



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

“LA INCINERACION COMO ALTERNATIVA PARA LA DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN CAMPO 1”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO EN LA LICENCIATURA DE QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO PRESENTA: VICTOR MANUEL XICHTENCATL AHUACTZI

Asesores de Tesis:
Q. F. B. Ma. Virginia Oliva Arellano
Q. B. P. Ma. Elena Mondragón Esquível
M. en C. Margarito Coronado Maldonado

Cautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

Octubre 2002

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

UNIVERSIDAD DE  
 FACULTAD DE  
 ESTUDIOS SUPERIORES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"La incineración como alternativa para la disposición final de residuos peligrosos generados en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1"

que presenta el pasante: Víctor Manuel Xicohtēncatl Ahuactzi  
 con número de cuenta: 8754038-5 para obtener el título de :  
Químico Farmacéutico Biólogo

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE  
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 31 de agosto de 1 2001.

|                  |  |  |
|------------------|--|--|
| PRESIDENTE       | <u>Q.F.I. Leticia Zúñiga Ramírez</u>       |  |
| VOCAL            | <u>Q.F.B. Martha P. Zúñiga Cruz</u>        |  |
| SECRETARIO       | <u>Q.F.B. Virginia Oliva Arellano</u>      |  |
| PRIMER SUPLENTE  | <u>Q.F.B. Gabriela Escalante Reynoso</u>   |  |
| SEGUNDO SUPLENTE | <u>M. enC. Norma L. Delgado Buenrostro</u> |  |

Alcanzar una meta es un momento que aguardamos con ansia y para el cual nos preparamos con especial tesón.

A veces, puede ocurrir que el esfuerzo para lograrla sea tan grande que lleguemos a perderla de vista. Quizás se deba a que nuestro espíritu busca, inconscientemente, detenerse en los múltiples recodos de ese largo camino que presenta escollos pero también refugios donde compartir con otros las experiencias vividas al calor de la camaradería.

Otras veces, la realidad nos vuelve rebeldes y ensayamos senderos alternativos para olvidar el peso casi insoportable de esa meta que alguna vez nos planteamos.

Pero toda esta red inextricable de caminos que vamos dejando detrás es nuestra peregrinación, es nuestra historia, pequeña e íntima, mas lo suficientemente importante para convertirse en aquello que, cuando alcanzamos por fin la tan ansiada meta, la felicidad de llegar nos obnuble por un instante, para luego desvanecerse en el alud de vivencias previas.

Los años en el camino, los peregrinos que unieron sus pasos a los nuestros durante un tramo o por toda la peregrinación, los sinsabores y las alegrías inesperadas.

Las noches de desvelo, las jornadas interminables.

Los deseos de salirnos del sendero y huir a campo traviesa.

Los momentos de ensueño en el que nos pareció estar tan cerca... cuando estábamos tan lejos.

Y la llegada al fin, el santuario del deber cumplido, poblado de todos aquellos recuerdos que lo vuelven único... y que está más allá del alcance de lo aquí presentado, esbozándose apenas entre las líneas que discurren ante los ojos del lector.

**Susana Raquel Morcelle del Valle**  
**La Plata, Argentina**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## AGRADECIMIENTOS



Señor ayúdame a encontrar la fortaleza del viejo roble para que ninguna fuerza me envanezca, la alegría de la naturaleza para que ninguna soledad me abata, la libertad del ave para elegir mi camino, y la voluntad del expedicionario, para seguir siempre adelante y servir.

(ORACIÓN DEL EXPEDICIONARIO)

Más que un agradecimiento, esto es un mensaje de admiración, para Don Nacho y Doña Guille, quienes han demostrado que nada es imposible, si se quiere obtener. Gracias por sus muchos sacrificios, por la sabia combinación de amor, libertad, dignidad, libertad, control, paciencia, confianza y comprensión. Este triunfo es nuestro, han sido unos grandes ejemplares y si nuestro anhelo y alcanza nuevas metas, es por ustedes y para ustedes. Ahora que tenemos motivos para celebrar... ¿Quién lo merece más que ustedes? ¡Ojalá AGRADECAMOS! Don Nacho y Doña Guille, ¡gracias! por ser siempre un refugio y una solución.

A mi madre, que es esencial a Meche, por ser lo que siempre ha sido (M.M.), a Paz, Guillermo y Joaquín, que han sido un apoyo y ejemplo, se que no ha sido fácil servirte con dignidad, pero gracias por toda su ayuda y paciencia. ¡Ojalá AGRADECAMOS! a los compañeros Tiny Toons.

### PATY:

Paty, que estando tan cerca, estás tan lejos.

Si al estar tan de cerca, lo que significa llegar a la otra orilla de tanto tiempo de iniciado el camino y estar tan cerca de la meta, eres tan lejos, sabes que te han ayudado en mi vida y que tu compañía, durante el tiempo que te he dado, han hecho que la vida sea un camino. ¡Ojalá AGRADECAMOS! Recuerda siempre.

*No te pases  
en la rutina  
no te dejes vencer  
no te des ese gusto a cambio  
no dejes que te vean llorar  
cuando pierdes en humillarte  
como entre la hierba  
y este mundo este mal, lo saben  
lo sabemos todos  
Y ellos no lo van a cambiar.*

### SUSANA:

Susana, que estando tan lejos, estás tan cerca

¡Ojalá AGRADECAMOS! ¡Ojalá AGRADECAMOS!

Gracias por tu apoyo y tu fabulosa amistad, esta amistad siempre voy a amar, con la fabulosa vista del mundo que me has dado, que me ha enseñado y que me ha ayudado, en que me ha enseñado, en que me ha enseñado, en que me ha enseñado.

¡Ojalá AGRADECAMOS! ¡Ojalá AGRADECAMOS!

A mi abuelita, Kika, Kika, Vane, Vero y Oscar.

Gracias por su apoyo, ustedes me enseñaron a servir, me enseñaron muy difícil, me enseñaron y me enseñaron, me enseñaron a servir, me enseñaron a servir, me enseñaron a servir, me enseñaron a servir, me enseñaron a servir.

A mi familia, la familia de la FES-C

¡Ojalá AGRADECAMOS! ¡Ojalá AGRADECAMOS!

A los profesores de FES-C

¡Ojalá AGRADECAMOS! ¡Ojalá AGRADECAMOS!

un agradecimiento especial a la M. En C. Elizabeth Feriz, quien inició este proyecto. Suerte y no se desanime...

A mis asesores de tesis y sindicales, por sus observaciones pertinentes que han servido para mejorar este trabajo

A todos aquellos trabajadores de la F.E.S.-C. que con su trabajo, logran que esos muchachos revoltosos, lleguen a ser profesionistas

A todas aquellas personas que, a lo largo de tanto tiempo me apoyaron con su comprensión, su apoyo económico y moral.

A ti, lector de esta tesis, con mis deseos de que pueda serle útil en tu trabajo o en tu estudio.

## HOY ES UN BUEN DÍA

En esta tierra he visto mil primavera luz  
He visto y veo luz, tierra firme y vasto cielo  
Todo mi entorno está cubierto en el amor  
Que nos hicieron los que fueron hace tiempo

Y hoy hace un buen día para hablar de los que están aquí  
trabajando a diario el bienestar de todos aquí que venidos  
como primavera la aureola al sol de diario  
como sabemos que nuestro será igual  
porque así se ha venido haciendo con los años  
que transcurran y se van

En esta tierra donde puedo caminar  
hago la diferencia que la ponga a mis pasos  
siempre habré bebido para venirse a retortar  
por ser lo más que se ofrece como regalo  
me día un lugar donde al volver con gusto se debe  
así mi paso está en mi tierra y eso y esto es su relación  
una conexión como todos los que se han hecho  
tan solo que con esta diferencia haber mencionado  
de toda el bien que me hizo hacer de este pueblo  
y que me parte el corazón

Y hablar de México siempre me hablan al pecho  
Y si miramos hacia atrás de donde fuimos a empezar  
y encontramos los antiguos que formaron un lugar  
pero no basta de ser marcheranos y aprendidos a darle  
grandes fueron los viajeros que cruzaron por aquí

En esta tierra conocer la dignidad  
del que trabaja para ver crecer los suyos  
del que se esfuerza a superar su condición,  
aun a pesar de cruzar tiempos de incertidumbre  
y hoy hace un buen día para hablar de los que están aquí  
trabajando a diario el bienestar de todos aquí que venidos  
de la situación que se llega al sembrar  
que hasta esta tierra trahí un día primavera  
y no hace falta repetir como los quehacer  
si lo ha dicho todo ya

Y hablar de amor es hacer cuando se es sincero  
Y si ellos miran hacia atrás de lo que les taught enseñar  
y nos hablan a nosotros que formamos un lugar  
que no basta de ser marcheranos y del que podrán darle  
grandes fueron los viajeros que cruzaron  
grandes fueron los viajeros que cruzaron  
en verdad que fueron grandes los viajeros que cruzaron por  
aquí

Terminada la tesis

## **INDICE**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INDICE</b>  | <b>1</b>  |
| <b>INDICE DE TABLAS</b>  | <b>2</b>  |
| <b>INDICE DE FIGURAS</b>   | <b>3</b>  |
| <b>OBJETIVOS</b>   | <b>4</b>  |
| <b>RESUMEN</b>   | <b>5</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>6</b>  |
| <b>ANTECEDENTES</b>  | <b>7</b>  |
| <b>CAPITULO 1 DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS</b>  | <b>15</b> |
| 1.1 DEFINICIÓN.  | 15        |
| 1.2 CARACTERIZACIÓN  | 16        |
| 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS  | 17        |
| <b>CAPITULO 2 EL MANEJO ACTUAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS</b>  | <b>20</b> |
| 2.1 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE  | 20        |
| 2.2 ACTIVIDADES Y EMPRESAS DEDICADAS AL CONTROL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS   | 20        |
| 2.3 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS   | 22        |
| 2.4 PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS  | 22        |
| <b>CAPITULO 3 REGULACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS</b>  | <b>24</b> |
| 3.1 DESARROLLO REGULATORIO E INSTITUCIONAL   | 24        |
| 3.2 INSTITUCIONES RESPONSABLES   | 24        |
| 3.3 MARCO REGULATORIO  | 25        |
| 3.4 INSPECCIÓN Y VIGILANCIA Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD  | 27        |
| 3.5 INSTRUMENTOS DE CONTROL  | 28        |
| 3.6 COMPARACIÓN DE LAS LEGISLACIONES ESTADOUNIDENSE Y ALEMANA EN MATERIA DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS.                | 28        |
| <b>CAPITULO 4 ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS DESDE UNA ÓPTICA SANITARIO AMBIENTAL</b>             | <b>31</b> |
| 4.1 LA ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS   | 31        |
| 4.2 REPERCUSIONES AMBIENTALES  | 33        |
| 4.3 EFECTOS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS SOBRE EL ORGANISMO HUMANO   | 35        |
| 4.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPUESTAS DE TRATAMIENTO DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE RESIDUOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS | 40        |
| 4.5 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS PELIGROSOS  | 41        |
| <b>CAPITULO 5 EL PROCESO DE INCINERACIÓN</b>   | <b>45</b> |
| 5.1 LA INCINERACIÓN  | 45        |
| 5.2 CONTAMINANTES DEBIDOS AL PROCESO DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS   | 46        |
| 5.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO QUE REPRESENTA EL USO DE INCINERADORES   | 60        |
| 5.4 ELIMINACIÓN DE RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS  | 62        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.5 CLASIFICACIÓN DE INCINERADORES   | 64        |
| 5.6 TECNOLOGÍAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA.   | 69        |
| 5.7 ESTADO EN QUE FUNCIONAN ALGUNOS INCINERADORES EXISTENTES   | 71        |
| 5.8 INCINERACIÓN DE RESIDUOS COMO FUENTE DE ENERGÍA  | 71        |
| <b>CAPITULO 6 CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACION DE UN EQUIPO INCINERADOR DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LA FES CUAUTITLÁN</b> | <b>72</b> |
| 6.1 NATURALEZA DEL PROYECTO:   | 72        |
| 6.2 REQUISITOS QUE DEBERÁ CUMPLIR EL INCINERADOR PROPUESTO.  | 72        |
| 6.3 PROGRAMA DE TRABAJO.   | 72        |
| 6.4 UBICACIÓN FÍSICA DEL PROYECTO.   | 74        |
| 6.5 POBLACIÓN BENEFICIADA  | 75        |
| 6.6 SUPERFICIE REQUERIDA.  | 76        |
| 6.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.   | 76        |
| 6.8 RESIDUOS QUE SERÁN GENERADOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROYECTO Y DESTINO FINAL DE LOS MISMOS.                      | 79        |
| 6.9 EVALUACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.  | 79        |
| 6.10 MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y CONTROL DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS                                 | 84        |
| <b>CAPITULO 7 CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS</b>   | <b>87</b> |
| 7.1 Sugerencias  | 87        |
| 7.2 Conclusiones   | 88        |
| <b>ANEXO NOM-087-ECOL-1995</b>   | <b>90</b> |
| <b>GLOSARIO</b>  | <b>94</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>  | <b>97</b> |

### **INDICE DE TABLAS**

|   |    |
|---|----|
| TABLA 1. RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS GENERADOS EN ALGUNAS ASIGNATURAS DE LA CARRERA DE Q.F.B.                          | 9  |
| TABLA 2. RESIDUOS GENERADOS EN ALGUNAS ASIGNATURAS DE LA CARRERA DE Q.F.B.  | 9  |
| TABLA 3. DESECHOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS GENERADOS EN ALGUNAS ASIGNATURAS DE LA CARRERA DE Q.F.B                           | 10 |
| TABLA 4. TIPOS DE DESECHOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS GENERADOS EN UN DÍA EN LA ASIGNATURA DE ANÁLISIS QUÍMICO CLÍNICOS        | 10 |
| TABLA 5. TIPOS DE DESECHOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS GENERADOS EN UN DÍA EN LA ASIGNATURA DE FARMACOLOGÍA                     | 11 |
| TABLA 6. TIPOS DE DESECHOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS GENERADOS EN UN DÍA EN LA ASIGNATURA DE MICROBIOLOGÍA                    | 11 |
| TABLA 7. ASIGNATURAS QUE PRODUCEN RESIDUOS PELIGROSOS SUSCEPTIBLES DE SER INCINERADOS                                     | 12 |
| TABLA 8. OTROS GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS SUSCEPTIBLES DE SER INCINERADOS   | 13 |
| TABLA 1.1 EJEMPLOS DE RESIDUOS PELIGROSOS CORROSIVOS, REACTIVOS, EXPLOSIVOS, TÓXICOS, INFLAMABLES Y BIOLÓGICO INFECCIOSOS | 17 |
| TABLA 1.2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ACUERDO A SU CONTENIDO DE HUMEDAD  | 18 |
| TABLA 1.3 CATEGORÍAS DE DESECHOS QUE HAY QUE CONTROLAR  | 19 |



|   |    |
|---|----|
| TABLA 1.4 CATEGORÍAS DE DESECHOS QUE REQUIEREN UNA CONSIDERACIÓN ESPECIAL   | 19 |
| TABLA 2.1 INFRAESTRUCTURA INSTALADA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS   | 21 |
| TABLA 2.2 INVERSIONES REALIZADAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS  | 21 |
| TABLA 2.3 COMPARATIVO DE COSTOS ACTUALES DE MANEJO DE RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS  | 21 |
| TABLA 3.1 NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS  | 26 |
| TABLA 3.2 PROCEDIMIENTO QUE DEBE CUMPLIR UNA EMPRESA PARA OBTENER LA AUTORIZACIÓN DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN PARA OTORGAR SERVICIO DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS | 27 |
| TABLA 3.3 NORMAS DE EMISIÓN PARA INCINERADORES EN ESTADOS UNIDOS Y ALEMANIA 1990  | 29 |
| TABLA 4.1 LISTA DE CARACTERÍSTICAS PELIGROSAS   | 32 |
| TABLA 4.2 OPERACIONES DE ELIMINACIÓN  | 33 |
| TABLA 4.3 OPERACIONES QUE PUEDEN CONDUCIR A LA RECUPERACIÓN DE RECURSOS, EL RECICLADO, LA REGENERACIÓN, LA REUTILIZACIÓN DIRECTA Y OTROS USOS                       | 33 |
| TABLA 4.4 TRATAMIENTO PROPUESTO PARA ALGUNOS FÁRMACOS Y MEDICAMENTOS  | 41 |
| TABLA 4.5. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA RESIDUOS PELIGROSOS   | 43 |
| TABLA 5.1 VALORES RECOMENDADOS PARA LOS INCINERADORES DE RESIDUOS INFECCIOSOS   | 47 |
| TABLA 5.2 EQUIVALENCIAS TÓXICAS ENTRE ALGUNOS COMPUESTOS NATURALES Y ARTIFICIALES   | 51 |
| TABLA 5.3 DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS PRODUCTO DE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS   | 56 |
| TABLA 5.4 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN INCINERADORES DE BASURA   | 57 |
| TABLA 5.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DATOS DE LA COMBUSTIÓN DE LOS RESIDUOS PATOLÓGICOS ANÁLISIS FINAL  | 59 |
| TABLA 5.6 COMPARACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE LOS INCINERADORES DE CÁMARA ÚNICA Y CÁMARAS MÚLTIPLES.   | 67 |
| TABLA 6.1 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA   | 78 |

### **INDICE DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| FIG. 1. CUESTIONARIO  | 8  |
| FIG. 3.1 CICLO DE VIDA DE LOS RESIDUOS  | 25 |
| FIG. 4.1 MEDIOS DE DISPERSIÓN Y VÍAS DE TRANSFERENCIA DE LOS CONTAMINANTES AMBIENTALES        | 34 |
| FIG. 5.1 ESQUEMA DE UN INCINERADOR TÍPICO. PRODUCTOS Y RESIDUOS PRODUCIDOS                    | 46 |
| FIG. 5.2 ESTRUCTURA QUÍMICA DE FURANOS Y DIOXINAS   | 49 |
| FIG. 5.3 EJEMPLOS DE FURANOS Y DIOXINAS   | 50 |
| FIG. 5.4 CICLO FOTOLÍTICO DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO  | 59 |
| FIG. 5.5 INCINERADOR INDUSTRIAL DE RESIDUOS   | 65 |
| FIG. 5.6 INCINERADOR DE DOS CÁMARAS TIPO  | 66 |
| FIG. 5.7 INCINERADOR DE RESIDUOS  | 68 |
| FIG. 6.1 SÍMBOLO UNIVERSAL DE RIESGO BIOLÓGICO.   | 73 |
| FIG. 6.2 UBICACIÓN DE LAS UNIDADES ACADÉMICAS DE LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTTLÁN | 74 |
| FIG. 6.3 CROQUIS DE UBICACIÓN DE CAMPO 1  | 75 |

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Determinar las características y requisitos del método de Incineración para la disposición final de los residuos peligrosos (Biológico-Infeciosos) y su posible aplicación en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1.

