es muy soluble en alcanolaminas debido a la formación de sales, las cuales se disocian al calentarse. Es un mal disolvente de sales iónicas como NaCl , pero es buen disolvente de AlCl_3 , ZnCl_2 , FeCl_3 , PCl_3 , SiCl_4 y SO_2 , su pH en disolución acuosa fresca: 4.5 , presión de vapor ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$): 18.5 atm . Temperatura crítica: $100.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, presión crítica: 9020 kPa , densidad crítica: 0.3681g/cm^3 , a baja temperatura y presión alta, el sulfuro de hidrógeno forma cristales hexahidratados.

9.3 Propiedades químicas

Los productos de descomposición por calor son vapores tóxicos de óxidos de azufre. Este producto es muy peligroso cuando se expone al calor, flama u oxidantes, reacciona explosivamente con etanol y 1,2-bis(2-azidoetoxi)etano; tricloruro de nitrógeno; fulminato de plata; oxígeno; pentafluoruro de bromo; trifluoruro de cloro; triyoduro y tricloruro de nitrógeno; difluoruro de oxígeno (a temperatura ambiente) y cloruro de fenildiazonio. Una mezcla 1:2 de este

producto con oxígeno, causa que el polvo de cobre entre en incandescencia y prenda la mezcla explosiva de gases. Es incandescente en presencia de peróxido de bario, trióxido de cromo, óxido de cobre, dióxido de plomo, dióxido de manganeso, óxido de níquel, óxido de plata (I), peróxido de sodio, óxido de talio (III), fluor, hipoclorito de plomo, óxido de plomo (IV), bromato de mercurio (I), bromato de plata y al pasar por ductos de hierro oxidados. Lo mismo sucede al entrar en contacto, junto con aire, con óxido de bario, óxido de calcio u óxido de mercurio, además existe el riesgo de explosión. Es incompatible en general, con oxidantes, bases fuertes y metales.

9.4 Niveles de toxicidad

RQ: 100, TPQ: 500, IDLH: 300 ppm, LC₅₀ (inhalación en ratas): 444 ppm, LCLo (inhalación en humanos): 600 ppm/ 30 min y 800 ppm/ 5 h, LDLo (inhalación en humanos): 5700 microg/ Kg, en México: CPT: 14 mg/m³ (10 ppm), CCT: 21 mg/m³ (15 ppm), Estados Unidos: TLV TWA: 14 mg/m³ (10 ppm), TLV STEL: 21 mg/m³ (15 ppm).

9.5 Riesgos a la salud provocados por ácido sulfhídrico

Este producto es extremadamente tóxico y causa de una gran cantidad de muertes, no sólo en áreas de trabajo, sino también en áreas de acumulación natural como cisternas o drenajes. Actúa directamente sobre el sistema nervioso central, provocando parálisis en los centros respiratorios, debido a que forma metahemoglobina, de forma similar a los cianuros.

El torrente sanguíneo reacciona con algunas enzimas, lo que provoca inhibición de la respiración celular, parálisis pulmonar y la muerte. Los primeros síntomas de intoxicación, de manera general, son: náusea, vómito, diarrea, irritación de la piel, lagrimeo, falta de olfato, fotofobia y visión nublada. Los síntomas de una intoxicación aguda son: taquicardia (aumento de la velocidad cardiaca) o bradicardia (disminución de la velocidad cardiaca), hipotensión (presión sanguínea baja), cianosis, palpitaciones, arritmia cardiaca. Además, puede presentarse respiración corta y rápida, edema bronquial o pulmonar, depresión

pulmonar y parálisis respiratoria. Los efectos neurológicos en estos casos son irritabilidad, vértigo, cansancio, confusión, delirio, amnesia, dolor de cabeza y sudoración. Se presentan también calambres musculares, temblores, salivación excesiva, tos, convulsiones y coma. La ingestión de alcohol incrementa los efectos tóxicos.

Si la inhalación es a baja concentración durante pocas horas, los síntomas son: dolor de cabeza, náusea, pérdida de peso y otros síntomas debidos a daños cerebrales. A concentraciones entre 50 y 500 ppm, el ácido sulfhídrico actúa primero como irritante respiratorio. Una exposición prolongada a concentraciones mayores de 250 ppm, por ejemplo, causa edema pulmonar y neumonitis bronquial.

Por otra parte, si la concentración es mayor, entonces llega al sistema nervioso. Así, una exposición a 500 ppm por 30 minutos causa dolor de cabeza, cansancio, excitación, diarrea e inconsciencia. Se ha informado incluso, de casos de encefalopatías y polineuritis. El respirarlo sólo unos minutos en atmósferas con 1000 ppm de este producto causa inconsciencia, de la cual se puede recuperar rápidamente si se atiende a tiempo, pero puede ser mortal por parálisis respiratoria.

10. Riesgos a la salud

10.1 Riesgos a la salud generados por la exposición a sustancias peligrosas liberadas en los sitios de disposición final

Cada sitio de disposición de residuos puede considerarse único en cuanto a su composición y a sus efluentes. Los estudios han demostrado que aunque pueden estar presentes una gran cantidad de compuestos químicos diferentes, algunas clases de contaminantes se detectan con mayor frecuencia. En aproximadamente 70 por ciento de los sitios que se han estudiado se han encontrado compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos volátiles, aproximadamente un tercio tienen plaguicidas halogenados e hidrocarburos

poliaromáticos y algo menos de un cuarto tienen fenoles o fenoxiácidos y ftalatos.

Algunos sitios de disposición de residuos están ubicados en medios naturales sensibles; por ejemplo, cerca de zonas habitacionales o en estratos geológicos permeables y con agua subterránea usada para el abastecimiento público.

Se han identificado 56 sustancias con rutas de exposición completas o potenciales en 10 por ciento o más de los sitios de disposición de residuos. Treinta de estos contaminantes, llamados *sustancias prioritarias con ruta de exposición completa*, han sido identificadas en 6 % o más de estos sitios. Debe señalarse que, además de los 18 carcinógenos listados como sustancias prioritarias con ruta de exposición completa, existen 12 sustancias tóxicas sistémicas que, según se ha demostrado, causan una variedad de efectos tóxicos (dependiendo del nivel de exposición y de la duración) en el sistema nervioso central, el hígado, los riñones, el corazón, los pulmones, el sistema inmunológico, la piel y el sistema reproductivo.

Para que estas sustancias constituyan una amenaza por su toxicidad, es necesario que tengan una ruta de exposición completa; es decir, una ruta que vaya desde la fuente de contaminación, a través de medios ambientales y mecanismos de transporte, hasta el punto de exposición. Las sustancias peligrosas típicas con rutas de exposición completa incluyen, por ejemplo, tricloroetileno, plomo, arsénico y benceno, entre otros.

El monitoreo de datos en el aire, las aguas residuales y el suelo alrededor de los sitios de disposición de residuos ha mostrado una clara disminución de las concentraciones al incrementarse la distancia respecto del sitio. Por ejemplo, los niveles de muchos contaminantes transmitidos por el aire se reducen significativamente en puntos ubicados más allá de un kilómetro del sitio.

El potencial para la exposición de receptores sensibles a los contaminantes que migran desde un sitio de disposición de residuos (como las personas o las

aguas subterráneas) depende de la existencia de una fuente (la contaminación en el sitio de disposición de residuos), un receptor (personas o aguas subterráneas) y una ruta que los conecte. Si falta cualquiera de estos componentes, no existe una ruta de exposición.

Una evaluación de la exposición de un receptor a contaminantes de un sitio de disposición de residuos debe considerar los siguientes elementos:

- Naturaleza de los residuos y los contaminantes móviles presentes en el sitio
- Proximidad y sensibilidad de los receptores
- Probabilidad de la presencia de una ruta que conecte la fuente de contaminación y el receptor
- Medidas de protección de ingeniería
- Protección natural (por ejemplo, estratos geológicos de baja permeabilidad); monitoreo de datos para demostrar si existen emisiones
- Duración y concentración de la exposición

Los estudios que se consideran prioritarios sobre los potenciales efectos adversos en la salud de las poblaciones vecinas a los sitios de disposición final, incluyen defectos congénitos y trastornos reproductivos, ciertos cánceres, trastornos de la función inmunológica, insuficiencia renal y hepática, enfermedades respiratorias y trastornos neurotóxicos. Una limitación inherente al estudio de estos problemas es que la exposición será a múltiples sustancias y por lo tanto, puede resultar difícil atribuir los efectos a una sustancia específica entre ellas. Además, se ha demostrado que las concentraciones son generalmente bajas, por lo cual tomar en cuenta efectos crónicos en la salud puede ser más apropiado que considerar efectos agudos, lo que introduce otros aspectos importantes, como la duración y la frecuencia de la exposición y la latencia.

En los estudios se plantea que es necesario considerar la heterogeneidad de las poblaciones expuestas, recopilando información adicional sobre diferentes variables que puedan intervenir en las observaciones.

10.2 Transporte de sustancias peligrosas de los sitios de disposición final a través de diferentes rutas y medios ambientales

La existencia de sitios de disposición de residuos plantea un importante problema ambiental debido a las incertidumbres existentes en relación con su impacto en el medio ambiente y sus efectos potenciales en la salud de los seres humanos y en la vida silvestre. Cada sitio puede ser caracterizado por sus propiedades geológicas, hidrogeológicas y de suelo, así como por su medio ambiente ecológico, industrial y humano. La situación puede ser considerada como un problema integral que incluye el *transporte* de los contaminantes potenciales desde la *fuentes*, a través de varias rutas, hasta un *receptor* donde se puede producir la exposición. Se puede caracterizar la fuente de acuerdo con la naturaleza, el origen y el estado físico de los residuos, además del tamaño y el proceso de disposición de residuos. Las rutas de transporte dependerán de las propiedades del contaminante liberado e incluyen a las aguas superficiales y subterráneas y la migración gaseosa a través de la atmósfera, así como a través de suelos saturados o no saturados. Los receptores pueden ser seres humanos o la vida silvestre. La exposición de las personas puede producirse a través de la inhalación, el contacto dérmico, la ingestión de alimentos y de agua potable.

El alto número de microcomponentes del biogás, sus bajas concentraciones relativas y su vida media, asociadas con el alto número de posibles mezclas generadas en los sitios de emisión o inmisión, hacen que el monitoreo de emisiones de gases de sitios de disposición final sea un problema muy complejo. La concentración en el aire depende de muchos factores como los niveles de emisión, la dispersión y la transformación durante el transporte, la adsorción a las partículas, las propiedades fisicoquímicas y los parámetros atmosféricos y geográficos locales. Los lixiviados son mezclas acuosas de

bacterias y compuestos químicos de origen tanto orgánico como mineral. Su composición dependerá de la naturaleza de los residuos, la edad de los sitios de disposición final, el pH del microambiente y el volumen de precipitación. Si la contaminación con biogás es diluida por flujos atmosféricos, el lixiviado puede ser una potente fuente concentrada de contaminación del agua subterránea si no se le trata adecuadamente. La determinación del flujo de aguas subterráneas puede ser compleja si existen zonas completamente saturadas adyacentes a zonas no saturadas de manera parcial o total.

La presencia de una sustancia potencialmente peligrosa no es suficiente para concluir que se ha producido una exposición. Para que esto suceda, tiene que existir contacto entre las sustancias y los seres humanos. Las concentraciones derivadas de los datos de monitoreo pueden ser un sustituto deficiente de la exposición humana. Se ha encontrado que las concentraciones en el aire de sustancias que emanan de los rellenos se diluyen rápidamente a medida que crece la distancia del sitio. Existen muchos productos químicos altamente tóxicos que emanan de los sitios de disposición de residuos, pero las concentraciones en los alrededores pueden ser bajas y pueden irse reduciendo a medida que se incrementa la distancia. Los microorganismos y las endotoxinas están entre las sustancias potencialmente peligrosas y sobre cuyo transporte existe poca literatura.

A pesar del gran número de estudios realizados y la evidencia de potentes propiedades tóxicas que han mostrado los compuestos detectados en varios sitios de disposición final de residuos, no se ha llegado a un consenso sobre los efectos potenciales en la salud de las poblaciones humanas que viven en las vecindades de estos sitios. Las razones para ello incluyen la amplia diversidad y multiplicidad de sitios de disposición final de residuos y de las poblaciones en sus alrededores.

El uso de marcadores biológicos citogenéticos y moleculares complementa el monitoreo ambiental. Además de ensayos ya validados, como las aberraciones cromosómicas, los intercambios de cromátidas hermanas y los micronúcleos, hay nuevas técnicas como la detección de mutación genética, la síntesis no

programada del ácido desoxirribonucleico (ADN), los mutantes PRET en los linfocitos T (gen hipoxantina-guanina fosforribosiltransferasa) y la determinación de proteínas y ácidos nucleicos producidos por aducción. La alta sensibilidad de estos métodos facilita la detección de alteraciones formadas debido a exposiciones ambientales de bajo nivel, mejora la estimación cuantitativa de las dosis mínimas y permite diferentes patrones de exposición durante el tiempo en el que se va a realizar la exploración.

Es esencial desarrollar métodos de comunicación accesibles y transparentes para garantizar que los pobladores de las áreas vecinas a los sitios de disposición final de residuos se mantengan informados sobre los resultados de cualquier estudio, lo que debe incluir las complejidades y las incertidumbres, así como lo que implique cualquier decisión subsecuente.

Al evaluar la exposición, es importante elegir una unidad de exposición adecuada; por ejemplo, una exposición acumulada o intermitente. La duración, la intensidad y la frecuencia de la exposición contribuyen al cálculo de la exposición acumulada. Sin embargo, también puede ser importante la evaluación de la exposición intermitente o pico. También es fundamental considerar el periodo de exposición y el tiempo de latencia, de acuerdo con el resultado de salud específico. Cada sitio de disposición de residuos debe contar con datos de ubicación bien definidos y validados (se debe incluir una referencia cuadrangular), además de datos sobre las condiciones meteorológicas y geológicas predominantes e información sobre otras fuentes de exposición cercanas; por ejemplo, otras industrias. La información sobre el manejo del sitio, los controles de ingeniería, las sustancias recibidas en el sitio y cómo van cambiando éstas en el tiempo facilitaría la interpretación de cualquier dato derivado del monitoreo.