### **OBJETIVOS PARTICULARES:**

- Conocer las características generales del proceso de incineración, así como los requisitos que deben cumplir los residuos a incinerar.
- Conocer las características de los residuos considerados peligrosos, con énfasis en los biológico-infeciosos.
- Conocer el marco legal que rige la instalación de equipos de incineración de residuos peligrosos.
- Conocer las normas y requisitos necesarios para la instalación de un equipo incinerador en la FES-Cuautitlán Campo 1.
- Conocer y evaluar las características de los residuos susceptibles de ser incinerados generados por las actividades normales de la FES- Cuautitlán Campo 1.
- Conocer los beneficios y consecuencias adversas que acarrearía el funcionamiento de un equipo de incineración en la FES-Cuautitlán Campo 1.
- Conocer las características de los equipos de incineración de residuos existentes en el mercado mexicano así como el uso actual de equipos instalados en instituciones educativas similares a la FES Cuautitlán Campo 1.
- En base una evaluación de la información recabada, establecer la conveniencia y factibilidad de la instalación del proceso de incineración para los residuos peligrosos (biológico-infeciosos.) generados por la UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1.

## **RESUMEN**

En el desarrollo de sus actividades académicas, la Facultad De Estudios Superiores Cuautitlán genera desperdicios y residuos considerados como peligrosos por sus características biológico-infecciosas. El manejo de estos residuos representa un gran problema, ya que son potencialmente riesgosos para la salud, tanto de la comunidad universitaria, como para la población en general que habita alrededor de ella, debido a su contenido de agentes patogénicos capaces de provocar graves problemas de salud en caso de no recibir un tratamiento de disposición final adecuado. Actualmente, el manejo de tales residuos se efectúa de manera poco segura, pues son arrojados a la basura municipal, pocos reciben tratamiento para disminuir su peligrosidad y son manejado sin protección.

Una de las técnicas más conocidas y efectivas para la disposición final de residuos se realiza por medio de equipos incineradores de residuos. Esta consiste en la transformación de los residuos sólidos, mediante la combustión controlada en hornos especiales de alta temperatura (800-1100 °C), en gases (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, etc.) y sólidos no combustibles. La instalación y funcionamiento de los equipos de incineración debe cumplir con una serie de regulaciones, normas y con una serie de requisitos técnicos emanados de la Ley general del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Este marco jurídico es emitido y controlado por algunas dependencias del gobierno federal, tales como el Instituto Nacional de Ecología (INE), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y los gobiernos estatales. La instalación de un equipo incinerador de residuos en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, involucra el conocimiento previo de las características y volumen de los residuos generados en esta institución y la aplicación de un programa de clasificación de residuos por tipo y forma de eliminación, a fin de optimizar el funcionamiento del equipo y su correcto aprovechamiento, ya que algunos residuos por su elevado contenido en plástico (que producen altas temperaturas) pueden dañar al equipo. Otro aspecto que debe ser considerado es el contenido de cloro, cloruro de polivinilo y otros plásticos clorados presentes en los residuos. Es necesario, así mismo, conocer las necesidades específicas (servicios, instalaciones, área requerida, colindancias, uso de suelo) características de funcionamiento (gasto energético, consumo de combustible, consumo de agua, aire y otros materiales) ventajas (disminución de volumen de desechos, eliminación de focos de infección) y posibles impactos en áreas vecinas (positivos y negativos) de dicho equipo incinerador de residuos.

En algunos incineradores existentes en instituciones de tipo semejante a la FES Cuautitlán, se ha observado un uso incorrecto de estos equipos y en ocasiones, abandono y descuido. En la república mexicana, la oferta de equipos incineradores es más bien limitada, ya que existen pocas compañías que manejen equipos que cumplan las normas mexicanas y normas internacionales ya que es mal entendida la idea de incineración y muchos de estos equipos, solo cambian el tipo y fuente de contaminación.

Sobre la base del análisis de los argumentos anteriores, se propone en el presente trabajo, la incineración de los residuos peligrosos generados por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, como una alternativa para la disminución de las descargas de basura potencialmente riesgosa en los sistemas municipales, así como la implementación de un programa integral de clasificación y manejo racional de los residuos generados en esta institución.

## **INTRODUCCIÓN**

### **LA GENERACIÓN DE RESIDUOS**

Todas las actividades productivas del hombre incluyen el consumo de recursos, materias primas y energía. Pero el aprovechamiento de estos materiales no es total, pues siempre se producen residuos y sobrantes, que son arrojados al aire, agua o como basura. Los residuos varían según el tipo de actividades y formas de consumo de los materiales. Los residuos que provienen de las actividades que se desarrollan normalmente en las casas-habitación, establecimientos comerciales, centros escolares y de servicios, así como los de algunas industrias, son conocidos como desechos sólidos municipales, y no implican un elevado riesgo para la salud de la población. Sin embargo hay otro tipo de residuos que si representa un riesgo elevado para la población y que son del tipo que se producen en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Estos residuos, por sus características punzo cortantes, corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o infecciosas pueden constituir un peligro para la salud de quienes se exponen a ellos de forma directa o indirecta o para el ambiente. La exposición directa ocurre cuando se les maneja o se entra en contacto con ellos durante la recolección, almacenamiento, transporte, separación y disposición final. En tanto que la exposición indirecta, puede ser el resultado de la proliferación de fauna dañina en los basureros, de las emanaciones de gases o de sustancias volátiles que contaminan al aire y afectan a las poblaciones vecinas a ellos, de los incendios o explosiones que pueden ocurrir, de la filtración de sustancias tóxicas en el suelo y su migración hacia los mantos acuíferos que contaminan.

El deshacerse de los residuos también representa un gasto no productivo, por lo que la forma más económica de deshacerse de ellos es depositándolos en tiraderos al aire libre, sin recibir ningún tratamiento, por lo que además de ser molestos, implican un riesgo grave para la salud.

El presente trabajo se realizó mediante la consulta a bancos de información y bibliotecas de INE (Instituto Nacional De Ecología), SEMARNAT, Secretaria Del Medio Ambiente del gobierno de la ciudad de México, así como la asistencia a diversas exposiciones y congresos sobre medio ambiente.

Se visitaron las siguientes instituciones:

SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE

CENTRO DE INFORMACION AMBIENTAL. GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA

INSTITUCIONES EDUCATIVAS COMO LA UNAM, UAM XOCHIMILCO, IPN, ETC.

CENTRO DE INFORMACION, COMUNICACIÓN Y EDUCACION AMBIENTAL.

CENTRO DE INFORMACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE (CAT- FES-CUAUTITLÁN)

## ANTECEDENTES

La problemática relacionada con el manejo de residuos peligrosos representa un riesgo para el bienestar social y la salud pública de la población y los ecosistemas. Desechos generados en laboratorios, como sangre, tejidos, medios de cultivo experimentales, órganos animales, residuos de clínicas dentales y de servicios médicos, los cuales tienen un alto grado de contaminación microbiológica requieren ser sometidos a sistemas de manejo y tratamiento que minimicen y eliminen su peligrosidad antes de disponerlos en un relleno sanitario u otra instalación de control. Con base en la problemática descrita, el tratamiento de los residuos biológico-infecciosos debería ocupar un lugar importante dentro de las políticas administrativas de la UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

En el manejo de los residuos lo importante es no revolver residuos "normales" con los residuos peligrosos, para no generar basura de difícil manejo. Se consideran como residuos peligrosos a aquellos que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (características CRETIB) representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente<sup>(30)</sup> En el presente trabajo, se consideran aquellos residuos que representan un riesgo por sus características biológico-infecciosas.

La problemática originada por la gestión inadecuada de estos residuos peligrosos es grave. En la mayoría de los laboratorios de esta facultad, la recolección y disposición de los residuos peligrosos es deficiente. Esto da origen a una serie de problemas de salud pública. La inadecuada disposición de los residuos peligrosos es fuente de proliferación de fauna nociva (ratas, cucarachas, moscas, mosquitos, etc.) la cual puede transmitir enfermedades infecciosas. La disposición inadecuada puede generar gases, humos y polvos que contribuyen a la contaminación atmosférica, problemas de contaminación de los mantos acuíferos, por la percolación de sus lixiviados en el subsuelo. Así mismo, es una fuente de contaminación e infecciones graves, ya sea al personal encargado de su manejo (desde su recolección hasta su disposición final) o a los habitantes de los asentamientos que rodean a esta facultad, las vías de transporte de basura y los sitios de disposición final<sup>(19)</sup>

Un trabajo previo (García M. Marisela, 1999) determinó la cantidad aproximada de residuos peligrosos generados por algunos de los laboratorios de la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo, que si bien, no es la única carrera que genera este tipo de residuos peligrosos en esta Facultad, es la fuente más importante de generación en las instalaciones de campo 1.

La información fue recopilada mediante la aplicación del siguiente cuestionario a una muestra de 70 alumnos, que cursan las asignaturas en las que se presume, generan un importante volumen de residuos peligrosos, al presentar riesgo biológico-infecciosos y a los responsables de las mismas. De tal manera, el 31.25% de los cuestionarios fueron respondidos por profesores y el 68.75% por alumnos (ver figura 1)

Conforme al análisis de las respuestas a los cuestionarios, se obtuvieron los datos que se observan en la tabla No.1. Para definir a una sustancia como residuo peligroso, se consideró lo que determina la **NOM 087-ECOL-1995**<sup>(30)</sup>

Sobre la base de los datos obtenidos se obtiene que cada semestre se genera un total aproximado de 277 Kilogramos de residuos peligrosos. De los cuales, los resultados indican que el 58% de los residuos generados reciben algún tipo de tratamiento y el 42% restante, no lo reciben.

**FIGURA 1. CUESTIONARIO (8)**

**CUESTIONARIO PARA EL INVENTARIO DE RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS**

Se elaboró el siguiente cuestionario con la finalidad de determinar la cantidad de residuos Biológico-Infecciosos que se generan en la FES- Cuautitlán

1. Nombre de la Institución ( Escuela, hospital, Laboratorio, Etc.) \_\_\_\_\_
2. - Tipo de Servicio \_\_\_\_\_
3. Nombre y cargo \_\_\_\_\_
4. ¿Es usted generador de Residuos Biológico-infecciosos? SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_
5. En caso afirmativo, ¿Qué tipo de muestras manejan y cuál es el tratamiento que se lleva antes de ser eliminado? (marque con una X)

| RESIDUO                         | TRATAMIENTO | RESIDUO                 | TRATAMIENTO |
|---------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| Sangre                          |             | Orina                   |             |
| Jeringas                        |             | Heces                   |             |
| Agujas                          |             | Lancetas                |             |
| Guantes                         |             | Cubre bocas             |             |
| Bisturí                         |             | Palillos                |             |
| Cultivos de Virus               |             | Bacterias               |             |
| Pipetas contaminadas            |             | Hongos                  |             |
| Tiras reactivas                 |             | Líquido cefalorraquídeo |             |
| Reactivos de identificación     |             | Cajas Petri de vidrio   |             |
| Tubos de ensayo                 |             | Tubos de cultivo        |             |
| Hisopos                         |             | Cubreobjetos            |             |
| Porta objetos                   |             | Tubos vacutainer        |             |
| Asas Bacteriológicas            |             | Equipo de disección     |             |
| Suero, plasma, paquete globular |             |                         |             |

6. Existe un lugar específico donde se desechen este tipo de residuos, es decir algún depósito en especial. \_\_\_\_\_
7. Existen manuales o normas dentro de la institución (Escuelas, Hospitales, Laboratorios, etc.) que indiquen los procedimientos para el tratamiento y eliminación de los desechos potencialmente peligrosos. \_\_\_\_\_
8. En caso de que exista lo anterior, describalo brevemente. \_\_\_\_\_
9. Aproximadamente, que cantidad genera al día (kilogramos) de residuos Biológico-infecciosos. \_\_\_\_\_
10. Indique usted si utiliza algún método previo a la eliminación final de los residuos (Esterilización, incineración o relleno sanitario) \_\_\_\_\_
11. Mencione si tiene alguna dificultad para llevar a cabo alguno de estos métodos. \_\_\_\_\_
12. Favor de indicar el servicio o departamento al que es posible dirigirse para cualquier aclaración con relación a las respuestas de esta encuesta. \_\_\_\_\_

(Fuente: García M. Marisela, 1999)

El método usado en el tratamiento, es la esterilización mediante calor húmedo (vapor) en autoclaves de muy pequeña capacidad<sup>(8)</sup> Sin embargo, ambos tipos de residuos (tratados y no tratados) se juntan en la basura común, con lo que todo vuelve a ser considerado como residuo peligroso. No existen recipientes especiales para estos residuos ni son almacenados en lugares específicos. En general, se puede decir que no existe (en esta facultad) un manual en el que se indiquen los procedimientos para el tratamiento y eliminación final de los residuos<sup>(8)</sup>

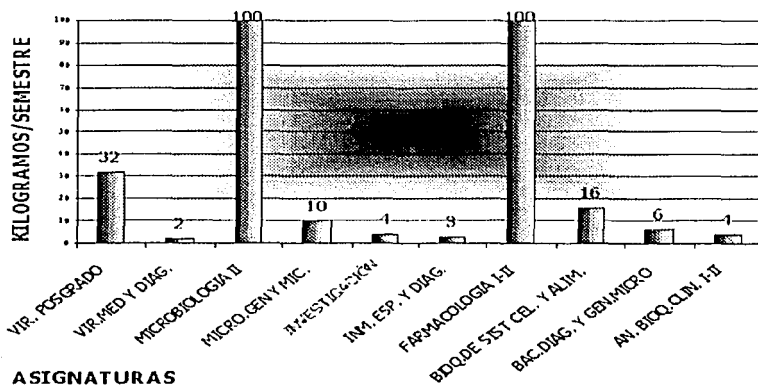
**TABLA 1. RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS GENERADOS EN ALGUNAS ASIGNATURAS DE LA CARRERA DE QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO <sup>(8)</sup>**

| ASIGNATURA                                      | RESIDUOS GENERADOS (KG. POR SEMESTRE) | TIPO DE RESIDUO |         |                 |             |
|---|---------------------------------------|-----------------|---------|-----------------|-------------|
|   |                                       | LIQUIDOS        | SÓLIDOS | PUNZO CORTANTES | PATOLÓGICOS |
| Análisis bioquímico clínicos I-II               | 4                                     | RT              | RT      | RT              | RG          |
| Bacteriología diagnóstica y genética microbiana | 6                                     | RT              | RT      | RT              | NG          |
| Bioquímica de sistemas, celular y de alimentos  | 16                                    | RNT             | RNT     | RNT             | RNT         |
| Farmacología I y II                             | 100                                   | RNT             | RNT     | RNT             | RNT         |
| Inmunología diagnóstica e inmunología especial  | 3                                     | RT              | RT      | RT              | NG          |
| Investigación                                   | 4                                     | RT              | RT      | RT              | NG          |
| Microbiología general y micología               | 10                                    | RT              | RT      | RT              | NG          |
| Microbiología II                                | 100                                   | RT              | RT      | RT              | NG          |
| Virología médica y virología diagnóstica        | 2                                     | RT              | RT      | RT              | RNT         |
| Virología Postgrado                             | 32                                    | RT              | RT      | RT              | NG          |
| Total de residuos no tratados (por tipo)        |                                       | 2               | 2       | 2               | 3           |
| TOTAL   | 277                                   |                 |         |                 |             |

RT = RESIDUOS TRATADOS RNT = RESIDUOS NO TRATADOS NG = NO GENERA (Fuente: García M. Marisela, 1999)

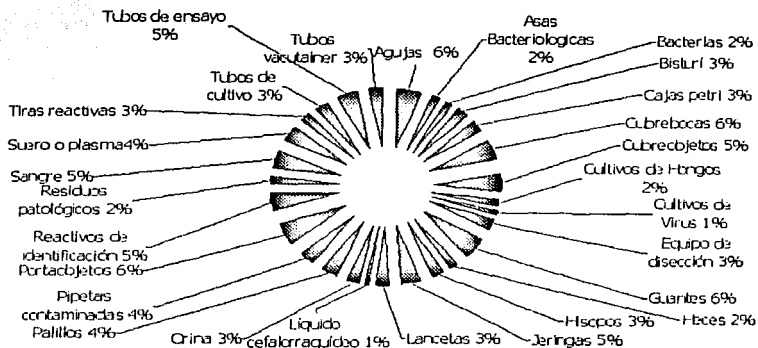
Cabe hacer notar que estos datos fueron obtenidos de acuerdo al criterio de las personas responsables de cada sección y en los estimados de los alumnos encuestados, más no porque se lleven registros de la cantidad de residuos generados y se refieren solo a algunas de las asignaturas de la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo que se consideran generadoras importantes de residuos biológico-infecciosos (tabla 2).

**TABLA 2. RESIDUOS GENERADOS SEMESTRALMENTE EN ALGUNAS ASIGNATURAS DE LA CARRERA DE QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO <sup>(8)</sup>**

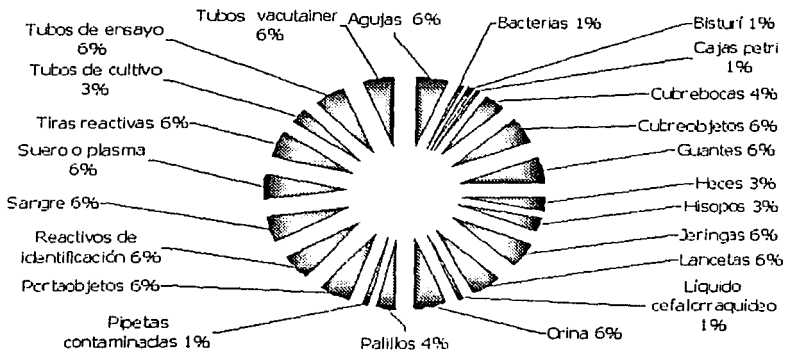


En las siguientes tablas (3, 4, 5, 6) se muestran los resultados de generación de residuos Biológico-Infeciosos en algunas de las asignaturas de la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y de las asignaturas de Análisis Bioquímico Clínicos, Farmacología y Microbiología, las que se consideran representativas por estar entre las más importantes en cuanto a volumen tipo de residuos peligrosos generados y nos da una idea de los residuos peligrosos que se generan en un día de labores, en los laboratorios de las asignaturas mencionadas.

**TABLA 3. TIPOS DE DESECHOS BIOLÓGICO-INFECIOSOS GENERADOS EN ALGUNAS ASIGNATURAS DE LA CARRERA DE QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO<sup>(a)</sup>**

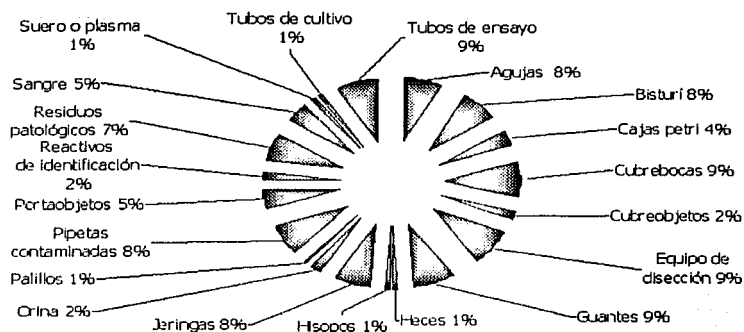


**TABLA 4. TIPOS DE DESECHOS BIOLÓGICO-INFECIOSOS GENERADOS EN UN DÍA EN LA ASIGNATURA DE ANALISIS BIOQUIMICO CLÍNICOS<sup>(a)</sup>**

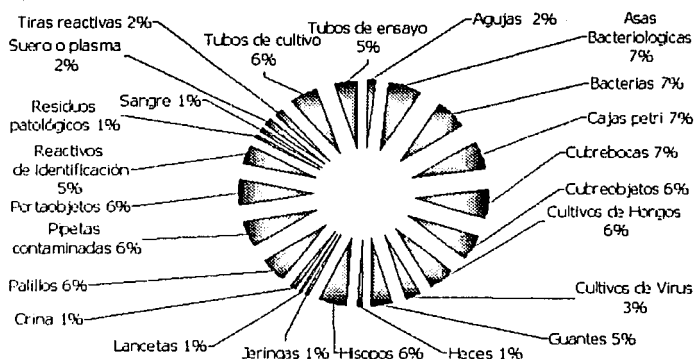




**TABLA 5. TIPOS DE DESECHOS BIOLÓGICO-INFECTIOSOS GENERADOS EN UN DÍA DE LABORES EN LA ASIGNATURA DE FARMACOLOGÍA<sup>(8)</sup>**



**TABLA 6. TIPOS DE DESECHOS BIOLÓGICO-INFECTIOSOS GENERADOS EN UN DÍA EN LA ASIGNATURA DE MICROBIOLOGÍA<sup>(9)</sup>**



Cabe aclarar, que el estudio citado, se consideró incompleto, pues dejó fuera algunos datos importantes en cuanto a la generación de residuos peligrosos. La tabla 7 se considera las materias que se imparten en la Facultad posibles generadoras de residuos susceptibles de ser incinerados y otras fuentes de generación, como lo son los servicios sanitarios y bioterios (tabla 8) basándose en cálculos del personal involucrado. Es difícil tener datos exactos de cuanto al tipo y volumen de residuos generados, pues la mayor parte son desechados con la basura general, sin ser clasificados o separados y solo en pocos casos reciben un tratamiento adecuado o son

enviados a lugares donde lo reciben. Por otra parte, la cantidad de residuos generados no es constante, pues depende del tipo y frecuencia de las prácticas a realizar, así como del número de alumnos que toman parte en ellas.

**TABLA 7. ASIGNATURAS QUE PRODUCEN RESIDUOS PELIGROSOS SUSCEPTIBLES DE SER INCINERADOS (por carrera)**

| <b>QUÍMICO</b>                       |  |
|--------------------------------------|--|
| Bioquímica I                         | 1 Kg. Por semestre                     |
| Bioquímica II                        | N.D.                                   |
| Productos Naturales                  | 100 g. Por semestre                    |
| Biología Celular                     | N.D.                                   |
| Microbiología I                      | N.D.                                   |
| Microbiología II                     | N.D.                                   |
| Bioquímica III                       | N.D.                                   |
| Química Experimental Aplicada I      | N.D.                                   |
| Química Experimental Aplicada II     | N.D.                                   |
| Polímeros                            | N.D.                                   |
| Bioquímica IV                        | N.D.                                   |
| Plásticos y Silicones I              | N.D.                                   |
| Plásticos y Silicones II             | N.D.                                   |
| <b>QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO.</b> |  |
| Bioquímica de celular                | 500g. A la semana - 5 kg. Por semestre |
| Bioquímica de Sistemas               | 1-3 Kg. /día                           |
| Productos Naturales                  | N.D.                                   |
| Bioquímica de Alimentos              | 1 Kg. Al día                           |
| Análisis Bioquímico Clínicos I       | 4 Kg. Por semestre                     |
| Morfofisiología                      |  |
| Microbiología General I              | 10 Kg. Por semestre                    |
| Farmacología I                       | 100 Kg. Por semestre                   |
| Tecnología Farmacéutica I            | 100 g. Por semestre                    |
| Microbiología General II             | 100 Kg. Por semestre                   |
| Análisis de Medicamentos             | N.D.                                   |
| Farmacología II                      | 100 Kg. Por semestre                   |
| Tecnología Farmacéutica II           | N.D.                                   |
| Análisis Bioquímico Clínicos II      | 4 Kg. Por semestre                     |
| Inmunología Especial                 | 3 Kg. Por semestre                     |
| Parasitología                        | 10 Kg. Por semestre                    |
| Bacteriología Diagnóstica            | 4 Kg. Por semestre                     |
| Microbiología Farmacéutica           | N.D.                                   |
| Toxicología e Higiene Pública        | 300 - 500 g. Al día                    |
| Genética                             | N.D.                                   |
| Análisis Bioquímicos Clínicos III    | 5 Kg. Por semestre                     |
| Virología Médica                     | 2 Kg. Por semestre                     |
| Micología Médica                     | 10 Kg. Por semestre                    |
| Virología Diagnóstica                | 2 Kg. Por semestre                     |
| Inmunología Diagnóstica              | 3 Kg. Por semestre                     |
| Citogenética                         | N.D.                                   |
| Genética Microbiana                  | 6 Kg. Por semestre                     |
| Genética Clínica                     | N.D.                                   |
| Temas Especiales de Farmacología     | 200 g. Por semestre                    |
| Farmacia Hospitalaria                | 1 Kg. Por semestre                     |
| Mezclas Intravenosas                 | 1 Kg. Por semestre                     |
| <b>QUÍMICO INDUSTRIAL</b>            |  |
| Bioquímica Microbiana                | 500g. Por día                          |

|  |                     |
|--|---------------------|
| Microbiología Industrial   | 1 kg. A la semana   |
| Bioquímica I   | N.D.                |
| Bioquímica II  | N.D.                |
| Bioquímica III   | N.D.                |
| Química industrial III   | 1 Kg. A la semana   |
| <b>INGENIERO EN ALIMENTOS</b>  |                     |
| Bioquímica general   | N.D.                |
| Microbiología general  | N.D.                |
| Química de alimentos   | N.D.                |
| Microbiología de alimentos   | N.D.                |
| <b>POSGRADO</b>  |                     |
| Laboratorio de química medicinal                                     | N.D.                |
| Laboratorio de bacteriología   | 10 Kg. Por semestre |
| Laboratorio biotecnología  | 1 Kg. Por semestre  |
| Laboratorio de virología   | 32 Kg. Por semestre |
| Laboratorio de microbiología   | 10 Kg. Por semestre |
| Laboratorio de inmunología   | N.D.                |
| Laboratorio de biología molecular                                    | N.D.                |
| Laboratorio de alimentos   | N.D.                |
| Catedra de inmunodiagnóstico de enfermedades bacterianas y micóticas | N.D.                |
| Laboratorio de diagnóstico clínico humano                            | 2-3 Kg. Por día     |

La carrera de Químico genera aproximadamente 40 Kg. De residuos peligrosos. La carrera de Ingeniero en alimentos genera aproximadamente 30 kg. Por semestre de residuos peligrosos. Mientras que las carreras de Ingeniería química y química industrial solo generan aproximadamente 10 Kg.

Es importante señalar que, la asignatura Laboratorio de Experimentación Multidisciplinaria de la carrera de Ingeniero en Alimento, genera de 200 a 300 Kg. De basura, sin embargo, se considera como no peligrosos que deberían recibir otro tratamiento o ser utilizados como composta.

**TABLA 8. OTROS GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS SUSCEPTIBLES DE SER INCINERADOS**

| <b>BIOTERIO (licenciatura)</b>                |  |
|---|--|
| Ratas   | 900 (200 g.) = 180 Kg. Por semestre                    |
| Ratones                                       | 1200 (25 g.) = 30 Kg. Por semestre                     |
| Paja sucia y otros desechos                   | 18 bultos (5 kg.) cada 15 días = 1080 Kg. Por semestre |
| <b>BIOTERIO (posgrado)</b>                    |  |
| Conejos                                       | 15 (2.5 Kg) = 37.5 Kg. Por semestre                    |
| Ratones                                       | 400 (25 g.) = 10 Kg. Por semestre                      |
| Paja sucia y otros desechos                   | 15 kilos (Por semana) = 360 Kg. por semestre           |
| <b>OTROS RESIDUOS</b>                         |  |
| Desechos de sanitarios y otras áreas comunes. | 20 Kilos (diarios) = 2400 Kg. Por semestre             |

Los animales del bioterio son usados en las practicas de las diversas asignaturas donde son sacrificados y en algunos casos son regresados vivos, para ser utilizados posteriormente en otras prácticas de laboratorio. Sin embargo, sean sacrificados en un laboratorio o bioterio, son depositados en la basura común. En base a estos datos, se concluye que semestralmente, ésta facultad produce más 2000 Kg de desechos producto de sus laboratorios y bioterio. Si se considera la basura de los servicios sanitarios, el total es cercano a los 5000 Kg por semestre. Según estimaciones de personal de aseo y manejo de basura, en un día normal de actividades se

generan entre 30 y 40 kilogramos de en los laboratorios de la facultad, los que pueden considerarse como residuos peligrosos.

De lo anterior se concluye que, como primer paso en el manejo de los residuos peligrosos, es necesario destinar los recursos humanos y materiales indispensables para implementar un programa de separación de los residuos generados. Es importante la participación de la comunidad universitaria, para que cada persona que genere residuos, los deposite en el lugar adecuado, que facilite su tratamiento, reciclamiento o disposición final. Una de las ventajas más evidentes de la separación de los residuos, es que se puede hacer un mejor manejo de ellos ya que será posible recuperar prácticamente la totalidad de los residuos orgánicos y un alto porcentaje de los inorgánicos que puedan tener uso posterior.

Esta situación, observada en una la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, lamentablemente es la existente en muchas instalaciones educativas similares, en centros de producción, centros hospitalarios y de diagnóstico, consultorios, etc.<sup>(41)</sup>

El propósito de un equipo incinerador es el de darle un tratamiento y manejo adecuado a los residuos peligrosos generados eliminando así sus características tóxicas, corrosivas, reactivas, inflamables e infecto-contagiosas, y de esta forma poder darles una disposición final más segura y controlada.

## **CAPITULO 1**

### **DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS**

#### **1.1 DEFINICIÓN.**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) define cómo residuos peligrosos:

*"Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (características CRETIB), representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente<sup>(437)</sup>"*

En el caso de los residuos peligrosos biológico-infecciosos, éstos incluyen: materiales de curación que contienen microorganismos o gérmenes y que han entrado en contacto o que provienen del cuerpo de seres humanos o animales infectados o enfermos (Sangre y algunos fluidos corporales, cadáveres y órganos extirpados en operaciones) asimismo, incluyen cultivos de microorganismos usados con fines de investigación y objetos punzo cortantes (incluyendo agujas de jeringas, material de vidrio roto y otros objetos contaminados) Los residuos biológico-infecciosos, se generan en mayor cantidad fuera de los establecimientos médicos o laboratorios, por el gran número de desechos contaminados que producen los individuos infectados o enfermos en sus hogares o en donde abandonen materiales que hayan entrado en contacto con su sangre (o esputo en el caso de individuos tuberculosos) El que un residuo sea peligroso no significa necesariamente que provoque daños al ambiente, los ecosistemas o a la salud, porque para que esto ocurra es necesario que se encuentre en una forma "disponible" que permita que se difunda en el ambiente alterando la calidad del aire, suelos y agua, así como que entre en contacto con los organismos acuáticos o terrestres y con los seres humanos.<sup>(42)</sup>

En el caso de los residuos químicos potencialmente tóxicos, para que éstos ocasionen efectos adversos en los seres vivos, se requiere que la exposición sea suficiente en términos de concentración o dosis, de tiempo y de frecuencia<sup>(43)</sup>

En el caso de los residuos biológico-infecciosos, para que puedan llegar a ocasionar una enfermedad se requieren reunir algunas de las condiciones siguientes:

- Que sean virulentos (capaces de provocar una enfermedad infecciosa);
- Que se encuentren en una cantidad o dosis suficiente;
- Que encuentren una vía de ingreso al cuerpo de los individuos expuestos;
- Que los individuos infectados tengan debilitados sus mecanismos de defensa habituales para combatir a los agentes infecciosos (por ejemplo Fiebre, inflamación, células fagocitarias, etc).

Algunos tipos de residuos biológico infecciosos son:

- *Cultivos y cepas:* Comprenden los cultivos y cepas de agentes infecciosos desechados por laboratorios médicos y patológicos, de investigación o industriales; vacunas vivas atenuadas, y cajas de cultivo o materiales empleados para transferir o inocular cultivos.
- *Residuos Patológicos:* Órganos o tejidos de pacientes.
- *Sangre o productos sanguíneos:* Incluye sangre líquida desechada o subproductos, así como cualquier elemento saturado o embebido de sangre y sus contenedores.
- *Objetos punzo cortantes:* Utilizados en el cuidado o tratamiento médico de pacientes o animales enfermos, en investigación o en laboratorios industriales. Incluye objetos de vidrio que hayan estado en contacto con agentes infecciosos.
- *Residuos animales:* Cadáveres, órganos o tejidos de animales expuestos a agentes infecciosos o empleados en evaluaciones toxicológicas.
- *Residuos Aislados:* Residuos biológicos y materiales contaminados con sangre, excreciones, exudados o secreciones de seres humanos aislados por padecer enfermedades contagiosas o animales infectados.

Aunque prácticamente no se conocen casos de transmisión de enfermedades infecciosas por manipulación de residuos biológico-infecciosos, si existen estadísticas sobre la frecuencia con la que ocurren heridas al manipular objetos punzo cortantes contenidos en los residuos y acerca de las infecciones locales o sistémicas que a través de dichas heridas pueden ocurrir pero con otros microorganismos (tales como el que provoca el tétanos) <sup>(24)</sup>

Por lo anterior, un residuo peligroso no necesariamente es un riesgo, si se maneja de forma segura y adecuada para prevenir las condiciones de exposición descritas previamente.