Para lograr estudios epidemiológicos analíticos eficaces, se requiere evaluar la exposición en un nivel individual. Esto puede incluir estimados de exposición para cada ubicación individual (por ejemplo, mediante modelos de exposición), datos microambientales, información de tiempo y actividad, así como factores tales como estilo de vida, la exposición ocupacional y la historia médica. Los

marcadores biológicos también pueden ser útiles, particularmente si se requiere una dosis integral de todas las fuentes.

11. Marco jurídico de los sitios de disposición final de residuos sólidos municipales

11.1 Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto se inscribe dentro del Convenio Marco de la ONU sobre cambio climático. Pide que los países industrializados (excepto los EE.UU., que no participan) reduzcan sus emisiones de gases que contribuyen al calentamiento del planeta en aproximadamente un 5% por debajo de los niveles de 1990 para el período 2008-2012. Los países adoptaron diferentes porcentajes, dentro de este compromiso general. Permite que los participantes en el Protocolo de Kyoto reduzcan las emisiones en sus países de origen y/o puedan beneficiarse de los llamados mecanismos flexibles (comercio de emisiones, el desarrollo limpio y la aplicación conjunta), así como contabilizar el carbono absorbido por los llamados sumideros, como los bosques o las tierras de cultivo. El Protocolo recoge dos criterios para que el acuerdo entre en vigor. El primero es que al menos 55 participantes en el convenio sobre el clima lo ratifiquen.

Los países industrializados en el período 2008-2012, se incorporarán a los “mecanismos flexibles”, es decir, comercio de emisiones = compra y venta de permisos de contaminación a otros países. Existen medidas para la reducción a través de mecanismos de desarrollo limpio = proyectos de emisiones domésticas (nacionales). Se cuenta con resumideros de absorción de CO₂ del aire, como son: bosques, vegetación, agricultura y tierras de cultivo.

Los países industrializados se han comprometido a reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hexafluoruro sulfúrico (SF₆): P. ej. UE -8%; EE.UU. -7%; Japón -6%; Rusia 0% y Australia +8%.

Hay avances científicos internacionales. En agosto de 1990 se realizó el primer informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), en el se analizaron los impactos y las respuestas de la ciencia y la política al cambio climático y sirve como base para la negociación del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En 1995, el IPCC finalizó su segundo informe de evaluación. En 2001, de enero a marzo, los gobiernos concluyen la aprobación y adopción finales del tercer informe de evaluación del IPCC. Este informe contiene la conclusión del primer consenso científico global que identifica la acción del hombre en la alteración del clima mundial. El informe adjudica a la actividad humana "la mayor parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años", a través de actividades que han aumentado los niveles de gases de efecto invernadero. Los científicos adjudican el calentamiento global a los cientos de cambios observados en sistemas físicos y biológicos. Es imprescindible que cada gobierno tome parte para combatir el calentamiento del planeta y, como mínimo, apoye y ratifique el Protocolo de Kyoto. El impedimento clave para que el Protocolo entre en vigor no es el número de ratificaciones, si no garantizar que los países que lo ratifiquen sean contaminadores significativos y que superen el 55% de las emisiones de CO₂ incluido en el artículo 25 del Protocolo. A corto plazo y desde una perspectiva estrictamente técnica y legal, la ratificación por parte de algunos países es más importante que la de otros.

Los EE.UU. quedan excluidos de la lista debido a la oposición al tratado por parte de la Administración de Bush, al igual que Australia, pues su gobierno ha declarado que no ratificará el tratado hasta que los EE.UU. lo hagan. Ucrania, importante emisor de CO₂, queda excluida según los términos del Protocolo por no haber presentado su "primer comunicado nacional" con sus datos de emisión antes del 11 de diciembre de 1997. Si alguno de los grandes emisores de CO₂ (la Unión Europea, Rusia y Japón) no ratifican, será imposible que el tratado de Kyoto entre en vigor, independientemente de la ratificación de cualquier otro país. Los 25 países de la lista, por orden decreciente de emisiones de CO₂, son:

1. La Comunidad Europea y sus 15 Estados Miembros (Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Finlandia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo,

Holanda, Portugal, España —a punto de ratificarlo—, Suecia y Reino Unido). 2. Federación Rusa, 3. Japón, 4. Canadá, 5. Polonia, 6. Bulgaria, 7. Hungría, 8. Eslovaquia, 9. Suiza, 10. Estonia y 11. Noruega.

11.2 Instrumentos jurídicos nacionales

El esquema jurídico aplicable a los terrenos que presentan riesgos con motivo de la presencia de residuos y materiales peligrosos es único.

El método consistió en revisar cuatro leyes básicas:

- a) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
- b) Ley Ambiental del Distrito Federal
- c) Legislación Federal en Materia de Protección Civil
- d) Legislación en Materia de Protección Civil del Distrito Federal

Solamente en el caso que de la revisión de dichas leyes se desprendieran responsabilidades de servidores públicos en materia administrativa, civil o penal, se procedería a la revisión de las leyes vigentes en esas materias.

Otro aspecto que hay que considerar previo al análisis de la legislación mencionada, es la circunstancia de que en nuestro sistema jurídico constitucional el Gobierno del Distrito Federal y el Federal comparten competencias dentro del territorio del Distrito Federal, sobre todo en cuestiones ambientales y de protección civil. Ello nos lleva a suponer responsabilidades compartidas en el caso que nos ocupa.

11.3 Análisis

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) entró en vigor en el mes de marzo de 1987, por lo que se puede apreciar que sus disposiciones, cuando puedan afectar los intereses de los gobernados, no resultarán aplicables. Dicho en otros términos, si se pretendiera encontrar y

sancionar gobernados responsables por las circunstancias en que se encuentra el terreno, debido al tema de los residuos peligrosos, no resultará aplicable la LGEEPA, en virtud de que en la fecha de los hechos no se encontraba vigente o no existía.

Sin embargo, si la intención del Gobierno Federal fuera atender el problema de contaminación del terreno, sí es aplicable la LGEEPA, pues ésta en sus artículos 78, 78 BIS y 78 BIS 1 prevé la circunstancia en los siguientes términos:

“Artículo 78. En aquellas áreas que presenten procesos de degradación o desertificación, o graves desequilibrios ecológicos, la Secretaría deberá formular y ejecutar programas de restauración ecológica, con el propósito de que se lleven a cabo las acciones necesarias para la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los procesos naturales que en ella se desarrollaban.

En la formulación, ejecución y seguimiento de dichos programas, la Secretaría deberá promover la participación de los propietarios, poseedores, organizaciones sociales, públicas o privadas, pueblos indígenas, gobiernos locales, y demás personas interesadas”.

“Artículo 78 BIS. En aquellos casos en que se estén produciendo procesos acelerados de desertificación o degradación que impliquen la pérdida de recursos de muy difícil regeneración, recuperación o restablecimiento, o afectaciones irreversibles a los ecosistemas o sus elementos, la Secretaría, promoverá ante el Ejecutivo Federal la expedición de declaratorias para el establecimiento de zonas de restauración ecológica. Para tal efecto, elaborará previamente, los estudios que las justifiquen.

Las declaratorias deberán publicarse en el Diario Oficial de la Federación, y serán inscritas en el Registro Público de la Propiedad correspondiente.

Las declaratorias podrán comprender, de manera parcial o total, predios sujetos a cualquier régimen de propiedad, y expresarán:

-
- I. La delimitación de la zona sujeta a restauración ecológica, precisando superficie, ubicación y deslinde;
 - II. Las acciones necesarias para regenerar, recuperar o restablecer las condiciones naturales de la zona;
 - III. Las condiciones a que se sujetarán, dentro de la zona, los usos del suelo, el aprovechamiento de los recursos naturales, la flora y la fauna, así como la realización de cualquier tipo de obra o actividad;
 - IV. Los lineamientos para la elaboración y ejecución del programa de restauración ecológica correspondiente, así como para la participación en dichas actividades de propietarios, poseedores, organizaciones sociales, públicas o privadas, pueblos indígenas, gobiernos locales y demás personas interesadas, y
 - V. Los plazos para la ejecución del programa de restauración ecológica respectivo”.

“Artículo 78 BIS 1. Todos los actos y convenios relativos a la propiedad, posesión o cualquier otro derecho relacionado con bienes inmuebles ubicados en las zonas que fueren materia de las declaratorias a que se refiere el artículo 78 BIS quedarán sujetas a la aplicación de las modalidades previstas en las propias declaratorias.

Los notarios y cualesquiera otros fedatarios públicos, harán constar tal circunstancia al autorizar las escrituras públicas, actos, convenios o contratos en los que intervengan.

Será nulo todo acto, convenio o contrato que contravenga lo establecido en la mencionada declaratoria”.

Es interesante observar que las mismas circunstancias apuntadas para la LGEEPA se presentan con la Ley Ambiental del Distrito Federal, pues existe la posibilidad de que el Jefe de Gobierno pueda declarar la restauración de la zona

afectada, pues así se desprende de la ley citada, misma que entró en vigor el 13 de enero del 2003. A continuación citamos los artículos aplicables:

“Artículo 113. En aquellas áreas de los suelos de conservación que presenten procesos de degradación o desertificación, o grave deterioro ecológico, el Jefe de Gobierno del Distrito Federal, por causa de interés público y tomando en consideración a la sociedad, podrá expedir declaratorias de zonas de restauración ecológica con la finalidad de establecer las modalidades a los derechos de propiedad que procedan para regular usos del suelo y limitar la realización de actividades que estén ocasionando dichos fenómenos”.

“Artículo 114. Están obligados a restaurar el suelo, subsuelo, acuíferos y los demás recursos naturales afectados, quienes por cualquier causa los contaminen o deterioren, de acuerdo con la presente Ley y las normas ambientales para el Distrito Federal”.

“Artículo 115. En los suelos de conservación que presenten deterioros ecológicos, la Secretaría formulará programas de restauración de los elementos naturales, con el propósito de que se lleven a cabo las acciones necesarias para la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los procesos naturales que en ellos se desarrollan.

En la formulación, ejecución y seguimiento de dichos programas, la Secretaría deberá promover la participación de los propietarios, poseedores, organizaciones sociales, públicas o privadas y demás personas interesadas”.

En materia de protección civil, se aprecia lo siguiente:

El Artículo 14 de la Ley General de Protección Civil dispone que quien deba iniciar las acciones de protección civil, ante una situación de emergencia, como el caso que nos ocupa, es la autoridad que primero tiene conocimiento de la situación de emergencia, conforme a nuestra apreciación, las autoridades del Gobierno del Distrito Federal.

Si existiese duda sobre esta interpretación, el mismo artículo 14 señala que:

“La primera instancia de actuación especializada, corresponde a la autoridad municipal o delegacional que conozca de la situación de emergencia. En caso de que ésta supere su capacidad de respuesta, acudirá a la instancia estatal correspondiente, en los términos de la legislación aplicable”.

“Si ésta resulta insuficiente, se procederá a informar a las instancias federales correspondientes, quienes actuarán de acuerdo con los programas establecidos al efecto, en los términos de esta Ley y de las demás disposiciones jurídicas aplicables”.

En forma por demás interesante, el artículo 38 de la Ley General de Protección Civil establece un esquema de responsabilidad generalizada, cuando señala:

“Artículo 38. En caso de riesgo inminente, sin perjuicio de la emisión de la declaratoria de emergencia y de lo que establezcan otras disposiciones, las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, Estatal y Municipal ejecutarán las medidas de seguridad que les competan, a fin de proteger la vida de la población y sus bienes, la planta productiva y el medio ambiente, para garantizar el funcionamiento de los servicios esenciales de la comunidad”.

“Las fuerzas armadas participarán en la atención de situaciones extraordinarias que requieran acciones inmediatas de protección civil dentro de cualquiera de los niveles de la estructura institucional, municipal o estatal, coordinándose con las mismas para tal efecto, realizando las tareas que les competen aun cuando no se haya declarado un estado de desastre”.

Inclusive, para mayor precisión, la referida ley indica la forma de proceder de las instancias administrativas ante una eventualidad como la que nos ocupa, al señalar:

“Artículo 39.- Las Unidades Estatales o Municipales de Protección Civil, así como las del Distrito Federal, podrán aplicar las siguientes medidas de seguridad:

I. Identificación y delimitación de lugares o zonas de riesgo;

II. Acciones preventivas para la movilización precautoria de la población y su instalación y atención en refugios temporales, y

III. Las demás que en materia de protección civil determinen las disposiciones reglamentarias y la legislación local correspondiente, tendientes a evitar que se generen o sigan causando riesgos. Asimismo, las Unidades a que se refiere este artículo y la Secretaría de Gobernación podrán promover ante las autoridades competentes, la ejecución de alguna o algunas de las medidas de seguridad que se establezcan en otros ordenamientos.

Artículo 40. Cuando se apliquen alguna o algunas de las medidas de seguridad previstas en el artículo anterior, se indicará su temporalidad y, en su caso, las acciones que se deben llevar a cabo para ordenar el retiro de las mismas”.

El artículo 55 de la Ley de Protección Civil para el Distrito Federal dispone que en los casos de emergencia o desastre, el Jefe de Gobierno del Distrito Federal, pueda solicitar una declaratoria formal de emergencia, al Titular del Ejecutivo Federal de acuerdo al procedimiento establecido en la Ley General de Protección Civil.

En el Artículo 57 de la misma ley se determina que la Dirección General de Protección Civil del Gobierno del Distrito Federal coordinará el monitoreo y recibirá los reportes sobre la situación que guardan los servicios vitales, los sistemas estratégicos y, en general, el Distrito Federal, durante todas las horas y días del año.