Se estima, según cifras oficiales de sector salud, que actualmente se genera 1.5 Kg/cama al día y de acuerdo al número de camas censables existentes en el país que es de aproximadamente 127 mil, por lo tanto la generación por día es de 191 toneladas. Asimismo se estima que se generan alrededor de 14,500 ton / día de residuos peligrosos en México, de los cuales el 38% proviene de la Ciudad de México. Del total nacional, el 85% no se dispone adecuadamente, tirándose al aire libre o almacenándose en los patios de las plantas industriales; sólo el 15% restante recibe un manejo adecuado <sup>(36, 21,20)</sup>

## **1.2 CARACTERIZACIÓN.** <sup>(4)</sup>

Los materiales y sustancias que constituyen a los residuos peligrosos están caracterizados de acuerdo con sus propiedades físico-químicas.

### *PROPIEDADES FÍSICAS.*

Comprenden aquellas que pueden ser determinadas sin alterar la composición química de la materia; son típicas de cada sustancia o compuesto. Algunas de estas propiedades son:

- *Peso específico*
- *Solubilidad en agua*
- *Coefficiente de partición lípido-agua*
- *Presión de vapor:*
- *Disociación e ionización*
- *pH*

### PROPIEDADES QUÍMICAS:

Son aquellas que pueden ser determinadas cuando la sustancia sufre cambios en su composición básica; y las que al manifestarse, en general se acompañan de cambios en una o varias de sus propiedades físicas.

- Corrosividad
- Reactividad
- Flamabilidad
- Temperatura de ignición
- Temperatura de auto ignición
- Capacidad oxidante o comburente
- Explosividad
- Límites de explosividad en el aire
- Polimerización
- Degradabilidad

### 1.3 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

Existen diversos criterios para clasificar los residuos en general y los peligrosos en particular. Algunos de estos criterios se muestran a continuación:

#### A) DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS CRETIB<sup>(3,17,30)</sup>

El concepto de residuos peligrosos está definido mediante la clave C.R.E.T.I.B., cuyo nombre resulta de conjunción de cada una de las iniciales de los nombres de seis características que tienen las sustancias o materiales conocidos hoy en día. La letra "C" corresponde a la corrosividad, la "R" a la reactividad, la "E" a la explosividad, la "T" a la toxicidad, la "I" a la inflamabilidad y la "B" al infecto biológico. Para que un residuo se considere peligroso basta con rebasa una de las seis características de peligrosidad, en la tabla 1.1 se dan algunos ejemplos de cada clase.

**TABLA 1.1 EJEMPLOS DE RESIDUOS PELIGROSOS CORROSIVOS, REACTIVOS, EXPLOSIVOS, TÓXICOS, INFLAMABLES Y BIOLÓGICO INFECCIOSOS.**<sup>(4)</sup>

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>CORROSIVOS</b>                | Ácidos fuertes y Bases fuertes, compuestos como Fenol, Bromo, Hidracina                                       |
| <b>REACTIVOS</b>                 | Nitratos, Metales alcalinos, Metil isocianato, Magnesio, Cloruro de acetileno<br>Hidruros metálicos           |
| <b>EXPLOSIVOS</b>                | Peróxidos, Cloratos y percloratos, Ácido picrico, Trinitrotolueno, Trinitrobenzeno<br>Permanganato de potasio |
| <b>TÓXICOS</b>                   | Cianuros, Arsénico y sales, Plomo, Poli fenoles, Plaguicidas, Anilina, Nitrobenzeno                           |
| <b>INFLAMABLES</b>               | Hidrocarburos alifáticos, Hidrocarburos aromáticos, Alcoholes, Éteres, Aldehídos, Cetonas,<br>Fósforo         |
| <b>BIOLÓGICO<br/>INFECCIOSOS</b> | Sueros inmunitarios, Vacunas y toxoides, Antitoxinas y antivenenos, Enzimas, cultivos, cepas.                 |

Se consideran *corrosivos* aquellos muy ácidos o alcalinos ( $2.0 < \text{pH} < 12.5$ ) que pueden reaccionar peligrosamente con otros residuos o provocar la migración de contaminantes o corroer los contenedores.

Los *reactivos* son aquellos inestables que pueden llegar a reaccionar violentamente sin explosión; que pueden formar una mezcla explosiva con el agua, generar gases tóxicos, vapores y humos, que pueden contener cianuro o sulfuro y que pueden explotar en diversas situaciones.

Los *explosivos* son aquellos con una constante de explosividad igual o mayor a la del di nitrobenzeno, o bien que son capaces de provocar una explosión a 25 °C y a 1.03 Kg/cm<sup>2</sup> de presión.

Los *tóxicos* son los que contienen sustancias capaces de causar la muerte o provocar efectos nocivos en la salud de la población, en la flora o en la fauna.

Los *inflamables* son aquellos capaces de causar un incendio en diferentes condiciones, tales como fricción, absorción de humedad, cambios químicos espontáneos, y que al incendiarse, representan un riesgo.

Por último, los *Biológico infecciosos*, son los que contienen microorganismos o sus toxinas, capaces de causar efectos nocivos a los seres vivos.

**B) CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ACUERDO A SU CONTENIDO DE HUMEDAD.**

La humedad es un parámetro muy importante a considerar cuando se piensa en el tratamiento térmico de la basura. Esta clasificación se muestra en la tabla 1.2

**TABLA 1.2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ACUERDO A SU CONTENIDO DE HUMEDAD<sup>(13)</sup>**

| TIPO | DESCRIPCIÓN   | % DE HUMEDAD | Kg / m <sup>3</sup> |
|------|---|--------------|---------------------|
| 0    | Desperdicios altamente combustibles: papel, cartón, cajas de madera, basura de la limpieza, provenientes de actividades comerciales e industriales. Hasta un 10% en peso de bolsa de plástico, papel de envoltura, papel laminado, cartón corrugado, estopas con aceite o grasa, virutas de hule o plástico | 10%          | 128.15 a 160.18     |
| 1    | Desperdicios combustibles: papel, cartón, viruta de madera, hojas y pasto, basura de limpieza proveniente de actividades domésticas, comerciales e industriales hasta un 20% en peso de basura de restaurantes, cafeterías, casi nada de papel tratado, plástico o hule.                                    | 25%          | 128.15 a 160.18     |
| 2    | Desperdicio consistente en partes iguales en peso del tipo 0 y 1, común a casas habitación y edificios.   | 50%          | 240.28 a 320.37     |
| 3    | Desperdicios: animal y vegetal de restaurantes, cafeterías, hoteles, hospitales, mercados e instalaciones similares.  | 70%          | 480.55 a 560.64     |
| 4    | Desperdicio patológico consistente en residuos humanos y animales (cuerpos, órganos, desperdicios sólidos orgánicos) provenientes de hospitales, laboratorios y rastros.  | 85%          | 720.83 a 881.01     |
| 5    | Productos líquidos o semi-líquidos como alquitranes, pinturas, lodos, etc. Provenientes de procesos industriales.   | VARIA        | -0-                 |
| 6    | Productos sólidos, Hules, plásticos, madera, etc. Provenientes de desperdicios industriales.  |              | -0-                 |

**C) DE ACUERDO AL NIVEL DE RIESGO QUE REPRESENTAN**

El Convenio de Basilea adopta las siguientes divisiones relacionadas con los residuos peligrosos:

- a) Desechos que hay que controlar
- b) Desechos que requieren consideración especial

En las siguientes tablas se observa con mayor amplitud estas clasificaciones<sup>(14)</sup>.



**TABLA 1.3 CLASIFICACION DE RESIDUOS POR SU PELIGROSIDAD<sup>(13)</sup>.****CATEGORÍAS DE DESECHOS QUE HAY QUE CONTROLAR**

- Y1. Desechos clínicos resultantes de la atención médica prestada en hospitales, centros médicos y clínicas
- Y2. Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos
- Y3. Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos
- Y4. Desechos de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos
- Y5. Desechos de la fabricación, preparación y utilización de productos químicos para la preservación de la madera
- Y6. Desechos de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos
- Y7. Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico y las operaciones de temple
- Y8. Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados
- Y9. Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua
- Y10. Sustancias y artículos de desecho que contengan bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB)
- Y11. Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico
- Y12. Desechos de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas o barnices
- Y13. Desechos resultantes de la producción y utilización de resinas, látex, plastificantes, colas y adhesivos
- Y14. Sustancias químicas de desecho, no identificadas o nuevas, resultantes de la investigación y el desarrollo o de las actividades de enseñanza y cuyos efectos en el ser humano o el medio ambiente no se conozcan
- Y15. Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferente
- Y16. Desechos de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales fotográficos
- Y17. Desechos resultantes del tratamiento de superficie de metales y plásticos
- Y18. Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales

**DESECHOS QUE TENGAN COMO CONSTITUYENTES:**

- Y19. Metales carbonilos
- Y20. Berilio, compuestos de berilio
- Y21. Compuestos de cromo hexavalente
- Y22. Compuestos de cobre
- Y23. Compuestos de zinc
- Y24. Arsénico, compuestos de arsénico
- Y25. Selenio, compuestos de selenio
- Y26. Cadmio, compuestos de cadmio
- Y27. Antimonio, compuestos de antimonio
- Y28. Telurio, compuestos de telurio
- Y29. Mercurio, compuestos de mercurio
- Y30. Talio, compuestos de talio
- Y31. Plomo, compuestos de plomo
- Y32. Compuestos inorgánicos de flúor, con exclusión del fluoruro cálcico
- Y33. Cianuros inorgánicos
- Y34. Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida
- Y35. Soluciones básicas o bases en forma sólida
- Y36. Asbesto (polvo y fibras)
- Y37. Compuestos orgánicos de fósforo
- Y38. Cianuros orgánicos
- Y39. Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de cloro fenoles
- Y40. Éteres
- Y41. Solventes orgánicos halogenados
- Y42. Disolventes orgánicos, con exclusión de disolventes halogenados
- Y43. Cualquier sustancia del grupo de los dibenzofuranos policlorados
- Y44. Cualquier sustancia del grupo de las dibenzoparadoxinas policloradas
- Y45. Compuestos organohalogenados, no mencionados en este anexo (por ejemplo, Y39, Y41, Y42, Y43, Y44)

**TABLA 1.4 CATEGORÍAS DE DESECHOS QUE REQUIEREN UNA CONSIDERACIÓN ESPECIAL<sup>(14)</sup>**

- Y46. Desechos recogidos de los hogares
- Y47. Residuos resultantes de la incineración de desechos de los hogares

## **CAPITULO 2**

### **EL MANEJO ACTUAL DE LOS RESIDUOS**

#### **2.1 INFRAESTRUCTURA EXISTENTE**

A nivel nacional la infraestructura existente hasta el año 1999 es muy limitada, insuficiente para procesar los ocho millones de toneladas que se generan cada año, se estima que sólo el 12% de los residuos peligrosos generados se controlan adecuadamente (transportados, reciclados, destruidos o confinados en condiciones técnicas y ambientales satisfactorias) La carencia de la infraestructura necesaria para el manejo adecuado e integral de los residuos peligrosos y las dudas suscitadas por las iniciativas de ubicación de las mismas, acentúan la inquietud de la población, enrareciendo el clima de concertación necesaria para la solución de esta problemática. Hasta ahora se ha presentado una oposición casi generalizada de las comunidades a aceptar instalaciones para el manejo de residuos peligrosos. Frecuentemente, la población se entera del establecimiento de una instalación para el manejo de residuos peligrosos cuando el proyecto ya se encuentra en etapa de autorización. Se ha carecido de un proceso de *proponer-anunciar-negociar-autorizar-instalar*, o reconsiderar el emplazamiento geográfico y la naturaleza tecnológica de algún proyecto, en el que se contemple la participación de los miembros de la comunidad. Algunos de los problemas existentes son:

- Incentivos insuficientes para la reducción y manejo adecuado de residuos industriales
- Normatividad incompleta
- Bajo control de calidad ambiental en micro, pequeña y mediana industria
- Inexistencia de iniciativas conjuntas para el manejo de residuos industriales
- Altos costos en la concertación entre la industria y las tres instancias de gobierno
- Mercados poco desarrollados
- Procedimientos administrativos excesivamente largos y costosos
- Incertidumbre social
- Falta de información
- Inspección y vigilancia insuficientes<sup>(20,21)</sup>

#### **2.2 ACTIVIDADES Y EMPRESAS DEDICADAS AL CONTROL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS**

Hasta el año 1999 se realizan las siguientes actividades:

- Confinamientos
- Reciclaje de solventes
- Reciclaje de aceites
- Reciclaje energético de residuos combustibles
- Exportación de aceites contaminados con BPC
- Reciclaje de residuos con elementos metálicos

En la tabla 2.1, se especifica el número de empresas que manejan residuos peligrosos y el tipo de las mismas, aunque se trata de instalaciones relativamente pequeñas en su mayoría. Este aspecto puede verse de forma más clara si analizamos el volumen de inversiones realizadas en el sector (tabla 2.2)<sup>(4)</sup>

**TABLA 2.1 INFRAESTRUCTURA INSTALADA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS <sup>(4)</sup>**

|    | TIPO DE EMPRESA   |
|----|---|
| 17 | • Empresas para el reciclaje de solventes usados  |
| 9  | • Empresas para el manejo de aceites lubricantes usados   |
| 6  | • Empresas para almacenamiento temporal   |
| 2  | • Confinamientos controlados de residuos peligrosos de servicio público                           |
| 2  | • Confinamiento de residuos peligrosos de servicio privado  |
| 3  | • Incineradores de residuos peligrosos de servicio privado  |
| 5  | • Empresa para el reciclado de metales  |
| 22 | • Empresas de tratamiento in situ de residuos peligrosos  |
| 71 | • Empresas para recolección y transporte de residuos peligrosos                                   |
| 3  | • Empresas para la formulación de combustible alterno   |
| 3  | • Empresas cementeras para la recuperación de energía alternativa a partir de residuos peligrosos |
| 2  | • Empresas de reuso de tambores metálicos   |
| 4  | • Empresas de rehabilitación de sitios contaminados por residuos peligrosos                       |
| 1  | • Empresa de tratamiento de aceites contaminados con BPCS   |

**TABLA 2.2 INVERSIONES REALIZADAS PARA EL MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS <sup>(4)</sup>**

| ACTIVIDAD                                    | INVERSIONES REALIZADAS (MDD) | EMPLEOS GENERADOS (DIRECTOS Y COMPLEMENTARIOS) |
|--|------------------------------|--|
| Confinamiento                                | 41                           | 1,600  |
| Reciclaje de solventes y aceites             | 21                           | 2,800  |
| Formulación de combustibles y reciclaje      | 33                           | 2,700  |
| Reciclaje de residuos y materiales metálicos | 20                           | 1,800  |
| Total  | 115                          | 8,900  |

Resulta notorio que aproximadamente el 25% de las inversiones realizadas en este sector, corresponde al confinamiento de los residuos. La situación es más distinta a lo que se observa en otros países, por ejemplo, los Estados Unidos (tabla 2.3)

**TABLA 2.3 COMPARATIVO DE COSTOS ACTUALES DE MANEJO DE RESIDUOS INDUSTRIALES PELIGROSOS ENTRE MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS<sup>(4)</sup>**

| ACTIVIDAD                               | COSTOS DE MANEJO (DÓLARES / TON) |                |         |
|---|----------------------------------|----------------|---------|
|   | MÉXICO                           | EE.UU.         |         |
| Confinamiento                           | Tambos                           | 70-100         | 245-350 |
|   | Granel                           | 45-60          | 84-140  |
| Oxidación térmica                       | No se cuenta con este dato       |                |         |
| Líquidos limpios combustibles           | 10-30                            | 14-84          |         |
| Líquido en general incluyendo solventes | 25-40                            | 84-350         |         |
| Reciclaje y recuperación                | 25-120                           | 105-420        |         |
| Neutralización, ácidos y bases          | 15-50                            | 35-140         |         |
| Cianuros y metales pesados              | 200-250                          | 105-1,120      |         |
| Transporte                              | 0.03 (ton/km.)                   | 0.14 (ton/km.) |         |

*Costos operativos en el mercado nacional, comparados con los se registran en los EE.UU.*

1. - Información proporcionada por empresas prestadoras de servicios en México

2. Información proporcionada por diez de las principales empresas dedicadas a la prestación de servicios en EE.UU.

Es notable un nivel de precios muy bajo comparativamente a lo observado en los EE.UU. Esto es resultado de una demanda muy débil, ya que los costos de capital y operación son en principio muy similares entre los dos países. Sin duda, tal desfase limita la rentabilidad en las nuevas inversiones en un mercado que debe consolidarse y contar con mecanismos eficientes de inspección y vigilancia. A continuación se muestra como

ejemplo un comparativo del costo para disponer una tonelada de residuos comunes en relleno sanitario(los valores son variables según el país)

1 - Residuos Comunes = us\$ 10 x Tm.

2 - Residuos Especiales Tratados = us\$ 50 x Tm.

3 - Residuos Patogénicos Tratados (no-incineración) = us\$ 50 x Tm.

Costo de INCINERAR una tonelada de residuos, sea industriales o patogénicos

(varía también según el país)

us\$ 700 (promedio) <sup>(4)</sup>

### **2.3 MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS**

Es un proceso de adopción de medidas organizativas y operativas que permitan disminuir, hasta niveles económica y técnicamente factibles, la cantidad y peligrosidad de los subproductos generados que precisan un tratamiento o eliminación final. Esto se consigue por medio de la reducción en su origen y, cuando ésta no es posible, a través del reciclaje o la recuperación de materiales secundarios.

Aunque la minimización constituye una alternativa prioritaria para atender los problemas planteados por los residuos peligrosos, es importante señalar que no es una panacea, y que no puede abarcar a todas las corrientes de residuos generados. Siempre habrá una proporción importante de residuos que requerirán un manejo al final del proceso. La estrategia más sensata desde el punto de vista ambiental es, más que solucionar los problemas de residuos una vez que éstos se han generado, tratar de reducir o abatir su producción a través de prácticas de minimización, aunque existen obstáculos que dificultan su implantación y seguimiento. Estos tienen que ver con aspectos culturales y organizativos, inercias al cambio, la necesidad de justificar inversiones no amortizadas, y una regulación inadecuada que no establece los incentivos necesarios.

Desde luego, las limitaciones económicas juegan un papel preponderante para impedir el desarrollo suficiente de las estrategias de minimización. Deben destacarse por otro lado, obstáculos de tipo administrativo, entre los que resalta una vigilancia no especializada ni suficiente que no impide la disposición ilegal e incontrolada de los residuos, y los enfoques de regulación e inspección tradicionales, que se centran prioritariamente en opciones de confinamiento o destrucción<sup>(10,14)</sup>

### **2.4 PLANIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN PARA LA MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS**

Un plan de minimización demanda el apoyo decidido de las autoridades y un convencimiento de que los beneficios superan a los costos. Debe siempre de tenerse en cuenta al hacer la evaluación, los costos directos asociados al manejo convencional de residuos, los costos ocultos del manejo tradicional de residuos, además de los costos asociados a riesgos y responsabilidades futuros.

El plan de minimización debe de contar con objetivos claros, flexibles, cuantificables y comprensibles para todos además de alcanzables con los medios materiales y humanos disponibles.

El plan de minimización debe partir también de una auditoría donde se identifiquen las corrientes de residuos, se caractericen y cuantifiquen, y donde se determinen las causas fuentes y procesos al igual que los costos completos de su manejo<sup>(14)</sup>.

### *CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE CORRIENTES PRIORITARIAS*

Los planes de minimización requieren clasificar y priorizar las corrientes de residuos de acuerdo a su importancia en términos de la regulación existente, su peligrosidad, consumo de materiales y energía, costos actuales y previstos, posibles responsabilidades futuras, riesgo para los trabajadores, riesgo para el ambiente y potencial de minimización

### *IDENTIFICACIÓN DE OPCIONES DE MINIMIZACIÓN*

Las opciones pueden incluir la reducción en su origen, el reciclaje en el mismo proceso donde se generan, el reciclaje en otros procesos, o la recuperación de materiales secundarios y el aprovechamiento del contenido energético de los residuos.

Generalmente las opciones de minimización incluyen el mejoramiento en las prácticas de control de calidad, la sustitución de materias primas, el tratamiento previo de las mismas, la optimización de reacciones químicas, la reformulación de productos, la modificación de equipos, cambios en la secuencia de producción o modificaciones de diseño. Esto que significa una modificación en los procesos productivos, puede traer ahorros importantes a través de un abatimiento en el consumo de materias primas, de energía, una reducción en los costos de manejo de residuos, incrementos en la capacidad y reducción en los costos operativos.

En este sentido se plantea, para promover la minimización en empresas industriales, desarrollar las siguientes acciones:

- Fortalecimiento del marco jurídico y normativo
- Revisión a normas existentes
- Atención a zonas, ramas y corrientes críticas
- Cumplimiento de la ley y vigilancia eficiente <sup>(14)</sup>

## **CAPITULO 3**

### **REGULACIÓN DE LOS RESIDUOS**

#### **3.1 DESARROLLO REGULATORIO E INSTITUCIONAL**

La política ambiental mexicana tiene una historia de poco más de tres décadas, cuando se crea la Subsecretaría de Protección al Ambiente, adscrita a la Secretaría de Salubridad y Asistencia, y que se enmarca jurídicamente en la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental de 1971.

Posteriormente, en el Plan Global de Desarrollo 1980- 1982, se mencionan ya estrategias de prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo. La protección del ambiente y su gestión cobró importancia creciente, tal como se reflejó en los Planes Nacionales de Desarrollo de los sexenios 1983-1988 y 1989- 1994. En forma correspondiente se elaboraron el Programa Nacional de Ecología 1984- 1988 y el Programa Nacional de Protección al Medio Ambiente 1990- 1994.

A partir de 1983 es responsabilidad de la Subsecretaría de Ecología, de la SEDUE, habiéndose modificado la ley anterior para convertirse en la Ley Federal de Protección al Ambiente. En 1988 fue promulgada la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, (LGEEPA), así como leyes locales en 31 entidades federativas y cinco reglamentos a la Ley General, entre ellos:

- Evaluación de Impacto Ambiental; Residuos Peligrosos y de Transporte Terrestre de Residuos Peligrosos.
- La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, que integró los instrumentos de acción, definió mejor los principios y orientaciones, estableció las bases para la interacción entre órdenes de gobierno, introdujo nuevos elementos sobre control, seguridad y participación.

En 1990 se formuló el Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994 y se complementó con diversos planteamientos emanados de la Conferencia de Naciones Unidas sobre ambiente y Desarrollo de 1992, así como otros aportes internacionales.

En 1992 las atribuciones normativas y de definición de política fueron asignadas al Instituto Nacional de Ecología (INE), y las de vigilancia y fiscalización a la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) En diciembre de 1994 se creó la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca como una dependencia integradora encargada del aprovechamiento ordenado de los recursos naturales y de la protección ambiental. <sup>(3,17)</sup>

#### **3.2 INSTITUCIONES RESPONSABLES**

En materia ambiental, las acciones federales que se desarrollan en los estados están desconcentradas en las subdelegaciones de Medio Ambiente de las delegaciones federales de la SEMARNAT, y en las delegaciones de la PROFEPA. En las primeras se llevan a cabo tareas relacionadas el INE, y en las segundas se encuentran ubicadas las acciones de inspección competencia de la PROFEPA. En la Ciudad de México, la Comisión Para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México, donde convergen representantes de nueve secretarías de Estado, tres órganos desconcentrados, del Distrito Federal y el Estado de México es la responsable del control ambiental.

En el ámbito local, los gobiernos estatales de los 31 estados y el Distrito Federal cuentan con oficinas estatales de ecología. Con respecto a los municipios la situación es todavía más dispar y extremosa ya que de los 2,412 municipios que hay en el país, la mayor parte de ellos son rurales y la legislación se refiere casi exclusivamente a asuntos urbanos<sup>(3)</sup>

### 3.3 MARCO REGULATORIO

Para controlar y minimizar los peligros relacionados con los residuos se han establecido una legislación (leyes, reglamentos y normas) y procedimientos administrativos (manifiestos, autorizaciones, permisos, licencias y registros) que definen las condiciones y restricciones que aplican a las diversas fases del ciclo de vida (recolección, almacenamiento, envasado, etiquetado, transporte, tratamiento y disposición final) de los residuos ya sean sólidos municipales o residuos peligrosos o especiales<sup>(3)</sup> (Fig. 3.1)

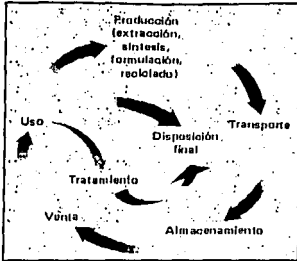


FIGURA 3.1 CICLO DE VIDA DE LOS RESIDUOS<sup>(4)</sup>

Se tiene listo el anteproyecto de la norma oficial mexicana:

- Procedimientos para la clasificación, separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos generados en hospitales y establecimientos que presten atención médica.

En lo referente a los residuos peligrosos se tiene la siguiente normas referente al tratamiento por incineración de dichos residuos.

- **NOM-087-ECOL-1995** que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica. (DOF, 11/11/1995)

y se encuentra en desarrollo el proyecto de norma:

- Tratamiento térmico de residuos peligrosos.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Cuenta con 3 Reglamentos en materia de:

- Impacto Ambiental
- Residuos Peligrosos
- Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera<sup>(3)</sup>

La ley se refiere a los residuos peligrosos, estableciendo que el manejo de los materiales y residuos peligrosos se debe hacer de acuerdo a la Ley, su Reglamento y las Normas Oficiales Mexicanas que expida la SEMARNAT y que la regulación de esos materiales y residuos peligrosos incluirá, según corresponda, su uso, recolección, almacenamiento, transporte, reuso, reciclaje, tratamiento y disposición final, considerando que el manejo y disposición final de los residuos peligrosos corresponde a quien los genera, aún cuando se contrate los servicios de manejo y disposición final de los residuos peligrosos con empresas autorizadas por la Secretaría, caso en el que la responsabilidad es compartida. Asimismo, se establece que el manejo de residuos peligrosos debe

hacerse del conocimiento de la SEMARNAT de la cual se requiere autorización previa para operar e instalar los sistemas necesarios. Es importante citar que dentro del Código Penal para el Distrito Federal en Materia de Fuero Común, y para toda la República en Materia de Fuero Federal, se encuentran ya tipificados los Delitos Ambientales<sup>(3,36,37)</sup>.

Para la regulación del manejo de residuos considerados como peligrosos, se han emitido las siguientes Normas Oficiales Mexicanas:

**TABLA 3.1 NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS<sup>(17,21,23)</sup>**

|                        |   |
|------------------------|---|
| <b>NOM-052-ECOL-93</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente</li> </ul>  |
| <b>NOM-053-ECOL-93</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente</li> </ul>  |
| <b>NOM-054-ECOL-93</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-055-ECOL-93</li> </ul>  |
| <b>NOM-055-ECOL-93</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos excepto de los radioactivos.</li> </ul>   |
| <b>NOM-056-ECOL-93</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.</li> </ul>  |
| <b>NOM-057-ECOL-93</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos</li> </ul>  |
| <b>NOM-058-ECOL-93</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.</li> </ul>   |
| <b>NOM-083-ECOL-96</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los residuos sólidos municipales</li> </ul>   |
| <b>NOM-087-ECOL-95</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos Biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica</li> </ul> |

Y está en estudio la siguiente norma:

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>NOM-098-ECOL-2000 (Proyecto)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Protección ambiental, incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes</li> </ul> |
|-------------------------------------|---|

La normalización en materia de residuos peligrosos tiene las siguientes limitaciones:

- Las normas tienden a restringirse a la definición de los propios residuos, a pruebas para determinar su toxicidad e incompatibilidad y a ciertos requisitos para el diseño y operación de confinamientos.
- La normatividad debe estar referenciada a la mayor parte de las cadenas relevantes en el manejo de residuos peligrosos, incluyendo el tratamiento térmico, el reciclaje, la recuperación de materiales secundarios y la recuperación de energía, entre otros.
- Debe consolidarse un esquema normativo que considere de manera explícita la minimización en la generación de residuos, y no solamente a la disposición final.
- Debe buscarse la homologación de los listados mexicanos de los residuos peligrosos con respecto a otros listados (OCDE, Convenio de Basilea, EPA, etc.)
- Es importante diferenciar a los residuos por su peligrosidad.
- Es necesario que la normatividad contemple para cada opción de manejo de residuos (confinamiento, reciclaje, etc.), condiciones de tratamiento previo en términos de estabilización termodinámica y cinética y de neutralización química, entre otras.
- La normatividad debe establecer criterios y procedimientos para la remediación de sitios contaminados por diferentes tipos de residuos y definir criterios que establezcan niveles de remediación, metas y objetivos.



- Plantear una definición adecuada de residuos especiales, los cuales requieren un manejo específico.
- El seguimiento de los residuos peligrosos está constituido por los siguientes siete manifiestos:
- De entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos.
  - De reporte semestral de residuos peligrosos recibidos para reciclaje o tratamiento.
  - De reporte mensual de residuos peligrosos confinados en sitios de disposición final.
  - De reporte semestral de residuos peligrosos enviados para su reciclaje, tratamiento, incineración o confinamiento.
  - Para casos de derrame de residuos peligrosos por accidente. <sup>(3)</sup>

### 3.4 INSPECCIÓN Y VIGILANCIA Y CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD

El procedimiento administrativo de inspección incluye las siguientes 4 etapas:

- Visita de Inspección
- Ofrecimiento y desahogo de pruebas
- Emisión de la resolución correspondiente
- Verificación del cumplimiento de la resolución.

Para el establecimiento de instalaciones donde se manejen residuos, es necesario un procedimiento legal y la realización de diversas gestiones ante las autoridades correspondientes, como se especifica en la tabla No. 3.2<sup>(2)</sup>

**TABLA 3.2 PROCEDIMIENTO QUE DEBE CUMPLIR UNA EMPRESA PARA OBTENER LA AUTORIZACIÓN DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN PARA OTORGAR SERVICIO DE INCINERACIÓN<sup>(2)</sup>**

| REQUISITO   | ESPECIFICACIÓN   | MARCO LEGAL   |
|---|--|---|
| Carta intención a la Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas. | Alcance del proyecto, tipo de residuo, instalación, área geográfica de influencia y tipo de administración.  | (LGEEPA)  |
| Plan rector del uso del suelo.  | Autorización de uso del uso del suelo otorgada por el Gobierno Estatal, Municipal o ambos.   | Ley de Obras Públicas.                                      |
| Presentar el Proyecto Ejecutivo de la instalación para su revisión y autorización.      | Estudios, procesos, diagramas, planos, especificaciones, guías mecánicas, memorias de cálculo, así como diseños y manuales de operación, tomando en cuenta las normas técnicas vigentes debidamente complementados con los planos, cortes y detalles a escala, de cada una de las partes integrantes del proyecto. | (LGEEPA)  |
| Cumplir con el Manifiesto de Impacto Ambiental (MIA)                                    | Manifestación de impacto ambiental en la modalidad que señale la Dirección General de Ordenamiento Ecológico de Impacto Ambiental.   | (LGEEPA)  |
| Cumplir con el Estudio de Riesgo Ambiental.   | Anexar a la manifestación de Impacto Ambiental el estudio de riesgo en la modalidad que señale la Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental.   | (LGEEPA)  |
| Autorización de funcionamiento en materia de contaminación ambiental de la DGOEIA.      | Acatar las condiciones fijadas en la autorización del funcionamiento correspondiente.  | (LGEEPA)  |
| Cumplir con protocolo de pruebas.   | Realizar la supervisión y pruebas previas de las instalaciones y equipos para establecer condicionantes, especificaciones y eficiencias en la operación de la estación (Aire, residuos sólidos y seguridad)  | Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos   |
| Obtener autorización para operar DGMRRAR.   | Apegarse a los condicionantes generales que establece la normatividad ambiental en materia de residuos peligrosos, así como las específicas del proyecto.  | (LGEEPA) y su reglamento en materia de residuos peligrosos. |

En caso del incumplimiento de estas medidas se aplican sanciones mayores e incluso la clausura.

### **3.5 INSTRUMENTOS DE CONTROL**

Los instrumentos más importantes en materia de residuos industriales peligrosos se señalan a continuación:

#### *REGULACIÓN DIRECTA DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS Y RIESGO*

La regulación directa incluye a todo el sistema de permisos, autorizaciones y manifiestos que se aplican a la generación y manejo de residuos, y que están previstos en la legislación.

#### *EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL*

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta para generar información ambiental y con ello, un proceso analítico para evaluar elementos más comprensivos de costo y beneficio social en cada proyecto de desarrollo.

#### *ESTUDIOS DE RIESGO*

Para la atención del riesgo ambiental existen los estudios de riesgo como instrumento de carácter preventivo vinculado al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, cuando se trata de nuevos proyectos.

#### *NORMATIVIDAD*

La expedición de normas es uno de los pilares de la política ecológica, y se constituye como un esfuerzo regulatorio para adecuar las conductas de agentes económicos a los objetivos sociales de calidad ambiental.

Las NOM son un instrumento muy poderoso, no sólo por su capacidad de controlar los procesos productivos, sino particularmente por su capacidad de inducir cambios de conducta e internalizar costos ambientales.

#### *INFORMACIÓN*

La información ambiental es fundamental para establecer horizontes de política, objetivos y prioridades, para evaluar el desempeño de las propias políticas. Igualmente, la Información contribuye a facilitar la acción colectiva y ensanchar los márgenes de maniobra de la autoridad al crear y documentar consensos sociales.

#### *CONCERTACIÓN Y CONCURRENCIA*

Los sectores organizados de la población, tanto instituciones académicas y grupos de interés como organismos no gubernamentales pueden integrarse en ámbitos técnicos, administrativos, económicos y consultivos para asumir responsabilidades en una tarea importante de diseño y aplicación de políticas ambientales y en la atención de problemas específicos.