“Artículo 59. Las acciones inmediatas de operación de protección civil en alto riesgo, emergencia, o desastre en la población, son:

- I. La identificación del tipo de riesgo;
- II. La delimitación de la zona afectada;
- III. El acordonamiento de los perímetros de alto, mediano y bajo riesgo;

- IV. El control de rutas de acceso y evacuación;
- V. El aviso y orientación a la población;
- VI. La evacuación, concentración o dispersión de la población;
- VII. La apertura o cierre de refugios temporales;
- VIII. La Coordinación de los servicios asistenciales, y
- IX. La determinación de las acciones que deberán ejecutar las diferentes áreas de la Administración Pública del Distrito Federal y las instituciones privadas, sociales y académicas.

Con forme al artículo 61, “Ante una emergencia o desastre que afecte a la población, sus bienes y entorno, la Dirección General (de Protección Civil), dentro de los mecanismos de implementación de acciones de mitigación, auxilio y restablecimiento, podrá solicitar al Jefe de Gobierno del Distrito Federal la tramitación de la declaratoria de emergencia o desastre correspondiente.

Inclusive, en su artículo 64, la ley en comento dispone que: “En situaciones de emergencia o desastre, la Dirección General de Protección Civil establecerá los puestos de Coordinación que se requieran, preferentemente en unidades móviles equipadas con medios tecnológicos que posibiliten la ágil coordinación y toma de decisiones”.

Es de destacarse que, conforme al artículo 65: “Es responsabilidad de las Delegaciones coordinar en una primera instancia las acciones para la atención de emergencias en su demarcación, siempre y cuando no se afecten servicios vitales y estratégicos del Distrito Federal o se prevea un encadenamiento de calamidades que pueda afectar a otra Delegación o Entidad Federativa, en cuyo caso, la coordinación será establecida por la Dirección General de Protección Civil sin menoscabo de la responsabilidad de éstas”.

Es responsabilidad de las Unidades Delegacionales de Protección Civil informar a la Dirección General de Protección Civil de todas las emergencias suscitadas en su demarcación, así como de las acciones adoptadas para el auxilio de los habitantes afectados y la mitigación de daños, restablecimiento y reconstrucción de la zona.

Muy importante es considerar que el artículo 96 señala que, “Cuando una situación de riesgo inminente implique la posibilidad de una emergencia o desastre, las autoridades competentes podrán adoptar, de conformidad con las disposiciones legales aplicables, las siguientes medidas de seguridad, con el fin de salvaguardar a las personas, sus bienes y entorno:

- I.- El aislamiento temporal, parcial o total del área afectada;
- II. La suspensión de trabajos, actividades y servicios;
- III. La evacuación de inmuebles; y,
- IV. Las demás que sean necesarias para llevar a cabo la protección civil.

Asimismo, podrán promover la ejecución de las medidas de seguridad ante la autoridad competente en los términos de las leyes respectivas”.

11.4 Marco jurídico de los estudios de riesgo ambiental

“Las políticas de reglamentaciones y procedimientos de gestión ambiental se establecen en función de la identificación de riesgos excesivos o inaceptables de acuerdo al criterio de cada país según sus recursos para el control y manejo seguro de las sustancias químicas de alto riesgo” (SEMARNAP, INE, 1994).

De esta forma existen distintas disposiciones jurídicas que permiten enmarcar la necesidad de abordar la problemática de los riesgos que se presentan en el desarrollo de las distintas actividades del Sector Productivo o de Servicios, desde el Marco Constitucional hasta las implicaciones en el desempeño de las Autoridades Locales, como Municipios o el Distrito Federal.

11.5 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La obligatoriedad del estudio de actividades que involucran la utilización de sustancias riesgosas dentro del contexto legal, tiene como base la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, promulgada el 5 de febrero de 1917 y de la cual se derivan los artículos referentes a la protección a la salud y al ambiente, de tal forma que en su Art. 4º se incorporo el “derecho de toda persona a la protección de la salud” como parte de las modificaciones que entraron en vigor en 1993, lo cual permitió introducir la idea de la protección de la salud humana por los efectos adversos del ambiente.

Dentro de los artículos relacionados con la protección del ambiente y por tanto las bases jurídicas para su análisis, destaca el Art. 25, que señala que “bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dice el interés público y al uso en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente” (introducido en las modificaciones realizadas en 1982, e incluido como una importante reforma a la Constitución en 1993).

De igual forma el Art. 27, párrafo tercero consigna el hecho de que “la Nación debe dictar las medidas necesarias para aprovechar los elementos naturales regulando, ordenando y planeando el mejoramiento y crecimiento de los centros de población, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico”.

El Art. 73 Constitucional, fracción XVI, menciona que el Consejo de Salubridad General tendrá las atribuciones para “poner en vigor o adoptar campañas para prevenir y combatir la contaminación ambiental” (reforma en 1987).

En el Art. 123, fracciones XII, XIV y XV, se establece que “las empresas, están obligadas a proporcionar a sus trabajadores, capacitación o adiestramiento para el trabajo” y “los empresarios serán responsables de los accidentes del trabajo y enfermedades profesionales de los trabajadores, sufridas con motivo o en

ejercicio de la profesión o trabajo que ejecuten”; y “están obligados a observar los preceptos legales sobre higiene y seguridad en las instalaciones de sus establecimientos y adoptar las medidas adecuadas para prevenir accidentes”.

Por otra parte, los Estudios de Riesgo se enmarcan dentro de la Normatividad vigente de la SEMARNAP, a través de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente (LGEEPA) emitida en 1988 y modificada en 1996, donde se establece la necesidad de llevarlos a cabo para aquellos proyectos en que se realicen actividades consideradas como de alto riesgo, de acuerdo con los dos listados de actividades altamente riesgosas, publicados el 28 de marzo de 1990 y el 4 de mayo de 1992, involucrando la responsabilidad social del empresario, para garantizar a la población aquellos mecanismos tendientes a lograr el desarrollo socioeconómico y el de ofrecer ambientes seguros para lograr una vida individual y colectiva segura, cumpliendo con la Normatividad y estableciendo las bases para realizar el Programa de Prevención de Accidentes (PPA), para el manejo de sustancias incluidas en los listados.

11.6 Distribución de competencias y marco jurídico.

La gestión de sustancias peligrosas, involucra a diferentes dependencias del gobierno, además de la SEMARNAT, de acuerdo a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF), que otorga atribuciones a las diferentes dependencias del Gobierno. Corresponde a la SEMARNAT, de acuerdo con el artículo 32, fracción XXIII, XXIV, XXV y XXVI, conducir la política de saneamiento ambiental, establecer normas y criterios ecológicos y ejecutar acciones en situaciones de contingencia y emergencia ambiental.

El cuadro siguiente muestra las atribuciones que esta Ley Orgánica de la Administración Pública Federal otorga a todas las dependencias del Ejecutivo para la gestión y regulación de los materiales riesgosos:

Cuadro 12. Atribuciones de las Secretarías para la gestión y regulación de materiales riesgosos, de acuerdo con la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

Art.	Fracción	Secretaría	Disposiciones
27	XXXII	Gobernación.	Coordinar actividades de prevención y preparación en caso de desastres.
32	XXIII, XXIV, XXV y XXVI	Medio Ambiente, Y Recursos Naturales.	Conducir la política de saneamiento ambiental. Establecer normas y criterios ecológicos. Ejecutar acciones en situaciones de contingencia y emergencia ambiental.
39	I, X, XII, XIII, XVII, XXI	Salud.	Establecer y dirigir la política sanitaria, para preservar la salud humana y proteger la salud de los trabajadores.
40	XI	Trabajo.	Ordenar medidas de seguridad e higiene industrial.

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

En el cuadro 13 se describe la forma en que se distribuyen las competencias y atribuciones de la SEMARNAT en la materia:

Cuadro 13. Competencias de la SEMARNAT (Art. 5 LGEEPA y 32 bis LPAPF).

<ul style="list-style-type: none"> ❖ Fomentar la protección y conservación de ecosistemas y recursos naturales. ❖ Vigilar y estimular el cumplimiento de las leyes, Normas Oficiales Mexicanas y programas de su competencia e imponer las sanciones procedentes. ❖ Fomentar la aplicación de tecnología, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y descargas contaminantes provenientes de cualquier tipo de fuente. ❖ Regular y controlar la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente. ❖ Regular las actividades relacionadas con la exploración, explotación y beneficios de minerales, sustancias y demás recursos del subsuelo. ❖ Regular y controlar las actividades consideradas como altamente riesgosas.
--

A su vez la SEMARNAT se divide en dos organismos, uno encargado de emitir la normatividad en materia ambiental y otro responsable de dar seguimiento y sancionar cuando sea necesario. A continuación se detallan sus atribuciones de

acuerdo con lo establecido en los artículos 54 y 62 del Reglamento Interior de la SEMARNAT (ver cuadro 14).

Cuadro 14. Competencias del INE y la PROFEPA

Instituto Nacional de Ecología.
<ul style="list-style-type: none">❖ Formular, conducir y evaluar la política ambiental y protección del ambiente.❖ Formular y conducir la política en materia de residuos peligrosos y riesgo ambiental.❖ Otorgar permisos, concesiones, autorizaciones, licencias, dictámenes, resoluciones, constancias y registros de su competencia.❖ Elaborar, promover y difundir tecnologías sobre la calidad ambiental de los procesos productivos.
Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.
<ul style="list-style-type: none">❖ Vigilar el cumplimiento de la Ley.❖ Imponer medidas técnicas, de seguridad y sanciones.❖ Emitir resoluciones, recomendaciones y dictámenes técnicos.❖ Realizar auditorías y peritajes ambientales de actividades que constituyen un riesgo para el ambiente y de la explotación, almacenamiento, transporte, producción, transformación, comercialización, uso y disposición de desechos y compuestos.❖ Promover medidas para evitar que residuos, materiales y sustancias tóxicas productos de las plantas de tratamiento contaminen aguas superficiales y el subsuelo.
(Art. 40 y 42, Reglamento Interior, SEMARNAT)

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

El Artículo 40 de la LOAPA establece las atribuciones de la Secretaría del Trabajo (ST).

Cuadro 15. Atribuciones de la ST, relativas con actividades riesgosas.

<ul style="list-style-type: none">❖ Vigilar la observación y aplicación de la Ley Federal del Trabajo y sus reglamentos.❖ Estudiar y ordenar las medidas de seguridad e higiene industrial para la protección de los trabajadores y vigilar su cumplimiento.

El Artículo 21, del Reglamento Interior de la ST establece las atribuciones de los dos organismos en los que se divide la Secretaría.

Cuadro 16. Competencias de la Dirección General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y de la Dirección General de Inspección Federal del Trabajo de la ST, relativas a las actividades riesgosas.

Dirección General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.	Dirección General de Inspección Federal del Trabajo.
<ul style="list-style-type: none"> ❖ Proponer adecuaciones a la regulación sobre seguridad e higiene. ❖ Promover la mejora de las condiciones físicas y ambientales en que se desempeña el trabajo. ❖ Promover la organización, registro y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. ❖ Promover en las empresas el desarrollo de los servicios preventivos de seguridad e higiene; proporcionar asesoría y promover la capacitación de los especialistas y técnicos. ❖ Elaborar, organizar, desarrollar y evaluar programas y campañas de seguridad e higiene en el trabajo, mejoramiento del ambiente laboral y prevención de accidentes en el trabajo a nivel local, regional o nacional. ❖ Realizar investigaciones y estudios para adecuar las tablas de enfermedades del trabajo y adecuar o expedir NOM relativas a agentes físicos o químicos. (Artículo 22, Reglamento Interior de la ST) 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Vigilar el cumplimiento de las normas de trabajo contenidas en la Constitución, tratados, y acuerdos internacionales, la LFT y sus reglamentos, normas oficiales mexicanas (NOM), instructivos, convenios, acuerdos y contratos de trabajo. ❖ Programar, ordenar, y practicar las inspecciones. ❖ Vigilar el funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. ❖ Señalar los plazos en que deben cumplirse las medidas de seguridad e higiene contenidas en las actas de inspección. ❖ Asesorar a trabajadores y patrones sobre la manera más efectiva de cumplir las normas de trabajo.

Fuente: STPS, 1999.

Otros órganos de coordinación (SEMARNAT, INE, 1997), involucrados en la gestión directa o indirecta de sustancias peligrosas, son los siguientes:

- ❖ La Comisión para la Prevención y el Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México, orientada a la

contaminación atmosférica y coordina a los Gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, así como al Instituto Nacional de Ecología.

- ❖ El Consejo de Salubridad General, órgano suprasecretarial que depende del Presidente de la República e interviene en la producción y venta de sustancias tóxicas, así como en la prevención de los efectos nocivos sobre la salud.
- ❖ El grupo nacional coordinador del registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), destinado a integrar dicho registro multimedios, que será esencial para la gestión de sustancias tóxicas de atención prioritaria.

Para el caso particular del Gobierno del Distrito Federal, y a través de su Ley Ambiental, existen diferentes instituciones que participan en la Gestión del Riesgo Ambiental y que tienen sus atribuciones particulares como se indica en el siguiente cuadro.

Cuadro 17. Instituciones que intervienen en la regulación del riesgo ambiental en el D. F.

Dependencia	Acción	Forma de intervención
CENAPRED (SEGOB)	Coordina programas y elabora planes para prevenir desastres (riesgos químicos, incendios y explosiones entre otros).	Indirecta.
Protección Civil (SEGOB)	Ejecuta programas de protección a la población en caso de riesgos potenciales y ocurrencia de accidentes.	Directa.
Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente.	Evalúa y autoriza establecimientos que involucran actividades riesgosas (de "bajo" riesgo).	Directa.
Consejos Ciudadanos. Agrupaciones y Sociedades Civiles.	Tiene participación para resolver asuntos que involucren cualquier tipo de riesgo. Interviene como factor social al opinar respecto a la instalación de empresas o servicios con actividades riesgosas.	Indirecta. Indirecta.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda.	Propone la regulación de los riesgos a través de usos y destinos del suelo.	Directa.
Delegaciones en el Distrito Federal	Aplica de forma local las leyes y reglamentos para la regulación de riesgos en apoyo a las dependencias competentes.	Indirecta.
Empresas Privadas e Instituciones de Investigación y Educativas.	Aportan elementos para el desarrollo tanto de análisis de riesgo como de equipo de control de los mismos.	Indirecta.

CENAPRED = Centro Nacional de Prevención de Desastres.

SEGOB= Secretaría de Gobernación.

11.7 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Dentro de las principales disposiciones que descansan en la LGEEPA, destacan:

- ❖ La formulación de la política ambiental y la expedición de la Normatividad que deberán observar quienes realicen obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, así como lo relacionado con el establecimiento de incentivos a quienes lo protejan (Art. 15).
- ❖ El diseño, desarrollo y aplicación de instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental.
- ❖ El fomento a la auditoría ambiental (Art. 38 bis).
- ❖ La elaboración de normas sobre plaguicidas, fertilizantes y demás materiales peligrosos (corrosivos, reactivos, tóxicos, explosivos e inflamables) (Art. 143).
- ❖ En su Art. 146, establece que la Secretaría correspondiente, determinará y publicará en el Diario Oficial de la Federación los listados de las actividades que deben considerarse altamente riesgosas.
- ❖ En el Art. 147 se especifica que quienes efectúen tales actividades elaborarán, actualizarán y someterán a la aprobación de las Secretarías citadas, los programas para la prevención de accidentes, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.
- ❖ El derecho de disponer de información ambiental (Art. 159 bis).

11.8 Listado de actividades altamente riesgosas.

A nivel internacional y nacional se han constituido diversos listados de sustancias tóxicas para dar cumplimiento a las legislaciones relativas a crear condiciones ambientales seguras y adecuadas para el manejo y eliminación de los productos químicos tóxicos peligrosos. Dichos listados constituyen referencias para determinar que sustancia es necesario considerar en la actividad desarrollada para prevenir cualquier modificación al proyecto o actividad.

Puesto que cada actividad tiene características especiales, existen una gran diversidad de criterios y métodos que se emplean para seleccionar las sustancias que se incluyen en cada listado. En México diversas secretarías han publicado o colaborado en la publicación de los listados de sustancias tóxicas o peligrosas.

Destacan los expedidos en Octubre y Diciembre de 1987, donde la SSA publicó en la Gaceta Sanitaria dos Listas de Sustancias Tóxicas, de acuerdo con el Art. 278, fracción III de la Ley General de Salud.

De igual forma, en la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1994 expedida por la STPS se da a conocer un listado de sustancias consideradas nocivas para la salud de los trabajadores y para las cuales se refieren niveles máximos permisibles de concentración en los centros de trabajo.

Las actividades de alto riesgo de acuerdo con el Grado de Riesgo Sanitario en Materia de Actividades, Servicios, Establecimientos y Locales, publicada en 1987 por la SSA, se clasifican en cinco clases de riesgo e incluyen: Estado físico, Vía de absorción, Grado de toxicidad, Mutagenicidad, Carcinogenicidad, Teratogenicidad, Acumulación Efecto residual, Inflamabilidad, Explosividad, Reactividad y Corrosividad de la sustancia (SEMARNAP, INE. 1994).

11.9 Ley General de Salud.

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el primero de julio de 1984 y reformada el 14 de junio de 1991, reglamenta el derecho a la protección de la salud y establece como materia de salubridad general “la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre”.

La modificación realizada en junio de 1991, señala las atribuciones que tiene la SS en sus artículos 128, 129 y 194.

- ❖ Establecimiento de normas oficiales para el uso y manejo de sustancias, con objeto de reducir los riesgos a la salud del personal expuesto.
- ❖ Determinar los límites máximos permisibles de exposición de un trabajador a contaminantes y coordinar la realización de estudios toxicológicos.
- ❖ Ejercer el control sanitario sobre los establecimientos en los que se desarrollen actividades ocupacionales, conforme a los reglamentos establecidos.

PARTE II

TRABAJO DE CAMPO

1. JUSTIFICACIÓN

El estudio de los riesgos potenciales es de gran importancia, sobre todo cuando se tiene conocimiento de la ocurrencia de grandes eventos que han causado muertes y lesiones, evacuaciones de ciudades enteras y afectaciones desfavorables al ambiente.

La administración o manejo ambientalmente adecuado de los residuos, debe estar orientada a prevenir o reducir sus riesgos. En este contexto, para el presente trabajo se define riesgo ambiental como la probabilidad de que ocurran accidentes mayores que involucren a los materiales peligrosos que se manejan en las actividades altamente riesgosas, que puedan trascender los límites de sus instalaciones y afectar adversamente a la población, los bienes, al ambiente y los ecosistemas. La evaluación de dicho riesgo comprende la determinación de los alcances de los accidentes y la intensidad de los efectos adversos en diferentes radios de afectación.

En este sentido y para poder evaluar un riesgo potencial, se debe realizar un estudio de riesgo, que "es un documento mediante el cual se da a conocer, a partir del análisis de acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividad representan para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución u operación normal de la obra o actividad de que se trate" (LGEEPA, 1997). Peligro se define como la propiedad intrínseca o inherente a los materiales y residuos que les confiere la posibilidad de ocasionar efectos adversos a la salud humana y al ambiente.

Para llevar a cabo la evaluación de los impactos adversos derivados de las formas de manejo de los residuos se requiere, en primer término, definir cuáles son los contaminantes potenciales que pueden causar afectaciones en función de las propiedades que los hacen peligrosos y las condiciones que influyen para convertirse en un riesgo a la salud y al ambiente.

En lo que se refiere a las sustancias químicas que pueden estar contenidas en los residuos o que se pueden generar como resultado de sus formas de manejo, lo que importa es conocer: a) Si poseen características que les confieren la potencialidad de generar explosiones, incendios, corrosión de materiales, efectos tóxicos, deterioro de la calidad del aire, agua y suelo. b) Las concentraciones en las cuales pueden llegar a ocasionar efectos indeseables. c) Las condiciones en las cuales tales efectos pueden producirse. Los receptores que pueden ser vulnerables a sus efectos. e) También se deben de conocer las posibles implicaciones para los suelos, el agua y el aire de la disposición o de los procesos que inciden o a los que se someterá la materia orgánica contenida en los residuos y, en su caso, los efectos adversos que se puedan llegar a producir en la salud humana o en los ecosistemas.

En 1991 trece incendios provocados por los gases provenientes del depósito incontrolado de los desperdicios y la presencia de numerosos damnificados, entre ellos niños que habitan en zonas aledañas a los tiraderos municipales dieron origen en el año de 1992 a la creación del Programa Metropolitano de Gestión de los Residuos Sólidos.

En este sentido, resulta impostergable y necesario impulsar el diseño de procedimientos que permitan la realización de actividades o el manejo de sustancias clasificadas como altamente riesgosas, con una mínima probabilidad de ocasionar daños a la salud o al ambiente y reducir o eliminar las pérdidas económicas cuando se trata de nuevos proyectos. Los estudios de riesgo ambiental son un instrumento de carácter preventivo, vinculados al procedimiento de evaluación del impacto ambiental, cuando se trata de nuevos proyectos.

Sin embargo, el estudio de riesgo se requiere en aquellas actividades que generen, manejen materiales y operen procesos peligrosos, con objeto de identificar el potencial de afectación a la población, a las propiedades y al ambiente, ya sea por su operación normal o en caso de accidentes. Un estudio de riesgo ambiental debe incluir no solamente la identificación de riesgos en las

actividades industriales así como medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas ante contingencia, como pueden ser explosiones, incendios, fugas o derrames; debe incluirse también, el estudio de riesgo en sitios como los de disposición final de residuos sólidos municipales, sitios donde se generan productos como el metano, ácido sulfhídrico, etc. En el marco de la evaluación de los estudios de riesgo, se piden, en los casos que así lo ameritan, la presentación de programas para la prevención de accidentes (SEMARNAP, 1997); ya que el metano está incluido en el segundo listado de sustancias altamente riesgosas, así como el ácido sulfhídrico en el primer listado de sustancias riesgosas.

www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/clasificacionsegundolaar.shtml

Bajo estos conceptos el presente trabajo intenta contribuir al enriquecimiento de esta área de estudio, en la que aún existen muchos aspectos por analizar. Se maneja un marco general de la normatividad, dado que es un aspecto indispensable como herramienta de apoyo en este campo, y los aspectos más relevantes a considerar en los estudios de riesgo asociado a las diferentes etapas de generación de sustancias peligrosas en los sitios de disposición final.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Identificar y evaluar el riesgo potencial que presenta la generación de metano y ácido sulfhídrico en sitios de disposición final de residuos sólidos municipales, utilizando como herramientas el análisis de riesgo, en función del conocimiento y estimación de las consecuencias de los riesgos ambientales asociados a su generación.

2.2 Objetivos particulares

- I. Definir los aspectos más importantes a considerar para un estudio de riesgo ambiental en sitios de disposición final de residuos sólidos.
- II. Desarrollar técnicas apropiadas de análisis de riesgo sobre todo el conjunto de actividades que involucren la generación de metano y ácido sulfhídrico.
- III. Determinar las técnicas más adecuadas para evaluar el riesgo por formación de metano y ácido sulfhídrico, a fin de minimizar o eliminar los riesgos presentes.
- IV. Estimar los efectos potenciales de los riesgos ambientales y conocer los radios de afectación por los puntos riesgosos identificados.
- V. Emitir sugerencias con base en los resultados obtenidos en el análisis de la normatividad vigente en aspectos técnicos que resulten del presente trabajo.

3. METODOLOGÍA

Para desarrollar los objetivos propuestos y por la particularidad de los sitios clausurados de disposición final de residuos sólidos municipales; empleamos como primera herramienta el análisis espacial, a través de las imágenes de satélite Landsat ETM Landsat MSS, posteriormente se realizó una combinación de bandas, seleccionando las combinaciones (1, 3 y 5) y (4, 5 y 7), se eligieron estas combinaciones con base a las características del material y su capacidad para diferenciar puntos de calor y diversas combinaciones de suelo.

Para desarrollar la valoración del riesgo ambiental, usamos la lista de verificación (Check – list), a través de un formato de evaluación (Ver cuadro 18); en dicho formato están los elementos del ambiente que pueden verse afectados por las sustancias generadas, producto de la descomposición de los residuos sólidos.

Cuadro. 18. Parámetros para evaluar el riesgo ambiental en un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales.

Elemento	Si	No	Observaciones
a) Condiciones del área de disposición final			
Volumen conocido de residuos depositados			
Composición conocida de residuos			
Sistemas de captación de lixiviados			
Sistemas de conducción de biogás			
b) Afectación social			
Áreas habitadas en inmediata cercanía			
Zona densamente poblada			
Población vulnerable			
Exposición temporal			
Exposición permanente			
c) Vulnerabilidad de los recursos naturales			
Área de recarga de acuíferos			
Actividades agrícola y hortícola en inmediata cercanía			

Elevada permeabilidad del suelo			
Existencia de fallas geológicas			
Cuerpos de agua superficiales cercanos			
Erosión hídrica y eólica elevada			
Contaminación visible			
Efluentes de lixiviados			
Daños a la vegetación			
Decoloración del suelo			
Emisión de olores inusuales			
Dstrucción visible de vida acuática			
d) Magnitud de la afectación			
Área extensa (>1 Ha) contaminada			
Puntos de contaminación muy intensa			
Registros de contaminación por investigaciones anteriores			

Como segunda herramienta para evaluar el riesgo ambiental usaremos el método ¿que pasa sí?, ¿what if?. Para su desarrollo es necesario contar con datos precisos para la descripción del entorno ambiental que permitan definir:

1. ¿Qué pasa sí, el suelo tiene un contenido de arenas superior al 30%?
2. ¿Qué pasa sí, el manto freático se encuentra a menos de 50 m de profundidad?
3. ¿Qué pasa sí, existen escorrentías permanentes, intermitentes o es una zona de inundación?
4. ¿Qué pasa sí, existen fracturas o fallas geológicas en el sitio de disposición de residuos municipales?
5. ¿Qué pasa sí, la cantidad de lluvia es superior a los 500 mm/año?
6. ¿Qué pasa sí, las temperaturas extremas son -2° y 32°C ?

Como tercera herramienta, usaremos el modelo de simulación de riesgo: Recursos Instrumentales para la evaluación Sistematizada de Grandes Riesgos (RIESGO), para ello necesitamos previamente describir lo siguiente:

1. Riesgos identificados

-
2. Probabilidad de ocurrencia de incendios
 3. Registro de la cantidad de gases tóxicos (metano, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, entre otros)
 4. Niveles de explosividad
 5. Densidad de la población expuesta

Para cada tipo de gas tóxico (metano) formado en estos sitios de disposición final se requiere la siguiente información:

1. Número de identificación
2. Propiedades físicas y termodinámicas
3. Propiedades químicas
4. Niveles de toxicidad
5. Almacenamiento
6. Formación de nubes tóxicas
7. Riesgos de fuego y explosión
8. Riesgos a la salud
9. Como manejar las fugas o derrames
10. Disposición final de desechos

En estos sitios la ocurrencia de incendios por presencia de metano es frecuente, por lo que se propone realizar su modelación. En ella evaluaremos la magnitud del riesgo (valores de criticidad y frecuencia); calcularemos la radiación térmica emitida por un incendio a partir de la fuga de biogás, para definir una zonificación o los radios de afectación, que indiquen las áreas en las cuales no es conveniente el tránsito de personas, por el daño que pueden sufrir en caso de presentarse un incendio o emanaciones furtivas de gases tóxicos. Así mismo, evaluaremos los efectos del flujo térmico (intensidad y efecto observado) en las diferentes áreas afectadas.