#### *INSTRUMENTOS ECONÓMICOS*

El objetivo principal de los instrumentos económicos es lograr de manera eficiente la internalización de costos ambientales, haciendo que el responsable de los mismos sea quien los asuma plenamente

#### *INSPECCIÓN Y VIGILANCIA*

En gran medida el éxito de los instrumentos regulatorios planteados depende de que existan instancias de verificación de su cumplimiento. Sin ellas estaríamos ante un vacío que haría que su efectividad fuera mínima. Estas actividades requieren gran cantidad de recursos materiales y particularmente humanos<sup>(3,20,38)</sup>

### **3.6 COMPARACIÓN DE LAS LEGISLACIONES ESTADOUNIDENSE Y ALEMANA EN MATERIA DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS.**

Debido a que en Estados Unidos y Alemania las normas están referidas a condiciones de operación distintas, es difícil realizar una comparación. Sin embargo, en la tabla 3.3 se confrontan las diferentes normas y criterios para las condiciones de operación indicadas<sup>(4)</sup>

**TABLA 3.3 NORMAS DE EMISIÓN PARA INCINERADORES EN ESTADOS UNIDOS Y ALEMANIA1990 <sup>(4)</sup>**

| PROCESO/<br>PARÁMETRO                           | ESTADOS UNIDOS  | ALEMANIA  |
|---|---|---|
| Separación de materiales                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 25% de reducción del residuo municipal de: papel, metal, vidrio, plástico, de origen vegetal, etc.</li> <li>- Prohibición de incinerar baterías de automóvil de tipo plomo / ácido;</li> <li>- Remoción del residuo de pilas domésticas</li> </ul>                           | Reciclaje del residuo en la medida en que sea técnicamente factible   |
| CO  | - 50 ppmv a 150 ppmv (promedio de cuatro horas) según el tipo de incinerador  | - 50 mg/m <sup>3</sup> en promedio diario;<br>- 100 mg/m <sup>3</sup> en promedio horario. Además, no deben exceder el 90% de los valores medidos en 24 horas 150 mg/m <sup>3</sup> (valores con base en 11% de oxígeno en volumen)   |
| Temperatura                                     | - Máxima temperatura de gases de escape a la entrada del equipo de control de partículas, de 450°F o menos  | - La temperatura tiene que ser por lo menos de 850°C en el aire de alimentación. En la cámara de postcombustión tiene que haber todavía 1200°C y 6% en vol de O <sub>2</sub> ó 3% en caso de combustibles líquidos o incineración en condiciones intencionalmente pobres de oxígeno. Las temperaturas, tiempos de retención y % de oxígeno pueden variar si se demuestra que no se generan los contaminantes orgánicos críticos, como dioxinas  |
| Metales pesados y partículas                    | <p>a) Partículas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nuevas instalaciones: 0.015 gr/dscf</li> <li>- Norma federal: 0.015 gr/dscf &gt; 2200 tpd, 0.030 gr/dscf &lt; 2200 tpd</li> </ul>  | <p>Partículas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>&lt;/= 30 mg/m<sup>3</sup> promedio de media hora,</li> <li>&lt;/= 10 mg/m<sup>3</sup> promedio diario.</li> </ul> <p>Metales pesados promedio sobre el periodo de muestreo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cd, Tl en total &lt;/= 0.05 mg/m<sup>3</sup>,</li> <li>Hg &lt;/= 0.05 mg/m<sup>3</sup></li> <li>Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn en total &lt;/= 0.5 mg/m<sup>3</sup>.</li> </ul> <p>Periodo de muestreo mínimo de 0.5 horas y máximo de 2 horas</p>   |
| Emisiones orgánicas (dioxinas-CDD, furanos-CDF) | <p>CDD/CDF:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nuevas Instalaciones: 5-30 ng/Nm<sup>3</sup> (&gt; 250 tpd). 75 ng/Nm<sup>3</sup> (&lt;/= 250 tpd)</li> <li>- Norma federal: 5-30 ng/Nm<sup>3</sup> (&gt; 2200 tpd). 125 ng/Nm<sup>3</sup> (&gt; 250 tpd). 500 ng/Nm<sup>3</sup> (&lt;/= 250 tpd)</li> </ul> | <p>Orgánicos indicados como Carbón-total:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-No deben de exceder los 10 mg/m<sup>3</sup> en el gas de escape en promedio diario; y los 20 mg/m<sup>3</sup> en promedio de 30 minutos.</li> <li>- Dioxinas y furanos: ningún valor promedio en cualquier periodo de muestreo debe exceder 0.1 ng/m<sup>3</sup>.</li> </ul> <p>Periodo de muestreo mínimo de 6 horas; máximo de 16 horas.</p>  |
| Sustancias cancerígenas                         |   | <p><b>-Clase I:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Asbesto (cristolito, crocidolita, amosita, antofilita, actinolita y tremolita) como polvo fino.</li> <li>Benzo(a)pireno; berilio y sus compuestos en forma respirable; dibenzo (a, h) antraceno; 2- naftilamina con un flujo máscico de 0.5 g/h más 0.1 mg/metro cúbico.</li> </ul> <p><b>-Clase II:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Trióxido de arsénico y pentóxido de arsénico; ácido arsénico y sus sales en forma respirable.</li> <li>- Compuestos de cromo en forma respirable (cromato de calcio, cromo III cromato, cromato de estroncio y cinc).</li> <li>- Cobalto en forma respirable, aerosoles de cobalto metálico, sales difícilmente solubles de cobalto.</li> <li>- 3,3-diclorobenzidina; dimetilсульфид; etilenimina; níquel en forma de polvos respirables/aerosoles de níquel metálico, sulfuro de níquel y sulfídicos; óxidos y carbonato de níquel, tetracarbonilo de níquel, en un flujo máscico de 5g/h o más de 1 mg/metro cúbico.</li> </ul> <p><b>- Clase III:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nitrilo acrílico; benceno; 1,3- butadieno; 1- cloro-2,3-epoxipropano; 1,2-dibromometano; 1,2-epoxipropano; óxido de etileno; hidracona; cloruro vinílico; en un flujo máscico de 25 g/h o más 5 mg/metro cúbico.</li> </ul> <p>En caso de existir sustancias de varias clases y de pertenecer a las clases</p> |

|                                  |  |   |
|----------------------------------|--|---|
|                                  |  | I y II, no se debe sobrepasar la concentración total de un mg/m <sup>3</sup> ; en el caso de clase I y III ó II y III, no se debe sobrepasar la concentración de cinco mg/m <sup>3</sup> .  |
| Emisiones de gases ácidos, HCL   | - Nuevas instalaciones:<br>95% ó 25 ppmv (>250 tpd)<br>80% ó 25 ppmv (</=250 tpd)<br>-Norma federal:<br>95% ó 25 ppmv (>2 200 tpd)<br>50% ó 25 ppmv (>250 tpd)<br>-No hay norma para </=250 tpd  | - Compuestos gaseosos de cloro inorgánico: en promedio diario </= 10 mg/m <sup>3</sup> .<br>- En promedio de 30 minutos </= 60 mg/m <sup>3</sup> .  |
| SO <sub>2</sub> /SO <sub>3</sub> | - Nuevas instalaciones:<br>85% ó 30 ppmv (>250 tpd)<br>50% ó 30 ppmv (</= 250 tpd)<br>- Norma federal: 85% ó 30 ppmv (>2 200 tpd)<br>50% ó 30 ppmv (> 250 tpd)<br>- No hay norma para </=250 tpd | En promedio diario </= 50 mg/m <sup>3</sup> .<br>En promedio de 30 minutos </= 0.2 g/m <sup>3</sup> .   |
| Nox                              | - Nuevas instalaciones:<br>120 - 200 ppmv (>250 tpd, valor preciso a determinar)<br>- Norma federal: No especificado.  | En promedio diario </= 0.2 g/m <sup>3</sup> .<br>En promedio 30 minutos </= 0.4g/m <sup>3</sup> .   |
| - Monitoreo continuo:            | - Nuevas instalaciones:<br>NOX, SO <sub>2</sub> , opacidad, buenas prácticas de combustión; anualmente o cada tres años, partículas, CDD/CDF, HCl.   | - Para incineradores de residuo municipal y flujo de masa > 0.75 t/h - polvo, compuestos inorgánicos gaseosos de cloro.<br>- Para otras instalaciones de incineración además se monitorea SO <sub>2</sub> , compuestos gaseosos inorgánicos de Fluoruro; estas mediciones se pueden ahorrar, si está demostrado que solamente se originan pequeñas cantidades de estos contaminantes.<br>[TA-Luft].<br><br>Se deben de monitorear continuamente: CO, polvo, C-org., compuestos CL, HF, SOx, NOx, O <sub>2</sub> , Temperatura, humedad relativa, volumen de gases de escape, presión. |

#### Notas

Parámetros sin comparación entre las diferentes legislaciones:

- EUA: opacidad: 10%
- Alemania: HF: Los compuestos inorgánicos de fluoruro no deben exceder la concentración en masa de un mg/m<sup>3</sup> en promedio diario y la de cuatro mg/m<sup>3</sup> en promedio de 30 minutos en el gas de escape [17.BImSchV]. Se puede desistir de la medición de compuestos de fluoruro si se cuenta con instalaciones para eliminar compuestos gaseosos inorgánicos de cloro que garantizan que los valores límite indicados en la legislación no se exceden.
- Según la opinión de expertos estadounidenses, los valores límite indicados por la NSPS son cumplidos en el mejor caso por 50% de los incineradores en los Estados Unidos de América.

## CAPITULO 4

# ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS DESDE UNA ÓPTICA SANITARIO AMBIENTAL

### 4.1 LA ELIMINACIÓN DE LOS RESIDUOS

En la evolución histórica de la gestión de los residuos sanitarios, el primer enfoque utilizado para el tratamiento y eliminación, especialmente durante las décadas de 1950 y 1960, fue la incineración intra hospitalaria del residuo en hornos pirolíticos. El sistema se ha empleado, sobre todo, para la eliminación de los restos anatómicos. Este tipo de hornos adquirió una gran prevalencia y, de hecho, hasta hace relativamente pocos años eran el sistema generalizado de tratamiento final en la mayoría de los países incluido el nuestro. Prácticamente hasta finales de los años 70, la escasa regulación legal promulgada sobre emisión de gases al medio ambiente, permitió que este tipo de instalaciones siguiera funcionando.

A partir de ese momento, algunos países establecen normas de control de la contaminación ambiental más estrictas que, inevitablemente, afectarían a los hornos incineradores de residuos. En este sentido, en 1974, el Ministerio de Sanidad de la República Federal de Alemania fue el primero en dictar una directriz medioambiental reguladora de las emisiones. Junto con este hecho, la aparición del SIDA en 1981 y la identificación del VIH como agente causal en 1984, hicieron que tanto la población general como el personal sanitario reconsideraran el riesgo de manipular residuos infecciosos. Ambas circunstancias determinaron un nuevo giro en la percepción del riesgo, la conceptualización y la gestión de los residuos peligrosos. En la década de los años 80 numerosos países iniciaron la regulación legal de sus residuos sanitarios (Francia en 1982, Alemania en 1983, Holanda en 1985, etc.) Un primer efecto de estas regulaciones fue el aumento de la proporción de residuos que los centros sanitarios clasificaban como "de riesgo". A ello contribuyó, sin duda, la presión de la opinión pública en relación con los residuos infecciosos y la difusión de una visión que sobrestima el peligro potencial de los mismos. Durante los últimos años, las innovaciones habidas en el ámbito de las actividades hospitalarias han traído consigo un incremento del volumen de desechos clínicos y de la variedad de residuos que, además, contenían proporciones crecientes de compuestos plásticos clorados, que plantea el problema de su eliminación como un cambio de estrategia en el tratamiento de los mismos hasta conseguir su supresión. Hay que tener en cuenta que la composición del residuo varía notablemente según el tipo de centro y entre centros similares puede ofrecer también notable variedad según el tipo de clasificación que se aplique. Por eso convendría crear campañas de concientización ambiental, en la cual se favorezca la separación de los residuos desde su generación, manteniéndolos separados en su transporte, para conducirlos a una planta de reclasificación, favoreciendo su reciclaje, y sólo se llevarían al sitio de descarga final, los residuos que no tienen mercado en ese momento o que son peligrosos. Se podría aumentar la cantidad de residuos sólidos reciclados, si se logra seleccionar, al menos tres tipos de residuos:

- *Húmedos-Orgánicos o putrescibles*, que equivalen aproximadamente al 50% del peso de los residuos domésticos, los cuales pueden ser compostados para reciclarlos como mejoradores de suelos agrícolas;
- *Secos-Inorgánicos*, que equivalen al 45%, y que pueden ser reprocesados de manera industrial;

- Y Peligrosos, que equivalen al 5%, los cuales no conviene reciclar por los peligros inherentes.

En la actualidad, gran número de hospitales y centros de enseñanza disponen de un horno de incineración con poca capacidad. Para llevar a cabo un tratamiento adecuado y seguro para la eliminación de residuos generados en el centro, se debe proponer una gestión racional, inocua y segura que resuelva el problema y que básicamente consiste en la correcta segregación, envasado, transporte y destrucción de estos residuos, en el cumplimiento cabal de la legislación mexicana<sup>(3,6,19)</sup>.

El Convenio de Basilea considera las siguientes características peligrosas, operaciones de eliminación, operaciones de recuperación, reciclado, regeneración, reutilización directa y otros usos, de los residuos peligrosos.

TABLA 4.1 LISTA DE CARACTERÍSTICAS PELIGROSAS<sup>(4)</sup>

| CLASE ONU | CÓDIGO | CARACTERÍSTICAS  |
|-----------|--------|--|
| 1         | H1     | - Explosivos. Toda sustancia o desecho sólido o líquido (o mezcla de sustancias o desechos) que por sí misma es capaz, mediante reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la zona circundante.   |
| 3         | H3     | - Líquidos inflamables. Aquellos líquidos, o mezclas de líquidos, o líquidos con sólidos en solución o suspensión (por ejemplo, pinturas, barnices, lacas, etc. pero sin incluir sustancias o desechos clasificados de otra manera debido a sus características peligrosas) que emiten vapores inflamables a temperaturas no mayores de 60.5oC, en ensayos con cubeta abierta. |
| 4.1       | H4.1   | - Sólidos inflamables, que en las condiciones prevalientes durante el transporte son fácilmente combustibles o pueden causar un incendio o contribuir al mismo, debido a la fricción.  |
| 4.2       | H4.2   | - Sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea, en las condiciones normales del transporte, o de calentamiento en contacto con el aire, y que pueden entonces encenderse.   |
| 4.3       | H4.3   | - Sustancias o desechos que, en contacto con el agua, son susceptibles de inflamación espontánea o de emisión de gases inflamables en cantidades peligrosas.   |
| 5.1       | H5.1   | - Oxidantes. Sustancias o desechos que, sin ser necesariamente combustibles, pueden, en general, al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales.   |
| 5.2       | H5.2   | - Peróxidos orgánicos. Las sustancias o los desechos orgánicos que contienen la estructura bivalente -O-O- son sustancias inestables térmicamente que pueden sufrir una descomposición auto acelerada exotérmica.  |
| 6.1       | H6.1   | - Tóxicos (venenos) agudos que pueden causar la muerte o lesiones graves o daños a la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.   |
| 6.2       | H6.2   | - Sustancias infecciosas que contiene microorganismos viables o sus toxinas, agentes conocidos o supuestos de enfermedades en los animales o en el hombre.   |
| 8         | H8     | - Corrosivos, que por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan, o que en caso de fuga, pueden dañar gravemente, o hasta destruir, otras mercaderías o los medios de transporte; o pueden también provocar otros peligros.  |
| 9         | H10    | - Sustancias o desechos que, por reacción con el aire o el agua, pueden emitir gases tóxicos en cantidades peligrosas.   |
| 9         | H11    | - Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos), que al ser aspirados o ingeridos, o al penetrar en la piel, pueden entrañar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogénea.  |
| 9         | H12    | - Ecológicos, que tienen o pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente, debido a la bioacumulación o los efectos tóxicos en los sistemas bióticos.  |
| 9         | H13    | - Sustancias que, por algún medio, después de su eliminación, dan origen a otra sustancia, por ejemplo, un producto de lixiviación, que posee alguna de las características arriba expuestas.  |

**TABLA 4.2 OPERACIONES DE ELIMINACIÓN (Operaciones que NO pueden conducir a la Recuperación de Recursos, el Reciclado, la Regeneración, la Reutilización Directa u Otros Usos)**

- Depósito dentro o sobre la tierra (por ejemplo, rellenos, etc.)
- Tratamiento de la tierra (por ejemplo, biodegradación de desperdicios líquidos o fangosos en suelos, etc.)
- Inyección profunda (inyección de desperdicios bombeables en pozos, domos de sal, fallas geológicas, etc.)
- Embalse superficial (vertido de desperdicios líquidos o fangosos en pozos, estanques, lagunas, etc.)
- Rellenos especialmente diseñados (vertido en compartimentos estancos separados, recubiertos y aislados unos de otros y del ambiente, etc.)
- Vertidos en una extensión de agua, con excepción de mares y océanos
- Vertido en mares y océanos, inclusive la inserción en el lecho marino
- Tratamiento biológico no especificado en otra parte de este anexo que dé lugar o compuestos o mezclas finales que se eliminen mediante cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A
- Tratamiento fisicoquímico no especificado en otra parte de este anexo que dé lugar a compuestos o mezclas finales que se eliminen mediante cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A (por ejemplo, evaporación, secado calcinación, neutralización, precipitación, etc.)
- Incineración en la tierra
- Incineración en el mar
- Depósito permanente (colocación de contenedores en una mina, etc.)
- Combinación o mezcla con anterioridad a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A
- Reempaquetado con anterioridad a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A
- Almacenamiento previo a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección A

**TABLA 4.3 OPERACIONES QUE PUEDEN CONDUCIR A LA RECUPERACIÓN DE RECURSOS, EL RECICLADO, LA REGENERACIÓN, LA REUTILIZACIÓN DIRECTA Y OTROS USOS (Operaciones con respecto a materiales que son considerados o definidos jurídicamente como desechos peligrosos y que de otro modo habrían sido destinados a una de las operaciones indicadas en la sección A)<sup>(4)</sup>**

- Utilización como combustible (que no sea en la incineración directa) u otros medios de generar energía
- Recuperación o regeneración de disolventes
- Reciclado o recuperación de sustancias orgánicas que no se utilizan como disolventes
- Reciclado o recuperación de metales y compuestos metálicos
- Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas
- Regeneración de ácidos o bases
- Recuperación de componentes utilizados para reducir la contaminación
- Recuperación de componentes provenientes de catalizadores
- Regeneración u otra reutilización de aceites usados
- Tratamiento de suelos en beneficio de la agricultura o el mejoramiento ecológico
- Utilización de materiales residuales resultantes de cualquiera de las operaciones numeradas de R1 a R10
- Intercambio de desechos para someterlos a cualquiera de las operaciones numeradas de R1 a R11
- Acumulación de materiales destinados a cualquiera de las operaciones indicadas en la sección B

## 4.2 REPERCUSIONES AMBIENTALES

Uno de los riesgos ambientales es el uso intensivo de productos químicos que son precursores de residuos peligrosos, algunos de los cuales tienen características de peligrosidad para la salud humana y la de los ecosistemas. El daño que estas sustancias pueden causar depende en primera instancia de su grado de toxicidad, pero también de que los volúmenes de generación y su persistencia propicien que alcancen concentraciones suficientes para causar efectos nocivos. La preocupación por las sustancias químicas potencialmente tóxicas se centra en aquellas que poseen propiedades de alta toxicidad, de persistencia ambiental o de bioacumulación.