Con la información anterior, se obtendrá una matriz de riesgo que nos dará el nivel de criticidad, frecuencia, nivel de riesgo y las acciones generales que deben ser consideradas para disminuir o reclasificar las condiciones de riesgo identificadas en un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Empleando el formato de evaluación del riesgo ambiental en un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales, clausurado hace 20 años obtuvimos lo siguiente:

Cuadro 19. Resultados de la evaluación del riesgo ambiental en un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales.

Elemento	Si	No	Observaciones y resultados
a) Condiciones del área			
Volumen de residuos depositados conocido	X		Se realizó una estimación de acuerdo al plano topográfico y las mediciones de altitudes realizadas en campo, así como los datos aportados por la perforación 7 de pozos de sondeo con profundidades entre 15 y 25 m
Composición de residuos conocida		X	Se realizó una estimación de acuerdo a lo reportado por la bibliografía y la separación física de muestras obtenidas en los pozos de sondeo
Sistemas para captación de lixiviados		X	Se inició la construcción de un sistema de captación durante el cierre del tiradero, sin embargo al ser posterior a la disposición de los residuos y no existir una normatividad aplicable para estas actividades durante la etapa de funcionamiento, no se concluyó el sistema, por tanto no existe
Sistemas para conducción de biogás	X		Se construyeron pozos de venteo y monitoreo, de los cuales en la actualidad se identifican solamente dos, algunos fueron destruidos por los visitantes del parque y otros están inhabilitados por falta de mantenimiento
b) Afectación social			
Áreas habitadas en cercanía inmediata.	X		La distancia máxima del límite del predio con la zona urbana de uso habitacional es de 50 m aproximadamente y de 8 m como mínimo
Zona densamente poblada	X		Alrededor de la zona se encuentran colonias densamente pobladas
Población vulnerable	X		Debido a que se trata de una zona habitacional donde una de las actividades aún es la pepena la población infantil y de adultos mayores es alta

Exposición temporal	X		Las personas que acuden a practicar ejercicio tienen una exposición temporal, pueden desarrollar una reacción aguda a los contaminantes, considerando adicional a la existencia de gases por la descomposición de residuos, existe un incremento en el consumo de oxígeno al aumentar el metabolismo. Durante el ejercicio aumenta la susceptibilidad a los contaminantes
Exposición permanente	X		Las personas que habitan en los alrededores del sitio tienen una exposición permanente y pueden desarrollar una reacción crónica
c) Vulnerabilidad de los recursos naturales			
Área de recarga de acuíferos		X	No esta considerada área de recarga
Actividades agrícola y hortícola en inmediata cercanía		X	No se realizan estas actividades
Elevada permeabilidad del suelo		X	No hay suelo, existe un sustrato conformado por material acarreado de diferente origen
Existencia de fallas geológicas	X		De acuerdo al mapa de riesgos geológicos es una zona vulnerable
Cuerpos de agua superficiales cercanos		X	Es importante mencionar que el área formaba parte de un lago, una vez desecado, se mantuvo como una zona de inundación que fue rellenada con los residuos sólidos de diferente origen
Erosión hídrica y eólica elevada		X	Existe evidencia de erosión de ambos tipos debido a la deficiente fijación del sustrato por la vegetación. Se observa un desarrollo muy deficiente por la pobreza en la calidad del terreno debido a que se colocó una cubierta de tepetate haciendo la función de geomembrana protegiendo a los residuos
Contaminación visible	X		En una superficie considerable del sitio, están aflorando residuos de tipo biológico-infecciosos e hidrocarburos
Efluentes de lixiviados	X		En zona Este del sitio, se observa un escurrimiento de aguas negras con la coloración, consistencia y olor característicos de los lixiviados, por lo cual se presume que es un punto de fuga o desfogue superficial

Daños a la vegetación	X		La vegetación se observa con un desarrollo muy pobre, un número considerable de organismos muertos, todos los eucaliptos y casuarinas se encuentran plagados con fuste delgado y fronda escasa
Decoloración del suelo	X		Debemos aclarar que no se trata de un suelo como tal, y los procesos de erosión en algunas áreas han desgastado el sustrato, dejando al descubierto la capa de tepetate y residuos
Emisión de olores inusuales	X		Existen zonas en las cuales se perciben olores permanentes y persistentes de gases, producto de la descomposición de los residuos sólidos
Destrucción visible de vida acuática		X	No se desarrolla esta actividad
d) Magnitud de la afectación			
Área extensa (>1 Ha) contaminada	X		Se reporta que la superficie total del sitio es de 150 hectáreas
Puntos de contaminación muy intensa	X		Se considera que la generación de gases y lixiviados es muy alta; se han concentrando los contaminantes en algunos espacios en el cuerpo constituido por los residuos depositados sobre el lecho lacustre y cubiertos por un sustrato
Registros de contaminación por investigaciones anteriores		X	Los estudios anteriores han reportado que la actividad máxima de generación de biogás ha concluido y que por tanto no existen riesgos de ocurrencia de eventos adversos. Lo cual no concuerda con los datos obtenidos durante el presente estudio y por los monitoreos realizados

Descrito el entorno ambiental, como segunda herramienta complementaria para definir dicho entorno, empleamos el método, ¿que pasa sí?, ¿what if? Obtuvimos los siguientes resultados:

¿Qué pasa sí, el suelo tiene un contenido de arenas superior al 30%?

Con esa característica el suelo sería muy permeable permitiendo el paso de biogás a la superficie de manera constante generando problemas por malos olores que generarían un problema social muy fuerte y un mayor riesgo de acumulación de gases tóxicos y combustibles, sobre todo en la época fría del

año; por otro lado, también sería posible una mayor infiltración de agua lo que aumentaría la cantidad de lixiviados generados, dando origen a un escurrimiento mayor de los mismos fuera del área de disposición final.

De acuerdo a las observaciones y mediciones realizadas en campo, tenemos que la cubierta esta constituida por una capa de tepetate compactado sobre los residuos y una capa de suelo orgánico sobre ella, la cual constituye el soporte de la vegetación, tiene un espesor promedio de 1.5 m, y una permeabilidad superficial muy baja.

¿Qué pasa sí, el manto freático se encuentra a menos de 50 m de profundidad?

Durante los trabajos de campo identificamos mantos colgados entre los 4 - 8 metros, lo cual favorece la acumulación de agua que migra de manera laminar en el subsuelo, siguiendo un patrón de drenaje que corresponde al existente desde la época de los lagos. Lo anterior es de suma importancia pues debe asumirse que se ha formado un acuitardo artificial como resultado del relleno del lecho del lago, aumentando el volumen de lixiviados y la probabilidad de que puedan desplazarse contaminando pozos de agua y suelo.

¿Qué pasa sí, existen escorrentías permanentes, intermitentes o es una zona de inundación?

El área en estudio se encuentra en una zona lacustre que fue rellena con residuos sólidos durante 55 años, lo cual, como se ha mencionado genera un aumento en el volumen de lixiviados, contribuyendo a la contaminación de suelo y agua subterráneos.

¿Qué pasa sí, existen fracturas o fallas geológicas en el sitio de disposición de residuos municipales?

De acuerdo al plano geológico de INEGI y las descripciones bibliográficas consultadas podemos decir que existen rasgos morfológicos como fracturas o fallas geológicas bajo el área de estudio, en áreas cercanas existen diferentes familias de fallas magnificando el riesgo de contaminar el acuífero por la migración de lixiviados a través de las mismas.

¿Qué pasa sí, la cantidad de lluvia es superior a los 500 mm/año?

En la zona la precipitación media anual es de 657.3 mm (promedio del periodo de 1926 a 2000, INEGI), resultando en un aporte de importante de agua al suelo, sin embargo al no existir una infiltración debido a lo compacto del terreno, se tiene una erosión hídrica importante, aunado al terreno irregular con pendientes que varía de cero a seis grados en algunos puntos. La cubierta presenta dos condiciones, una zona con alta compactación y otra, donde algunas zonas no están compactada de manera continua en la superficie; por tanto consideramos que en ella la infiltración es mayor, aumentando la cantidad de lixiviados acumulados. Sin embargo, con base en los trabajos de campo se observó que la acumulación de agua se encuentra entre los 4 y 8 metros. El aporte no es pluvial ya que la infiltración es de 40 mm durante 10 minutos.

¿Qué pasa sí, las temperaturas extremas son -2° y 32°C ?

Considerando que la actividad microbiana se incrementa con la temperatura y dado que en la zona se reporta una temperatura promedio de 15.7°C (promedio del periodo 1927 a 2000, INEGI) se esperaría que la degradación de la materia orgánica se hubiera llevado a cabo en un 70% al menos. Sin embargo, en campo se observó que algunos materiales se encuentran casi intactos, es posible encontrar papel y restos de material vegetal en perfecto estado. En consecuencia la generación de biogás lejos de estar en su etapa final se encuentra en lo que se conoce como etapa estable.

Descripción de los riesgos identificados

Con la información bibliográfica y de campo descrita podemos definir que en el sitio, los riesgos ambientales encontrados son:

Incendio

Los procesos de descomposición de los residuos sólidos generan biogás que puede causar incendios e implosiones, al tener como componente al metano, considerando que su composición típica tiene entre 60 y 80% de metano. Los niveles de explosividad son de 7 a 29% en volumen de biogás en contacto con el aire. Adicionalmente considerando que arriba del 5% en volumen de metano se está dentro del rango de riesgo de incendio y con base en los reportes de mediciones realizadas en la zona desde 1996 a la fecha proporcionados por la Dirección General de Servicios Urbanos, se registró el 80% de explosividad en casi todos los sitios monitoreados.

Generación de gases tóxicos

La densidad y composición del biogás son factores muy importantes para seguridad, considerando que la densidad del aire es de 1.293 g/L y que con un contenido de 35% de CO₂ la densidad del biogás llega a 1.09 g/L, este es más ligero que el aire y puede diluirse en él fácilmente. Si la proporción de CO₂ se rebasa en 46% el biogás es más denso que el aire. Sabiendo su límite de peligrosidad puede ser asfixiante cuando su acumulación causa que el oxígeno del aire baje a 17.3%, o positivamente sofocante si baja hasta 13%.

Con base en las observaciones en campo y los reportes obtenidos de la Dirección Técnica de Servicios Urbanos, se considera que, debido a las condiciones climáticas en la zona, es posible una presencia de biogás suficiente en algunas zonas para generar problemas de salud graves en la población expuesta.

Registros de biogás

Se obtuvieron algunos registros de concentración de biogás en el área de estudio, entre los cuales solo se tienen tres pozos con un seguimiento continuo de 1999 a 2004 (sitio 1, 2 y 3). Se graficaron para determinar el comportamiento del proceso de descomposición, el cual según la literatura se encontraba en su etapa final de producción de biogás (metano, ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, entre otros). Tomando como referencia el metano, por ser el componente que le confiere las características de flamabilidad, se considera que es el evento adverso más probable. En las gráficas se observa que la emisión no disminuye, incluso en algunos casos aumenta, es necesario mencionar que debido a la variación aleatoria de los datos, no se consideran confiables, sin embargo, si proporcionan evidencia de que a 20 años de su clausura, el sitio no se encuentra en una etapa final el proceso de descomposición de los residuos sólidos.

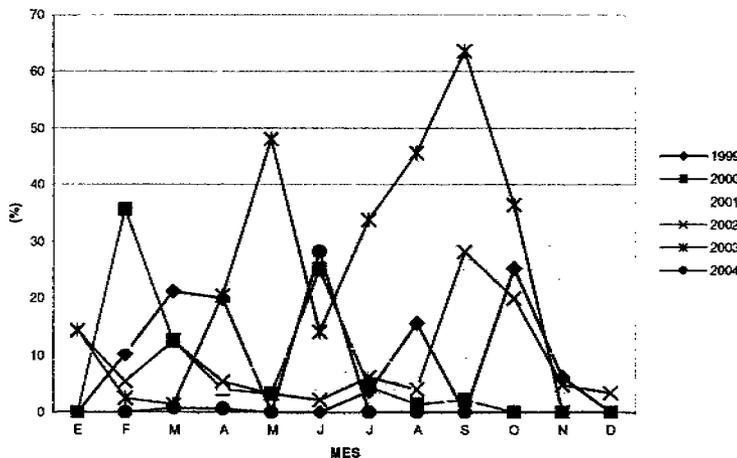


Figura 3. Registro de metano del pozo de venteo 1

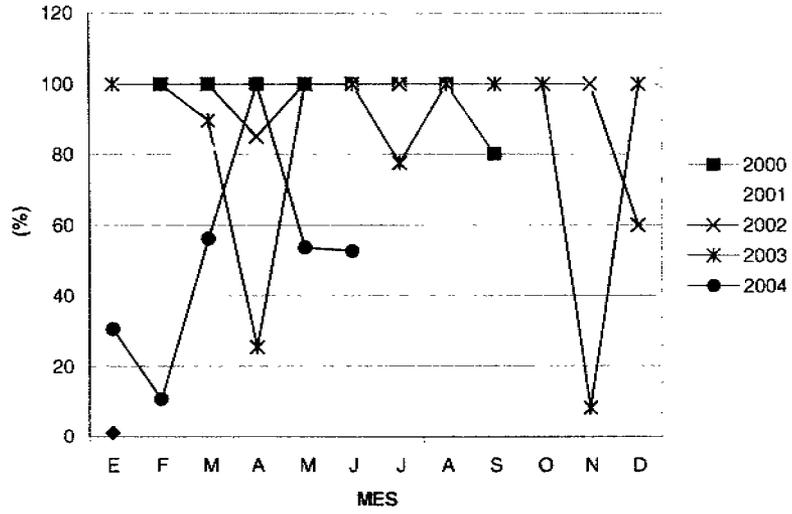


Figura 4. Registro de explosividad del pozo de venteo 1

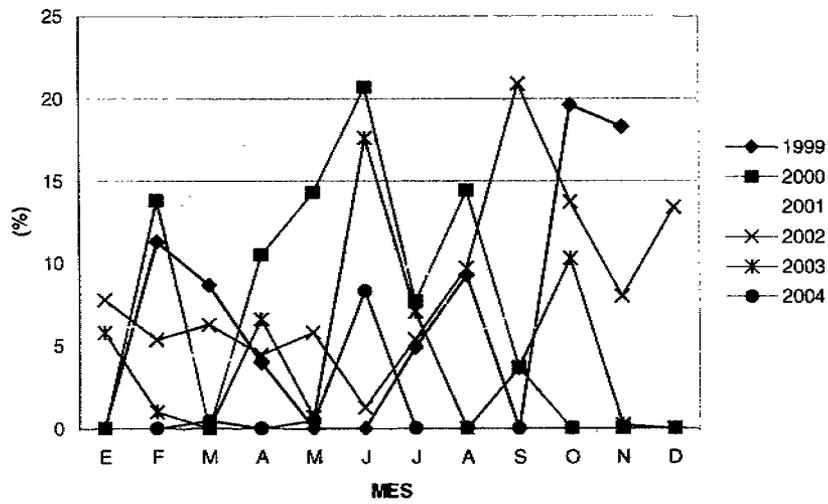


Figura 5. Registro de metano del pozo de venteo 2

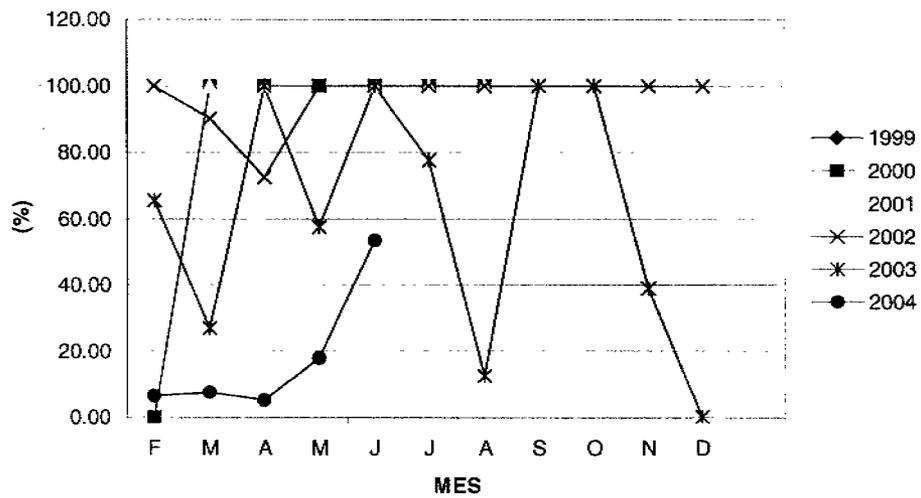


Figura 6. Registro de explosividad del pozo de venteo 2

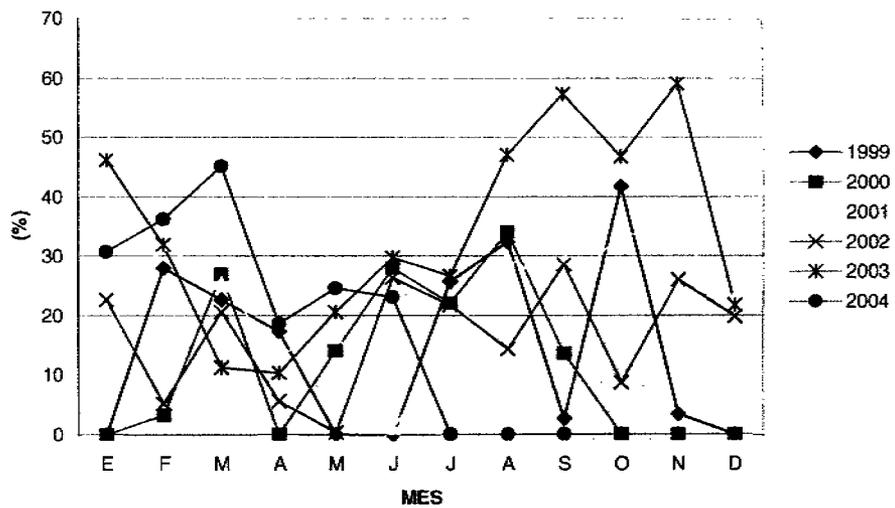


Figura 7. Registro de metano del pozo de venteo 3

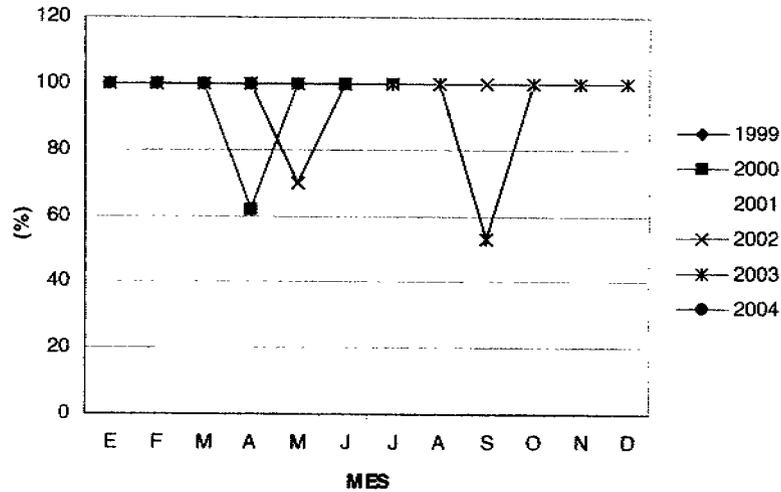


Figura 8. Registro de explosividad del pozo de venteo 3

Evaluación de los riesgos identificados

Como tercera herramienta, usamos el modelo de simulación de riesgo: Recursos Instrumentales para la Evaluación Sistematizada de Grandes Riesgos (RIESGO). Dicho modelo nos permitió estimar cuantitativamente las afectaciones ocasionadas en caso de presentarse un evento adverso, a continuación presentamos los resultados después de aplicar el procedimiento general de análisis.

Se seleccionó y se desplegó el modelo específico para el cálculo deseado, a continuación se presentan los resultados para cada caso. Debe aclararse que consideramos las condiciones críticas determinadas con base en los registros bibliográficos y las observaciones en campo.

Generación de ácido sulfhídrico en un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales

Nubes tóxicas

Para realizar la modelación y evaluación en la formación de nubes tóxicas se consideran únicamente gases o vapores que sean más ligeros que el aire, los cuales constituyen la inmensa mayoría de los potenciales formadores de nubes tóxicas.

Consideramos 5 m como la altura máxima, ya que es la altura en la cual se puede encontrar una concentración de riesgo del ácido sulfhídrico, tomando en cuenta V, la densidad del vapor de este compuesto que es de 1.189 y su presión de vapor que es de 1780 a 20°C.

El diámetro de la nube se calculó con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{22.19 W}{hMv}$$

Donde:

D = diámetro de la nube (ft)

h = altura de la nube (ft)

M = peso molecular

v = fracción de la nube representada por vapor o gas.

Si la nube entera se encuentra en la concentración explosiva media, calculada por:

$$v = \frac{LEL (\%) + VEL (\%)}{2 \times 100 (\%)}$$

Realizando un cálculo del diámetro de la nube inicialmente y posteriormente empleando este dato para el cálculo de la concentración, lo anterior con la finalidad de obtener un gráfico en donde sea posible tener la variable distancia contra concentración.

$$C(x, 0,0,0) = \frac{Q}{\pi SySzU}$$

Donde:

Variable	Descripción.	Unidades
C(x,0,0,0)	Concentración de la sustancia peligrosa x m debajo de la fuga.	g/m ³
Q	Gasto de la fuga.	m ³ /seg
Pi	Constante =3.1415926	
U	Velocidad media del viento	m/seg
Sy	Coefficiente de dispersión en la dirección y	m
Sz	Coefficiente de dispersión en la dirección z	m

Consideramos al ácido sulfhídrico como uno de los componentes más peligrosos del biogás, debido a su alta toxicidad y los efectos adversos a la salud que una exposición prolongada a este gas puede generar. Realizamos la modelación de nubes tóxicas con base en este compuesto, que es considerado tan tóxico como el HCN, sin embargo, su olor tan desagradable permite que sea percibido a muy bajas concentraciones (0.002 mg/L).

Empleado la ecuación descrita anteriormente realizamos los cálculos considerando que si la concentración de H₂S es de 0.6 % es fatal en menos de media hora.

Con base en las lecturas de H₂S hechas en campo durante las perforaciones en donde se reportaron valores menores a 5%, dato que consideramos como

base para los cálculos. Para calcular la concentración en el punto cero se ocupa un factor de conversión del equipo empleado en las mediciones donde 1% equivale a 10,000 mg L⁻¹. Adicionalmente se considera la emanación de 3 pozos que se perforaron muy cercanos dentro de una zona con altas concentraciones de biogás de acuerdo a las observaciones hechas en campo. Por tanto se tienen 15% al sumar la producción de los tres pozos, para evitar problemas en la alimentación del modelo con el compuesto medido, por tanto consideramos el valor en por ciento y obtuvimos los siguientes resultados:

Distancia.	Concentración (mg L ⁻¹)
0	15.0
5	4.11
10	2.05
15	1.36
20	1.03
25	0.82
30	0.68
35	0.59
40	0.51
45	0.46
50	0.41
55	0.37
60	0.34

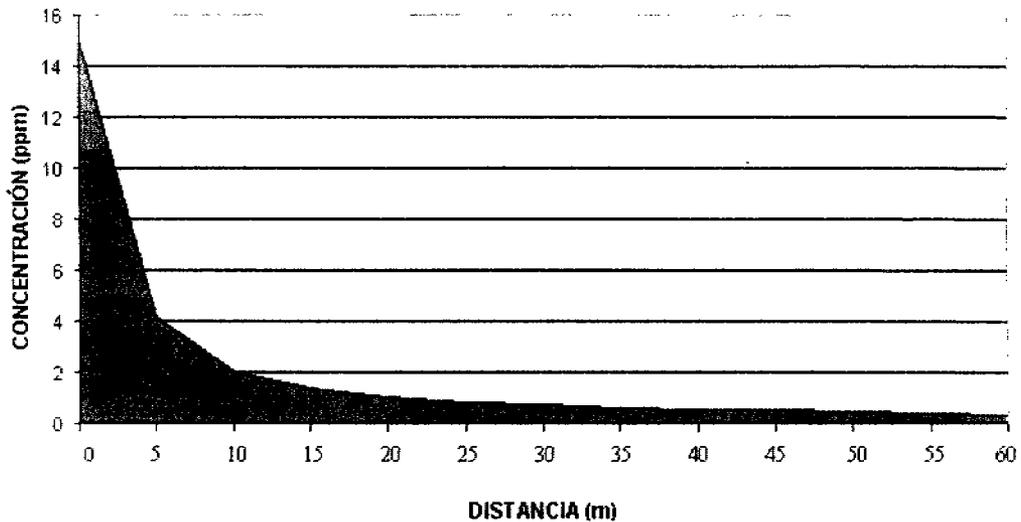


Figura 9. Distancia que alcanza una emanación furtiva de ácido sulfhídrico

En la figura 9, observamos que la disminución en la concentración del contaminante es muy rápida, lo cual es razonable, siendo que es una fuga en una zona despejada, con vientos de 4 m/seg en promedio, aun cuando a los 60 m de distancia aun puede percibirse su olor.

Generación de metano en un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales

Nubes tóxicas

Empleamos el modelo "Riesgo". A continuación presentamos los resultados obtenidos:

En las figuras 10 y 11 se presentan los resultados de la modelación para los radios de afectación de incendios, generados por emisiones de biogás en un sitio de disposición de residuos a 20 años de su clausura.

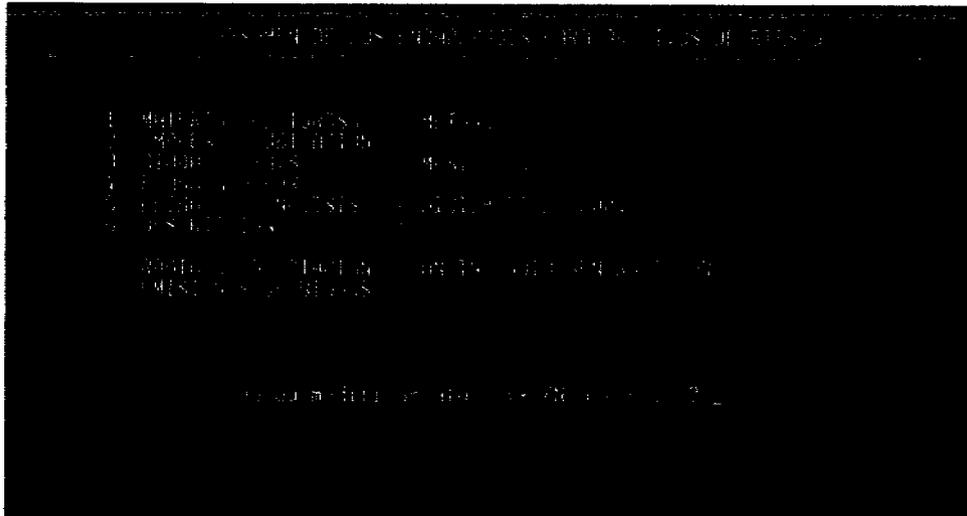


Figura 10. Pantalla inicial para realizar los cálculos del radio de afectación de un incendio generado por biogás.