Se ha hecho evidente que toda sustancia química puede encerrar peligros para la salud y seguridad de los seres vivos y el ambiente, si alcanza una concentración dada y la exposición se prolonga el tiempo suficiente para que ejerza sus efectos, que pueden manifestarse en:

- IMPACTOS ECOLÓGICOS EN LOS ECOSISTEMAS
- IMPACTOS EN RECURSOS HÍDRICOS

- RIESGOS DE SALUD AMBIENTAL (TÓXICOS)
- RIESGOS POR ACCIDENTES O CONTINGENCIAS

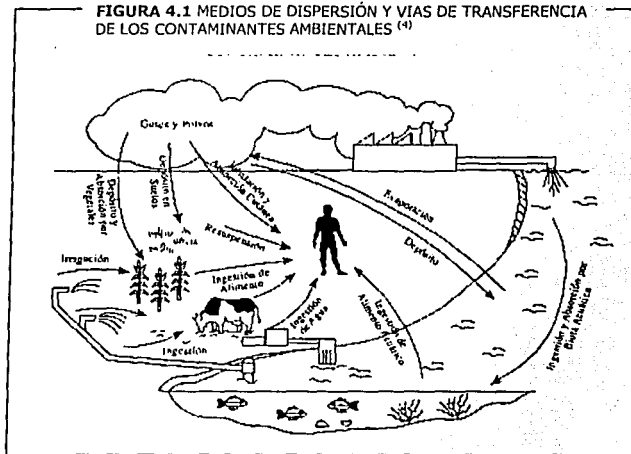
#### IMPACTOS ECOLÓGICOS EN LOS ECOSISTEMAS

Una vez en el ambiente los contaminantes tóxicos pueden ser ingeridos y retenidos en altas concentraciones por los organismos vivos, ocasionándoles serios trastornos, incluso la muerte. Si se encuentran en bajas concentraciones, causan efectos sub-letales, como la reducción del tiempo de vida de ciertas especies o el incremento de la susceptibilidad a enfermedades o bien pueden causar efectos mutagénicos y teratogénicos.

La presencia de compuestos químicos extraños para los ciclos naturales (Fig. 4.1) puede también interferir con la movilidad de otros compuestos que son importantes para los procesos biológicos. Los organismos poseen una resistencia variable a los contaminantes, según el grado de aclimatación al tóxico. Por ejemplo, algunas especies de animales son capaces de acoplar y de disminuir o anular la toxicidad de algunos metales pesados incorporándolos en proteínas; sin embargo, otros compuestos, como los organoclorados, pueden dar lugar a metabolitos de mayor toxicidad que el compuesto que los genera.

Algunos de los procesos naturales más relevantes en el movimiento de sustancias tóxicas y de residuos peligrosos en el ambiente, son:

FIGURA 4.1 MEDIOS DE DISPERSIÓN Y VÍAS DE TRANSFERENCIA DE LOS CONTAMINANTES AMBIENTALES (4)



- La *lixiviación*, que es la transferencia de un componente soluble de un sólido a un disolvente adecuado.

- La *absorción* es el proceso mediante el cual una sustancia se transfiere de un fluido (líquido o gas) a un líquido o sólido absorbente quedando disuelta en él.

- La *desorción* es el proceso inverso, es decir la transferencia de un componente en un sólido o líquido a un gas.

- La *volatilización* consiste en la evaporación de parte de

un componente, el cual genera o se incorpora a una fase gaseosa; en este proceso ocurre una concentración de componentes tanto en la fase líquida como en la fase gaseosa.

- La *bioacumulación* describe la tendencia de ciertas sustancias a acumularse en los tejidos de organismos vivos. La tendencia de una sustancia a bioacumularse se relaciona con las características hidrofóbicas o lipofílicas. (4,27,43)

#### IMPACTOS EN RECURSOS HÍDRICOS



Una de las consecuencias más graves y de mayor preocupación, es la afectación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. En el primer caso la contaminación se produce al infiltrarse el agua de lluvia a través de los residuos depositados en barrancas, cauces de ríos, laderas y grietas, circulando posteriormente con su carga contaminante hacia los cuerpos de agua ubicados en la vertiente. En el caso de los recursos hídricos subterráneos, la contaminación se da mediante un proceso similar, ya que durante y después de los episodios de precipitación pluvial, el agua que se ha percolado por los desechos y que contiene una alta carga contaminante, puede migrar al acuífero y afectar su calidad.

Los productos químicos encontrados en aguas subterráneas se originan principalmente en actividades en zonas urbanas e industriales. Por lo tanto, generalmente las aguas subterráneas contaminadas se localizan cerca de áreas industrializadas o densamente pobladas, circunstancia que incrementa la posibilidad de exposición humana.

Algunos de los contaminantes orgánicos que se han detectado en aguas subterráneas representan un severo riesgo para la salud. Sustancias como el percloroetileno y tricloroetileno producen depresión del sistema nervioso central o afectan el funcionamiento del hígado y riñón, en tanto que el tetracloruro de carbono, el cloroformo y el benceno son agentes cancerígenos.

En México es aún escaso el seguimiento a problemas de contaminación de recursos hídricos. A pesar de que se cuenta con algunos estudios de afectación ocasionada por residuos peligrosos de la industria maquiladora y estudios de impacto ambiental asociados a diversas actividades y proyectos de manejo de residuos peligrosos, aún no se dispone de un banco de información o sistema actualizado en la materia. <sup>(4,27,43)</sup>

#### *RIESGOS DE SALUD AMBIENTAL (TÓXICOS)*

La toxicidad de una sustancia se determina de acuerdo con los efectos letales, crónicos o subcrónicos que pueden presentarse en diferentes organismos o blancos ambientales. Entre los parámetros de toxicidad comúnmente evaluados se destacan los siguientes:

- Letalidad aguda
- Efectos sub-letales en especies no mamíferas
- Efectos sub-letales en plantas
- Efectos sub-letales en mamíferos
- Teratogénicidad
- Genotóxicidad/Mutagénicidad
- Carcinogenicidad <sup>(4,27,43)</sup>

### **4.3 EFECTOS DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS SOBRE EL ORGANISMO HUMANO**

El daño que puede sufrir una comunidad por la emisión de sustancias peligrosas no depende únicamente de las características tóxicas, sino también del hecho de que las sustancias puedan entrar en contacto con la población. La persistencia ambiental se relaciona con la tendencia de una sustancia química a permanecer en el ambiente debido a su resistencia a la degradación química o biológica asociada a los procesos naturales.

Cuando residuos peligrosos entran en contacto con el organismo, se desarrolla un proceso que involucra las siguientes:

### *ETAPAS DE LA INTERACCIÓN DE LOS RESIDUOS HUMANOS CON EL ORGANISMO HUMANO*

- *Exposición:* se considera que un individuo está expuesto cuando el residuo peligroso se encuentra en la vecindad inmediata de las vías de ingreso al organismo: respiratoria (inhalación); tegumentaria (absorción a través de la piel y las mucosas) y gastrointestinal (ingestión)
- *Absorción:* consiste en el paso del residuo peligroso, a través de las membranas biológicas correspondientes, a la circulación sistémica. En la sangre las sustancias que lo componen se solubilizan en el plasma y/o se unen a las proteínas plasmáticas o a los glóbulos rojos.
- *Distribución:* corresponde a la fase en la cual el residuo peligroso o las sustancias que lo componen son distribuidos por la sangre a los tejidos corporales para luego ser metabolizados, retenidos o excretados.
- *Eliminación:* ocurre ya sea por excreción urinaria y/o intestinal y por biotransformación (sinónimo de metabolismo) En términos globales, el metabolismo tiende a generar sustancias menos activas y fácilmente excretables.
- *Acumulación:* de acuerdo con las características físico-químicas del residuo peligroso, o de las sustancias que lo componen, puede llegar a fijarse en ciertos tejidos y acumularse en ellos e interactuar con las macromoléculas celulares.<sup>(4,27,43)</sup>

### *DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN*

La evaluación de la exposición corresponde a la estimación cualitativa o cuantitativa de la dosis (cantidad de sustancia que ingresa al organismo), frecuencia, duración y ruta a través de la cual se produce la exposición.

En el caso de los residuos peligrosos, una dificultad mayor que enfrenta la determinación de la exposición es que frecuentemente se trata de mezclas complejas de sustancias químicas en concentración variada y cuyos efectos pueden diferir en esas condiciones, ya que las sustancias entre sí pueden antagonizarse o potenciarse.

Para determinar la exposición potencial es preciso conocer:

1. El número, tipo y volumen de los agentes químicos desechados; el periodo de tiempo de las operaciones de manejo de los residuos peligrosos y las cantidades de los agentes particulares que los componen en un momento dado.
2. Las rutas más probables de movilización de los residuos peligrosos hasta entrar en contacto con las personas.
3. La integridad y estructura de los depósitos de residuos químicos.
4. Los métodos de contención de los mismos.
5. La persistencia de los agentes químicos.
6. Las características meteorológicas y geológicas del sitio de desecho.
7. Las fuentes de abastecimiento de agua de las poblaciones vecinas.

En general, se considera que la exposición humana potencial es mayor en los sitios activos en los que se manejan residuos peligrosos, que en aquellos que han sido abandonados, salvo que en ellos se encuentren sustancias persistentes y bioacumulables.

La forma más directa de determinar la exposición es por medio del análisis de la concentración alcanzada por las sustancias que componen los residuos peligrosos, en muestras de tejidos o en fluidos biológicos de las personas expuestas.<sup>(42,43)</sup>

## *POSIBLES EFECTOS EN LA SALUD DE LA EXPOSICIÓN A RESIDUOS PELIGROSOS*

- *Afecciones del aparato respiratorio*

La inhalación de sustancias presentes en los residuos peligrosos puede producir diferentes problemas respiratorios que varían en función de las características de dichas sustancias y de la forma y severidad de la exposición. Sustancias como ácidos o bases y agentes corrosivos o altamente reactivos (amoníaco, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y cloro) pueden provocar quemaduras y dar lugar a edemas pulmonares si la exposición es muy alta; en tanto que exposiciones continuas a bajas concentraciones producen irritación de las vías aéreas y favorecen la aparición de infecciones respiratorias en el corto plazo, así como bronquitis o enfisema pulmonar en el mediano y largo plazos. La exposición a fibras como el asbesto puede desarrollar procesos de cicatrización pulmonar y, como consecuencia, una fibrosis pulmonar.

- *Afecciones del sistema cardiovascular*

Se sospecha que sustancias como el bisulfuro de carbono y el plomo pueden provocar depósitos de colesterol en los vasos sanguíneos pequeños, lo que dificulta la circulación sanguínea y aumenta el riesgo de sufrir ataques cardíacos.

- *Afecciones sanguíneas*

Sustancias como el monóxido de carbono, las anilinas, el tolueno y el trinitrotolueno, el benceno, el cloruro de vinilo, el cloruro de metilo, la arsina y el plomo pueden interferir con la habilidad de la hemoglobina para fijar y liberar oxígeno; o dañar la membrana de los glóbulos rojos, con la consecuente liberación de hemoglobina, lo cual puede causar daño renal. De acuerdo con el tipo de exposición, puede producirse anemia aguda o crónica y en algunos casos como ocurre con la exposición al benceno, leucemia.

- *Afecciones hepáticas*

Agentes químicos como el tetracloruro de carbono, el tetracloroetano y otros derivados halogenados; metales como el antimonio, el berilio, el cadmio, el manganeso o el selenio; sustancias como el dioxano, el fenol, el naftaleno, el dimetil sulfato, la hidracina o el nitrobenzono, pueden ocasionar daño hepático y ser causa de hepatitis o de fibrosis hepática (cirrosis)

- *Afecciones renales*

El bloqueo de la circulación o del transporte de oxígeno en el riñón puede dar lugar a afecciones renales agudas, como ocurre tras la exposición a agentes como el bisulfuro de carbono y el plomo. Sustancias tales como el mercurio, el cromo, el arsénico, el ácido oxálico y el etilenglicol pueden dañar los tubos renales.

- *Afecciones del sistema nervioso*

Los acetatos, los alcoholes, los éteres, las cetonas y derivados bromados pueden provocar alteraciones en el sistema nervioso, en tanto que los gases asfixiantes y el monóxido de carbono pueden ocasionar daños por privación de oxígeno al cerebro. También afectan la función nerviosa los plaguicidas, los plastificantes, el mercurio, el plomo, el manganeso y el arsénico.

- *Afecciones de la piel*

Un gran número de sustancias están consideradas como irritantes primarios de la piel. Entre ellas están: ácidos y bases fuertes; algunas sales metálicas o metales simples, y diversos compuestos orgánicos que pueden penetrar las

barreras externas de la piel y dañar las capas internas. Otras más son capaces de provocar reacciones alérgicas descritas como dermatitis de contacto. Entre ellas están los dicromatos, las resinas epóxicas, los aceleradores de caucho, el hexaclorofeno, el biotinol, las salicilamidas y la formalina. Algunas sustancias contenidas en los combustibles fósiles y los aceites vegetales pueden llegar a ocasionar cáncer de piel.

- *Afecciones reproductivas*

Problemas en la reproducción, como es el caso de la impotencia, la esterilidad, la pérdida fetal, la muerte perinatal y algunos defectos congénitos pueden asociarse con la exposición a diversos agentes químicos --aunque también pueden ser ocasionados por factores de otra índole. Sustancias como el cloruro de vinilo; plaguicidas como el DDT, el Aldrín y el Malation; los bifenilos policlorados; el cloropreno, la epíclorhidrina; el benceno y el plomo han estado asociados con mutación de las células germinales, infertilidad y teratogénesis.

- *Desarrollo de cáncer*

Se han permitido identificado cerca de treinta agentes capaces de inducir cáncer, de los cuales veinte se han detectado en el ambiente laboral (entre ellos aminas, arsénico, asbesto, bicloro-metil-éter, benceno, cadmio, cromo, isopropilos, gas mostaza, níquel, hidrocarburos policíclicos aromáticos, cloruro de vinilo, radiaciones ionizantes y luz ultravioleta) Estudios en animales indican que más de 700 compuestos químicos son carcinógenos potenciales.

- *Efectos genotóxicos:*

Diversas sustancias han mostrado tener capacidad de interactuar con el material genético de las células, provocando cambios (mutaciones) que pueden favorecer el desarrollo de cáncer, padecimientos hereditarios y probablemente envejecimiento prematuro.

- *Peligros de infección:*

Los residuos generados como consecuencia de la elaboración de diagnósticos, tratamientos o inmunizaciones a los seres humanos y animales, así como los provenientes de investigaciones relacionadas o aquellos derivados de la producción y prueba de reactivos biológicos son actualmente objeto de regulación y control para prevenir riesgos a la salud, en particular los de tipo infeccioso. Ante todo, se debe y vigilar que se disponga de los residuos infecciosos adecuadamente, para evitar que éstos se difundan en el ambiente y puedan ocasionar graves problemas de salud. Las enfermedades infecciosas se propagan debido a la interacción entre los agentes infecciosos patógenos y los individuos susceptibles. La virulencia de un agente infeccioso está determinada por su patogenicidad, por el nivel de toxicidad de las sustancias que produce en el organismo y por su capacidad de penetración. Sin embargo, a estas características hay que añadir los factores ambientales favorables al agente infeccioso. Las condiciones para la propagación de una infección se dan, por ejemplo, cuando un agente no es muy virulento pero se reproduce fácilmente y tiene altas oportunidades para entrar en contacto con los individuos.