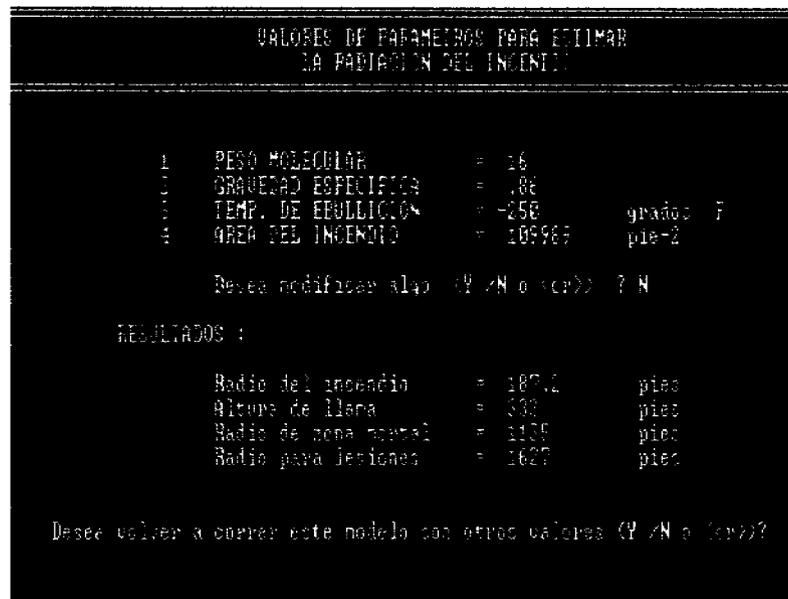


Figura 11. Valores de los parámetros para estimar la radiación del incendio.

Los resultados presentados a continuación corresponden en orden decreciente a superficies de afectación de 60, 50, 40, 30 y 10 metros del punto de fuga.

Con los valores anteriores, el programa reporta que debido a las propiedades de la sustancia, no hay un área representativa de afectación, por tanto se considera la presencia de biogás está evolucionando diferencialmente, ya que en cualquier área del sitio, la migración principal es de manera horizontal.

Todas las emanaciones serán furtivas, puntuales y de concentraciones desconocidas, excepto si se habilitan pozos para el control de las emanaciones.

Incendio

Modelación de incendio

Con esta modelación calculamos la radiación térmica emitida por un incendio a partir de la fuga de una sustancia riesgosa, nos es útil para definir una zonificación o radios de afectación, que indique las áreas en las cuales no es conveniente el tránsito de personas por el daño que pueden sufrir en caso de presentarse un incendio. Los efectos del flujo térmico en las diferentes áreas se describen en el cuadro 20.

Cuadro 20. Efectos del flujo térmico en instalaciones y población expuesta

Intensidad (kw/m²)	Efecto observado
12.5	Energía mínima para incendiar la madera con fuente de ignición directa, para las personas el daño es inmediato si se encuentran en un radio con este valor de intensidad
9.5	Daño a personas con una exposición hasta 8 segundos, produciendo quemaduras de primer orden. Quemaduras de segundo orden con exposición de 20 segundos
4.0	Si no se protege a la persona, es posible que aparezcan quemaduras de segundo orden con exposición de 20 a 30 segundos
1.6	No se presentan molestias con exposición por tiempo indefinido

Como resultado de la estimación del riesgo, en la figura 12 se muestran los radios de afectación, haciendo énfasis en el radio de zona mortal dentro del cual, las pérdidas humanas son totales.

Adicionalmente a esta información es necesario considerar la densidad de población que está expuesta, para lo cual se consideraron los aforos de la población que acude usualmente al sitio (ver cuadro 21).

Cuadro 21. Densidad de población y aforo al sitio.

Horas am/pm	Sitio 1						Sitio 2			
	Sábados			Domingos			Sábados		Domingos	
	Acceso Oriente	Acceso Sur	Acumulado al día	Acceso oriente	Acceso sur	Acumulado al día	Registro	Acumulado al día	Registro	Acumulado al día
7-8	14	28	42	16	32	48	385	385	1260	1260
8-9	28	94	164	30	42	120	458	843	1400	2660
9-10	84	68	316	49	123	292	592	1435	1320	3980
10-11	75	52	443	102	109	503	210	1645	1106	5086
11-12	59	75	577	125	137	765	315	1960	420	5506
12-13	69	40	686	185	231	1181	320	2280	385	5891
13-14	55	70	811	319	438	1938	417	2697	312	6203
14-15	72	21	904	327	353	2618	68	2765	223	6426
15-16	67	49	1020	304	811	3733	42	2807	170	6596
16-17							16	2823	85	6681

Evaluación de la magnitud del riesgo

Para calcular la magnitud del riesgo consideramos lo siguiente:

Los datos de explosividad medidos durante los trabajos de campo reportan 100 % en 5 de 7 sitios monitoreados, lo que indica una concentración alta de metano, considerando que la composición del biogás tiene entre 60 y 80 % de metano y el metano en mezclas de 6 a 25 % de biogás mezclado con aire es inflamable.

De acuerdo al cuadro 21, si los sábados se tiene un aforo promedio de visitantes de 1020 y 2823. Análogamente los domingos lo visitan 3733 y 6596 personas, que tienen la libertad de desplazamiento por todo el sitio, por tanto se debe considerar un total aproximado de 3843 personas expuestas en caso de un evento adverso en fin de semana.

Mientras realizábamos el trabajo de campo observamos frecuentes incendios en diferentes zonas, en un periodo de octubre de 2004 a enero de 2005,

contabilizamos dos incendios por semana, siendo este dato una frecuencia muy alta de un evento adverso.

Con la información anterior realizamos un análisis empleando una matriz para la cual establecimos valores de criticidad y frecuencia, que se describen a continuación:

Valores de criticidad

I	Catastrófico	Muertos dentro o fuera del sitio
II	Alto	Una lesión grave
III	Moderado	Una lesión simple
IV	Leve	Sin lesiones

Valores de frecuencia

Clasificación	Frecuencia
A	Ocorre al menos una vez por año
B	Ocorre entre 1 y 10 años
C	Ocorre entre 10 y 100 años
D	Ocorre entre 100 y 10,000 años
E	Ocorre al menos una vez por 100,00 años

Reunimos los valores de criticidad y de frecuencia asignados y obtuvimos una matriz de riesgo, que tiene la siguiente configuración:

		FRECUCENCIA					
		→					
CRITICIDAD		A	B	C	D	E	
	I						
	II						
	III						
	IV						

Finalmente para definir el nivel de riesgo, así como las posibles acciones generales que deben ser consideradas para disminuir o reclasificar las condiciones de riesgo identificadas en el sitio estudiado, hacemos las siguientes consideraciones:

Cuadro 22. Clasificación, descripción y acciones recomendadas:

Clasificación	Descripción	Medidas de mitigación
1	Inaceptable	Puede ser mitigado para una clasificación hasta tres o menos en un periodo de tiempo específico de 6 meses
2	Indeseable	Puede ser mitigado para una clasificación hasta 3 o menos en un periodo de tiempo específico de 12 meses
3	Aceptable con control	Puede mitigarse mediante procedimientos simples en el área
4	Aceptable	No requiere de acción de mitigación

Respecto a la criticidad y frecuencia de las situaciones expuestas anteriormente, clasificamos el evento de incendio como inaceptable debido a la cantidad de personas expuestas y a la frecuencia de ellos, aun cuando hasta el

momento no se tenga información sobre un evento máximo la probabilidad de ocurrencia es alta y el costo social en consecuencia también será alto.

Para correr el modelo de simulación de riesgo Recursos Instrumentales para la Evaluación Sistematizada de Grandes Riesgos (RIESGO), empleamos datos obtenidos mediante monitoreo periódico realizado en la zona por personal de la Dirección Técnica de Servicios Urbanos, quienes proporcionaron la información incluida en los siguientes cuadros, cabe mencionar que los datos empleados para la simulación corresponden al año 2003 que son los más completos y que reportan los mayores porcentajes de metano, de tal manera que es posible representar los eventos máximos que se pueden presentar con base en esos datos, para lo cual se tomó el valor más alto de cada pozo del año indicado.

Cuadro 23. Registros de monitoreo de metano en el pozo de venteo 1

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
E	NR	NR	9.9	14.3	14.5	NR
F	10.30	35.7	12.2	5.5	2.5	NR
M	21.30	12.6	0.6	12.6	1.4	0.8
A	20.00	4	4.5	5.5	20.5	0.6
M	0.00	3.2	10.1	3.3	48.1	NR
J	0.00	25.1	9	2.2	14.2	28.2
J	3.80	4.5	12.3	6.2	33.8	NR
A	15.70	1.4	4.7	4	45.6	NR
S	0.00	2.1	0	28.3	63.5 22.5	NR
O	25.30	NR	9.3	20	36.4	NR
N	6.20	NR	10.7	4.8	NR	NR
D	NR	NR	15.9	3.4	0	NR

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
E	NR	NR	5.9	7.8	5.8	0
F	11.30	13.8	6.4	5.4	1	NR
M	8.70	0	3.5	6.3	0	0.5
A	3.98	10.5	5.1	4.5	6.6	NR
M	0.00	14.3	6.8	5.8	0.7	0.5
J	0.00	20.7	5.6	1.3	1.3	8.3
J	4.90	7.7	10.6	5.4	7.1	NR
A	9.30	14.40	5.5	9.7	NR	NR
S	0.00	3.70	7.1	20.9	3.7	NR
O	19.60	NR	3.8	13.7	10.3	NR
N	18.30	NR	10.3	8	0.2	NR
D	NR	NR	5.3	13.4	NR	NR

	1999	2000	2001	2002	2003	2004
E	NR	NR	16.7	22.7	46.1	30.8
F	28.00	3.2	32	5.2	31.9	36.2
M	22.60	26.9	25.5	20.5	11.2	45.1
A	17.3	0	13.5	5.6	10.3	18.6
M	0.00	14	17	0.3	20.5	24.6
J	0.00	28	1	26.3	29.8	23.1
J	25.80	22.1	16	21.7	26.7	NR
A	32.40	34.00	29.7	14.4	47	NR
S	2.70	13.60	23.9	28.6	57.2	NR
O	41.80	NR	33.9	8.7	46.7	NR
N	3.40	NR	33.2	26.1	26.1 = 9.1	NR
D	NR	NR	23.1	19.9	21.8	NR

Al correr el modelo para calcular el área de afectación en caso de incendio tomamos como base una superficie de 10,000 m²

Si ubicamos los riesgos identificados podemos decir que el sitio presenta áreas con poca cantidad de agua, lo que explica la emisión constante de biogás, ya que no existe una matriz en la cual se pueda diluir parte de los gases generados, por lo tanto los puntos de calor generados en estas zonas incrementan el riesgo de emanaciones furtivas.

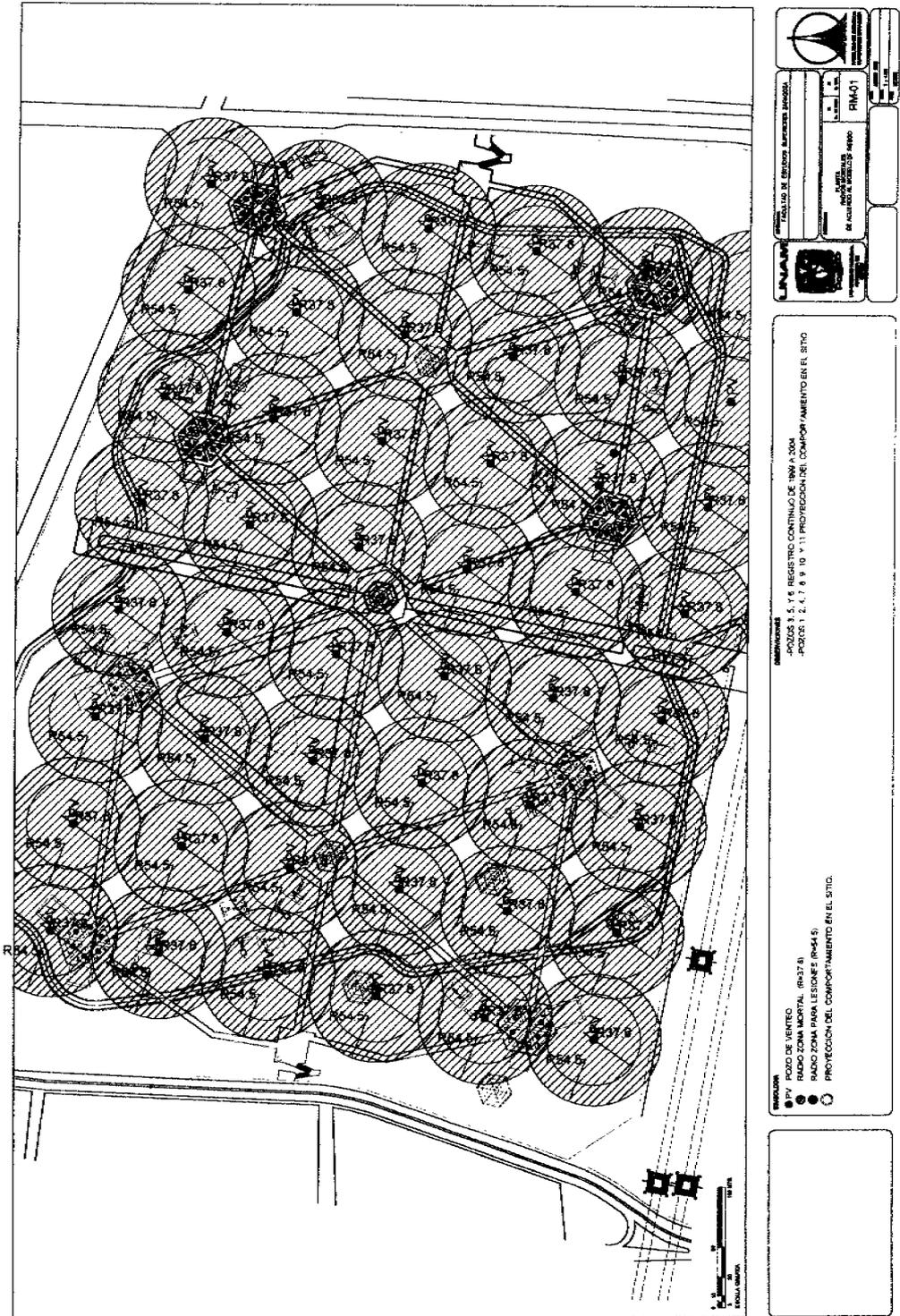
Se identifican como riesgos principales la contaminación de lecho lacustre y acuífero al existir una acumulación de agua que aumenta el volumen de lixiviados, adicionalmente se tiene un aumento en el peso por unidad de área, lo cual puede ocasionar fallas en algunos puntos del talud que funciona como contención de los residuos, en algunos casos llegan a estar hasta 24 m por encima del nivel del lecho lacustre, si por alguna razón se aumenta la carga sobre el terreno será aún más probable la ocurrencia de fuga de lixiviados que pudieran afectar a las comunidades aledañas.

Tenemos áreas en las que el riesgo principal es la ocurrencia de incendios en la temporada seca por emisiones de biogás, al no contar con una mezcla húmeda o agua del suelo que permita su parcial retención, adicionalmente a esto, la falta de una cubierta compacta que apoye esa retención y finalmente las condiciones climáticas favorables a estos eventos como son, las bajas temperaturas que mantengan los gases a nivel de piso y un patrón de vientos muy estático que no favorece su dispersión pero si proporciona el oxígeno suficiente para que se lleve a cabo la combustión.

Como complemento de lo anterior se debe considerar el hecho de que independientemente de que el radio de afectación máximo que puede generar un incendio dentro de estas áreas, abarcaría 54.5 m alrededor de cada zona, causando lesiones a las personas y los bienes ubicados dentro de esa área. El caso más crítico se encuentra en un área de 37.81 m de radio alrededor de cada zona y se considera dentro del "radio de zona mortal" (ver figura 12).

En condiciones hipotéticas, si el monitoreo se realizara cada 100 m. El sitio se inundaría con una nube tóxica por emisión de metano (ver figura 13).

Figura 13. Nube tóxica en sitio de disposición final.



En el caso de nubes tóxicas considerando al metano como sustancia riesgosa el modelo no aporta un dato de zonificación debido a que es necesaria una estabilidad ambiental optima, sin vientos que diluyan el metano, así como una concentración del mismo que según los resultados obtenidos no será suficiente para provocar afectaciones.

Lamentablemente no ha sido posible contar con suficiente información sobre la presencia de ácido sulfhídrico, lo cual es importante al saber que el 0.6 % en volumen de este gas puede ser letal en un periodo de exposición de media hora.

Se realizó una modelación con datos de campo sobre nubes tóxicas y obtuvimos afectaciones puntuales las cuales tuvieron un radio de 5 m de zona mortal y 8 como zona de afectación, lo cual correspondió a las emisiones furtivas en áreas donde por ruptura o adelgazamiento de la cubierta superficial de la geomembrana o material de relleno, se tiene una emisión puntual de biogás.

El área de afectación comprende un radio de 54.5 m. alrededor de cada zona, y finalmente el área de influencia se considera 1 Km alrededor del sitio, considerando que la emisión de contaminación y efectos inmediatos en su caso se limitará a las comunidades aledañas. Sin embargo, los efectos en atmósfera subsuelo, aguas subterráneas y población que acude al sitio pueden extenderse a varios kilómetros.

Recomendaciones para realizar la evaluación de daños a la salud

1. La evaluación de la exposición debe ser realizada por expertos conformando un grupo multidisciplinario con la experiencia adecuada.
2. Es necesario usar métodos de comunicación asequible y transparente durante todas las etapas de la investigación.
3. La evaluación de la exposición debe realizarse en cinco pasos:
 - a. Con toda la información disponible en ese momento, realizar una *caracterización del sitio*, mediante la descripción de su naturaleza

-
- y de sus alrededores. También se debe describir el uso actual del suelo, revisar los contaminantes potenciales e identificar las rutas de migración o transporte hasta el punto de liberación.
- b. Realizar una *caracterización de receptores*, mediante la descripción de la población de los alrededores en riesgo de exposición.
 - c. Identificar las vías de *exposición completas* que crean una ruta de exposición para los seres humanos.
 - d. Mediante los datos disponibles o la realización de muestreos, determinar las *concentraciones de contaminantes* en los compartimientos ambientales con que los seres humanos están en contacto directo, como suelo, aire en interiores y exteriores, alimentos y el agua dentro de los límites del sitio o en el punto de exposición.
 - e. Realizar una *evaluación de exposición* mediante datos sobre concentraciones, mecanismos de ingestión y cuantificación de la población en riesgo.
4. Debe usarse un enfoque de dos etapas para recopilar información sobre la exposición y sobre el sitio:
 - a. Uso de datos de fuentes fácilmente asequibles.
 - b. Mediciones adicionales en aire, agua, suelo y alimentos.
 5. Si en la zona de estudio se ha llevado a cabo un cambio en el uso del suelo, se debe analizar cuidadosamente la evaluación de riesgos.
 6. Debe tenerse cuidado al realizar una investigación en el sitio para evitar una mayor contaminación del medio.
-

-
7. Para asegurar que el sitio no se use de manera inadecuada, la administración local debe archivar los documentos que indican el uso del suelo del sitio de disposición de residuos junto con los documentos relacionados con la propiedad de la tierra.
 8. Se deben usar métodos normalizados de evaluación y análisis para facilitar la comparación con otros sitios.
 9. Solo se deben tomar en cuenta las investigaciones epidemiológicas si estas han establecido claramente rutas de exposición completas.
 10. Podría considerarse el uso de vigilancias a la salud, evaluaciones de riesgos e impacto en la salud como alternativas para una investigación epidemiológica.
 11. Debe elegirse un resultado de salud adecuado después de considerar el perfil toxicológico de las sustancias en cuestión.
 12. El diseño de un estudio epidemiológico debe reflejar el propósito principal del estudio.
 13. Al elegir un diseño apropiado para un estudio epidemiológico, se deben tomar en cuenta los niveles y tiempos de exposición, el periodo de latencia, la estructura demográfica (inclusive los grupos potencialmente vulnerables) y la calidad de los datos sobre exposición, así como los factores de confusión.
 14. Si se considera el uso del monitoreo biológico, deben seleccionarse cuidadosamente los marcadores biológicos de exposición y efecto de manera que se detecte la exposición así como signos tempranos de trastornos en la salud.

Consideraciones a los instrumentos legales en materia ambiental

Después de haber realizado el análisis consideramos lo siguiente:

1. La Delegación correspondiente tiene la función de tomar las medidas de seguridad para controlar riesgos a la población.
2. La autoridad delegacional debería informar a la Dirección General de Protección Civil correspondiente sobre efectos ambientales adversos,

por la responsabilidad que tiene para intervenir ante la imposibilidad material o insuficiencia de la Delegación para atender el asunto.

3. De ser necesario, el Jefe de Gobierno tiene la posibilidad jurídica de declarar zona de riesgo el sitio y tomar las previsiones para evitar riesgos a la población, así como para controlar la situación de riesgo.
4. Aparentemente no existe la posibilidad jurídica de responsabilizar a particulares sobre las circunstancias que se presentan en terrenos involucrados en la disposición final de residuos sólidos municipales.
5. Es posible determinar las faltas o delitos en que podrían incurrir los servidores públicos, cuando omitan las conductas que les prescriben las Leyes de Protección Civil.

5. CONCLUSIONES

1. Posterior a la clausura de un sitio de disposición final de residuos sólidos municipales, debe haber pasado una etapa de estabilización de al menos 10 años.
2. El período post clausura abarca como mínimo 35 años.
3. La vocación de los sitios de disposición final deben dirigirse principalmente al saneamiento ambiental.
4. De acuerdo a las evaluaciones en campo podemos decir que el sitio de disposición final estudiado, se encuentra en la etapa anaerobia con producción acumulativa de metano.
5. Se realizaron una serie de adaptaciones a las técnicas de identificación de riesgos y se combinaron con algunos métodos de identificación de impactos para lograr resultados confiables en los cuales podamos fundamentar la existencia de riesgos como resultado de las acciones y situación actual del sitio.
6. De acuerdo al trabajo de campo, se observó que los residuos se encuentran casi intactos. En consecuencia la generación de biogás se encuentra lejos de estar en su etapa final, a 23 años de su clausura.
7. Con base en la información de campo y bibliográfica se puede decir, en primera instancia que los riesgos ambientales inmediatos que se pueden presentar, son los incendios.
8. Los niveles de explosividad son de 7-9 % en volumen de biogás en contacto con el aire, todos los pozos perforados presentaron 100 % de explosividad.

-
9. Se empleó el modelo "RIESGO" y se alimentó con datos obtenidos en campo.
 10. Las concentraciones de ácido sulfhídrico encontradas en campo, indican que el manto lacustre está impactado.
 11. Existen sitios con baja capacidad de campo, lo que explica la emisión constante de biogás, ya que no existe una matriz en la cual se pueda diluir. Por lo tanto los puntos de calor generados incrementan el riesgo de emanaciones furtivas.
 12. En los meses más fríos hay un patrón de vientos estático que hace que los gases tienden a permanecer a nivel de piso y no favorece su dispersión, pero si proporciona el oxígeno suficiente para que se presente un incendio.
 13. De acuerdo los modelos de simulación de riesgos, el radio de afectación máximo en caso de incendio abarcaría 54.5 m alrededor de cada zona, causando lesiones a las personas y los bienes.
 14. El caso más crítico se encuentra en un área de 37.81 metros de radio alrededor de cada zona y se considera como el "radio de zona mortal".
 15. En el caso de nubes tóxicas, considerando al metano como sustancia riesgosa, el modelo no aporta un dato de zonificación debido a que es necesaria una estabilidad ambiental óptima, sin vientos que diluyan al metano.
 16. Para este tipo de sitios es necesario analizar los aspectos de Legislación Ambiental y revisar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley Ambiental Estatal, Legislación Federal en Materia de Protección Civil y Legislación Estatal en Materia de Protección Civil.

17. Es función de las autoridades federales o municipales o estatales tomar las medidas de seguridad que permitan controlar las situaciones de riesgos a la población.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Agency for toxic substances and disease. 1992. Public health assessment guidance manual. Chelsea: Lewis Publishers. USA.
2. Arvizu, F., J. L. Martínez, L. 1997. Impacto de los rellenos sanitarios con la emisión de gases tóxicos a la atmósfera. IIE/01/14/10820/I-04/P, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos. México.
3. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. 1998. Secretaría de Gobernación., México.
4. Deffis, C. A. 1989. La Basura es la Solución. CONCEPTO, S.A. México.
5. Diario Oficial de la Federación, 1994. NOM-010-STPS-1994, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el ambiente laboral. México.
6. Environmental Protection Agency. 1997. Air Emissions from Scrap Tire Combustion; Office of Air Planning and Standards and US-Mexico Border Information Center on Air Pollution. USA.
7. Environmental Protection Agency. 1984. Evaluación y manejo de riesgos. Sistema para la toma de decisiones. Documento No. 00073-85-002. USA.
8. http://www.geocities.com/camp_pro_amb/Basura.htm. Octubre 14 de 2004.
9. <http://www.gtz.org.mx/segem/gtz.segem.manualclausura>. Noviembre 7 de 2004.
10. <http://www.iie.org.mx/boltec/dea>. Octubre 14 de 2004.

-
11. http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/133/implicaciones.html?id_pub=133. Octubre 17 de 2004.
 12. http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/345/marco.html?id_public=345. Noviembre 7 de 2004.
 13. <http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4DefSueCont.htm>. Noviembre 7 de 2004.
 14. <http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4Introd.htm>. Octubre 14 de 2004.
 15. INE, SEDESOL, 1994. Evaluación y manejo de accidentes ambientales. Convenio de cooperación técnica México-Canadá. México.
 16. INE, SEDESOL, 1994. Regulación y gestión de productos químicos en México, enmarcados en el contexto internacional. Secretaria de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología.
 17. Johnson, B. L. 1999. Impact of hazardous waste on human health. Nueva York: CRC Press Inc. USA.
 18. Johnson, B. 1999. Impact of hazardous waste on human health. Nueva York: CRC Press Inc. USA.
 19. Ley Ambiental del Distrito Federal, ordenamiento vigente. 2000. Gaceta Oficial del Distrito Federal, G.D.F. México.
 20. Diario Oficial de la Federación. DOF 2004. Ley General de Protección Civil. México.
 21. Diario Oficial de la Federación. DOF-28-06-2005. Ley General de Salud.

-
22. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU). 1982. Gestión de Residuos Sólidos. Madrid, España.
 23. National Research Council. 1991. Environmental epidemiology. Vol. 1: Public health and hazardous wastes. Washington, D. C. National Academy Press. USA.
 24. OMS. Oficina Regional para Europa. 1998. Health effects from landfills. Impact of the latest research: report on a WHO meeting. Copenhagen: (E62017).
 25. Organización Internacional del Trabajo, 1992. Prevención de accidentes industriales mayores. Organización Internacional el Trabajo. Ginebra, Suiza.
 26. PNUMA-OIT-OMS. 1990. Control de riesgos de accidentes mayores. Oficina Internacional del Trabajo. Ginebra.
 27. Report to Congress 1993, 1994, 1995. (1995). Atlanta: Agency for Toxic Substances and Disease. USA.
 28. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. 1988. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). México.
 29. Secretaría de Salud, 1991. Ley General de Salud, decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley General de Salud. México.
 30. SEMARNAP-INE. 1997 Programa para la minimización y manejo integral de residuos industriales peligrosos en México. 1996-2000. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México.
 31. SEMARNAP, 1997. Programa de gestión ambiental de sustancias tóxicas de atención prioritaria. Instituto Nacional del Ecología. México.

32. SINAPROC-CENAPRED, 1993. Sistema de base de datos de accidentes químicos ocurridos en la República Mexicana. Reporte de eventos ocurridos de junio de 1990 a diciembre de 1993. México.