Por otra parte, para evaluar la peligrosidad de los residuos hospitalarios se consideran:

- Los riesgos inherentes a los residuos.
- La contaminación producto de su incineración.
- Los agentes patógenos viables que forman parte de los residuos con capacidad para inducir enfermedades, en especial hepatitis B y el Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA)
- Destino, movilización y efectos ambientales

Se consideran ecotóxicas aquellas sustancias o residuos que provocan en el momento de su liberación, o posteriormente a ella, impactos adversos a los ecosistemas (inmediatos o diferidos) por sus efectos tóxicos sobre los sistemas bióticos; algunos de ellos derivados de su bioacumulación.<sup>(4,24,27)</sup>

#### *RIESGOS POR ACCIDENTES O CONTINGENCIAS*

Otros riesgos derivados del inadecuado manejo de los residuos peligrosos, son incendios, explosiones, fugas o derrames de sustancias tóxicas o inflamables. Estos riesgos se presentan con frecuencia durante las operaciones de transporte o transferencia, procesos de tratamiento físico-químico, almacenamiento de residuos incompatibles, o a causa de una inadecuada utilización de envases para el almacenamiento de los residuos. La falta de capacitación del personal encargado del manejo de los residuos peligrosos, puede provocar accidentes que en algunos casos pueden alcanzar a receptores sensibles tales como población o ecosistemas.

- *Rellenos o tiraderos de residuos urbanos presumiblemente contaminados con residuos peligrosos*

También debe apuntarse, ante la inexistencia de suficientes confinamientos para residuos peligrosos, el hecho de que muchas empresas industriales han dispuesto de sus residuos en los sistemas municipales de recolección y tiro, que ante condiciones geohidrológicas de vulnerabilidad representan riesgos ambientales de consideración.

- *Contaminación cruzada y multimedios*

Los procesos productivos integran materias primas y energía a través de diferentes tecnologías. Por razones termodinámicas, físicas, prácticas, económicas, de administración y diseño, la transformación de insumos en productos no es absoluta o perfectamente eficiente. Hay salidas intermedias antes de que el proceso culmine en un producto final con valor de mercado positivo.

Estas salidas se dan, por definición, a través de medios gaseosos, líquidos o sólidos, en función de las tecnologías utilizadas, del tipo de actividad y de insumos involucrados, de costos relativos y de regulaciones ambientales.

En muchas ocasiones la liberación de materiales al ambiente puede darse alternativamente a través de distintos medios. Muchos residuos peligrosos se generan como aguas o lodos de procesos, que son solubles o miscibles en drenajes, por lo que puede disponerse de ellos opcionalmente a través de medios mecánicos, o utilizando la capacidad de movilización o dilución de corrientes de agua superficiales, drenajes, lagunas, o el mar.

En otros casos, como resultado del lavado de gases, precipitación electrostática u operación de casas de filtros, se crean residuos que pueden ser peligrosos. De forma similar, el tratamiento térmico de subproductos o residuos con fines de proceso, es capaz de emitir contaminantes atmosféricos particularmente tóxicos. Ello obliga al establecimiento de un sistema de información y de un marco normativo que considere los diferentes medios (aire, agua y suelo) de tal forma que pueda confrontarse consistentemente todo el espectro de impactos ambientales generados por las ramas de actividad económica.

Dado que el contenido de ciertas sustancias es lo que le confiere peligrosidad a un residuo, se han desarrollado esquemas de reporte y de manejo de información cuyo objetivo es conocer las emisiones al ambiente de estas sustancias y evaluar sus riesgos asociados.

En varios países (EE.UU., Canadá, Gran Bretaña y otros) se han logrado éxitos importantes en la reducción de emisiones. Así, en el marco del Foro Intergubernamental sobre Seguridad Química (IFCS), se han desarrollado diversas acciones y proyectos con la participación de varias agencias y organismos internacionales como OCDE

(Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), UNITAR (Instituto de las Naciones Unidas para la Formación e Investigación), PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), OMS (Organización Mundial de la Salud), ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial), WWF (World Wild Life Fund for Nature) y la CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte). Algunos de estos compromisos, también atañen a México. <sup>(4,27,43)</sup>

#### **4.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y PROPUESTAS DE TRATAMIENTO DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE RESIDUOS BIOLÓGICO INFECCIOSOS**

Los métodos de tratamiento y disposición recomendados para el manejo de residuos peligrosos considerando sus propiedades tóxicas son:

- Tratamientos físicos y químicos
- Solidificación
- Disposición en relleno sanitario normal
- Confinamiento
- Incineración.

El objetivo de buscar un tratamiento es el de acelerar las reacciones de degradación que se dan en forma natural dentro del sitio de disposición. Las características que cualquier tratamiento debe tener para considerarse adecuado son:

- Bajo costo
- Requerimientos mínimos de equipo reactivos y personal
- Debe realizarse en tiempos cortos
- Ser un proceso sencillo, de preferencia dentro de las instalaciones de la empresa generadora.

Dentro de los principales productos de origen biológico que se encuentran en esta clasificación están las *enzimas, los sueros y las vacunas*, compuestos de naturaleza predominantemente proteínica.

- *Sueros inmunitarios*. Son aquellos sueros que contienen uno o más anticuerpos, especialmente aquel en el cual el contenido de anticuerpos ha sido estimulado por la existencia de una enfermedad específica o por la inoculación del mismo antígeno.
- *Vacunas y toxoides*. Las vacunas son preparados antigénicos, de atenuada o nula capacidad patógena, capaces de producir estados de inmunidad específica al ser inoculados. Los toxoides son toxinas bacterianas que, por acción de determinados agentes químicos o físicos han perdido su toxicidad pero conservan las propiedades antigénicas e inmunizantes.
- *Antitoxinas y antivenenos*. Una antitoxina es un anticuerpo para la toxina de un microorganismo que se combina específicamente con la toxina *in vivo* e *in vitro*, neutralizando su toxicidad. Los antivenenos son aquellas sustancias que contrarrestan los efectos de un veneno.
- *Enzimas*. Desde el punto de vista bioquímico, las enzimas son cada una de las proteínas específicas que actúan como catalizadores en las reacciones que tienen lugar en el organismo. Se caracterizan porque no se destruyen cuando actúan, por tener un alto grado de especificidad y desnaturalizarse por calor. Son producidas por las células de los organismos y a veces ejercen su acción en presencia de otros factores llamados coenzimas. <sup>(4,12)</sup>

### TRATAMIENTO PROPUESTO

Sólo el grupo de las enzimas se cataloga como no peligroso, además de poseer un corto tiempo de vida útil en condiciones fisiológicas normales, lo que aunado a la alta especificidad que presentan por el sustrato, no se prevé la formación de productos de degradación tóxicos al ambiente o al hombre. Si bien puede recomendarse una desnaturalización proteínica por la adición de ácidos o álcalis hasta alcanzar pHs extremos, con posterior neutralización. Las temperaturas elevadas (ebullición) también provocan la desnaturalización enzimática. Tanto los sueros, vacunas, toxoides, antitoxinas y antivenenos tienen características peligrosas que los colocan dentro de los residuos biológico-infecciosos, para los cuales se debe proceder con métodos de tratamiento físicos o químicos autorizados por el INE antes de su disposición final (tabla 4.4) Entre los tratamientos que se pueden utilizar están: la incineración, la esterilización, la desinfección química, microondas, radio ondas, irradiación y la trituration. Estos deberán garantizar la eliminación de organismos patógenos y deberán volver irreconocibles a los residuos. Los tratamientos se podrán realizar dentro del establecimiento generador o en instalaciones específicas fuera del mismo, siempre con autorización oficial por parte del INE. Lo anterior se encuentra descrito dentro de la **NOM-087-Ecol-1994**,<sup>(4,12)</sup>

TABLA 4.4 TRATAMIENTO PROPUESTO PARA ALGUNOS FÁRMACOS Y MEDICAMENTOS<sup>(12)</sup>

| COMPUESTO   | EJEMPLO ESTRUCTURA QUÍMICA | TRATAMIENTO PROPUESTO   | PRODUCTO ESPERADO                                    |
|---|----------------------------|---|--|
| Enzimas   | Proteínas                  | No se requiere tratamiento. Son sensibles a las variaciones de los factores ambientales y al ataque microbiano. | Productos de degradación más simples.                |
| Sueros inunitarios<br>Vacunas y toxoides<br>Antitoxinas y venenos | Estructuras complejas      | Tratamientos físicos, químicos o térmicos que garanticen la eliminación de patógenos (NOM-087-ECOL-1994)        | Material inerte, irreconocible y libre de patógenos. |

#### 4.5 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA LOS RESIDUOS PELIGROSOS

Con las diferentes tecnologías se pretende lograr la modificación de las propiedades físicas y químicas del residuo, disminuir el volumen, inmovilizar los componentes tóxicos o disminuir su toxicidad. La selección de algún tratamiento involucra la naturaleza del residuo, las características que se desean de los productos de tratamiento, la adecuación de las alternativas, consideraciones económicas, financieras y ambientales, requerimientos de energía, operación y mantenimiento, los cuales deben evaluarse en forma global y particular. El *tratamiento térmico* es uno de los medios más efectivos para reducir el peligro potencial de los residuos, pudiendo convertirlos a una forma útil de energía. Consiste básicamente en una oxidación controlada a alta temperatura de los compuestos orgánicos para producir CO<sub>2</sub> y agua. También se producen sustancias inorgánicas como ácidos, sales y compuestos metálicos. La función principal de estas tecnologías de tratamiento es la disminución del volumen y la reducción de la toxicidad, aumentando las eficiencias de combustión cuando se emplean para sustancias peligrosas de bajo contenido de humedad.<sup>(4,12,19)</sup>

Los *tratamientos biológicos*, son muy similares a los empleados en el tratamiento de aguas residuales y se aplican a residuos peligrosos cuya toxicidad no es letal para los microorganismos. Entre ellos destacan:

- Lodos activados

- Lagunas de aereación
- Filtros
- Biocontactadores
- Lagunas de estabilización
- Digestores anaeróbicos
- Esparcimiento en suelos agrícolas
- Compostaje

La biotecnología basada en el uso de microorganismos desarrollados selectivamente para degradar sustancias tóxicas específicas se ha empleado con éxito en las siguientes industrias: de refinación y extracción de petróleo, química, farmacéutica, textil y de pulpa y papel. <sup>(5,6,19)</sup>

*Los tratamientos químicos, se basan en la modificación química de las propiedades de los residuos peligrosos; con lo cual las sustancias se convierten en no tóxicas y su solubilidad en el agua se reduce* <sup>(12)</sup>

#### *DISPOSICIÓN FINAL*

Los materiales resultantes del tratamiento de los residuos peligrosos antes descritos, así como los residuos que puedan ser eliminados sin tratamiento previo de detoxificación han sido dispuestos en confinamientos tales como cementerios industriales, lagunas superficiales, pozos profundos, minas abandonadas o en el mar. Sin embargo, se admite hoy en día que no existe ningún método de confinamiento totalmente seguro y en todos los casos se requiere evaluar previamente los posibles impactos ambientales y seleccionar con propiedad los sitios para disponer de los residuos.

A este respecto, debe tenerse gran cautela al seleccionar las opciones y al determinar el tipo de residuos, lo cual debe estar sujeto a la regulación y control dispuestos para cada una de ellas con el fin de prevenir riesgos. <sup>(4,14)</sup>

#### *MÉTODOS DE DISPOSICIÓN PARA RESIDUOS ESPECIALES Y PELIGROSOS*

El manejo de los residuos peligrosos incluye en general la prevención, tratamiento y disposición. La prevención consiste en la reducción de residuos y su volumen. Las técnicas de tratamiento y disposición se traducen en la disminución de la peligrosidad y la disposición de residuos de manera que no haya problemas para el ambiente y la salud humana. La disposición en sitios especiales puede ser una opción económica, pero requiere de un diseño de ingeniería para el adecuado control de contaminantes. Antes de efectuar la disposición de cualquier residuo peligroso se debe:

- Disminuir la toxicidad del residuo;
- Separar y concentrar los constituyentes peligrosos en un volumen reducido, y
- Estabilizar y solidificar el residuo para evitar lixiviados <sup>(14)</sup>.

La tabla 4.5 nos da un comparativo entre las diferentes tecnologías de tratamiento para residuos peligrosos



**TABLA 4.5 COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES GRUPOS DE TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO PARA RESIDUOS PELIGROSOS<sup>(4)</sup>**

| <b>METODO</b>                         | <b>DESCRIPCION</b>  | <b>VENTAJAS</b>  | <b>DESVENTAJAS</b>  |
|---------------------------------------|---|--|---|
| <b>FÍSICO</b>                         | Separación y reducción de volumen, reducción de toxicidad..   | - Se aplica a residuos sólidos, líquidos y gaseosos.<br>- Agiliza el tratamiento.<br>- Disponer sustancias de manera definitiva y segura.  | Aplicación en función del volumen de residuo.<br>Más aplicable a líquidos que a sólidos.  |
| <b>QUÍMICO</b>                        | Uso de reacciones químicas para transformar las corrientes de residuos peligrosos en sustancias menos peligrosas o inertes. | Reducción del volumen y toxicidad.<br>Separación de contaminantes.<br>Estabiliza residuos con bajo contenido de materia orgánica.<br>Buena aplicación a residuos farmacéuticos.<br>En muchos casos se puede esperar la inactivación del residuo. | Se tiene que conocer la naturaleza química del residuo para elegir el mejor tratamiento.<br>Puede generar productos no deseados (más peligrosos que los residuos originales).<br>De mayor aplicación a líquidos.                              |
| <b>BIOLOGICO</b>                      | Degradación microbiológica de las aguas residuales que contienen carga orgánica alta.                                       | Rentable para tratar grandes volúmenes.<br>Puede no requerir de reactivos adicionales.   | Aplicable a aguas residuales que no sean tóxicas para los microorganismos que intervienen.<br>Se emplea para otras corrientes cuando estas han sido previamente tratadas y acondicionadas.<br>Requiere equipo especial y personal calificado. |
| <b>TÉRMICOS</b>                       | Oxidación controlada de los componentes orgánicos a alta temperatura para producir CO <sub>2</sub> y agua.                  | Disminuye el volumen y toxicidad.<br>Se aplica a residuos sólidos, líquidos y gaseosos.<br>Aplicable a una gran variedad de residuos peligrosos.<br>Se puede hablar de una destrucción del residuo.  | Aplicable a residuos con bajo contenido de humedad y alta capacidad calorífica.<br>Tecnologías que requieren de una gran inversión, equipo especial y personal calificado.  |
| <b>ESTABILIZACIÓN /SOLIDIFICACIÓN</b> | Tecnologías que emplean aditivos para reducir la movilidad de contaminantes.  | Puede estabilizar residuos muy tóxicos.  | Aplicable a líquidos y sólidos.<br>Son tecnologías sofisticadas de alto costo.<br>Requiere equipo y personal especializado.<br>No inactiva, sólo estabiliza el residuo.   |

Al evaluar las alternativas para el manejo de los desperdicios sólidos, existe una serie de asuntos que se deben considerar:

- El manejo inadecuado de los desperdicios sólidos representa la pérdida de recursos valiosos, incluyendo recursos dedicados a los problemas de salud, debido a las enfermedades que se crean.
- Las decisiones sobre el manejo de los desperdicios sólidos afectan de manera desigual a diferentes sectores de la sociedad, ya que se ubican en comunidades de bajos ingresos.
- La composta de desperdicios orgánicos, unido a la reducción, la reutilización y el reciclaje nos permitiría reducir el volumen de desperdicios que se depositan en vertederos en más del 80 %.
- La construcción de un incinerador puede representar costos muy elevados, dinero que se tiene que reducir al que se dedica a atender problemas como la investigación, los servicios o la educación.

- La construcción de un incinerador es una inversión que puede desalentar la posibilidad de implantar alternativas saludables para el manejo de los desperdicios sólidos (composta, reuso, reciclaje, reducción) y promover la quema de basura.
- Ausencia de cultura ambiental En México, uno de los principales problemas en el manejo de los residuos son los generadores, porque carecen de una cultura ambiental, sobre todo en los particulares, tal es el caso de los consultorios médicos o enfermos que desconocen el tratamiento que deben dar a los residuos y, por tanto, los canalizan a la basura municipal.
- Mala clasificación de residuos. En general, existe una clasificación deficiente de los mismos debido a la falta de atención o capacitación por parte del personal encargado de su manejo. En ocasiones se almacenan residuos equivocadamente en las bolsas o recipientes. Lograr una clasificación óptima es sumamente difícil toda vez que no existe capacitación adecuada para que se conozcan la norma.
- Para ser procesados en el equipo incinerador los residuos deben estar debidamente clasificados, ya que la intención es que no se realicen operaciones de pepena porque no es basura; tal como llegue la bolsa, así se deberá meter al incinerador.<sup>(4,12)</sup>

## **CAPITULO 5**

### **EL PROCESO DE INCINERACIÓN**

#### **5.1 LA INCINERACIÓN**

Puede definirse como el proceso de transformación de los sólidos, mediante la combustión controlada, en gases y sólidos no combustibles. Se debe llevar a cabo en equipos con condiciones de operación controladas, minimizando la emisión de gases peligrosos y deben controlarse tres variables fundamentales de este proceso:

- *TIEMPO DE COMBUSTIÓN*
- *TURBULENCIA Y*
- *TEMPERATURA.*

El *tiempo de combustión* se controla ajustando la velocidad del flujo de los desechos en la misma cámara de aire. La *temperatura* a su vez depende de la relación estequiométrica de aire con el combustible y su interrelación con el poder calorífico y cantidad de residuos, que puede definirse operativamente según los siguientes factores:

- *Contenido de humedad*, conforme el contenido de humedad es mayor, se requiere mas combustible para destruir los residuos. Un residuo acuoso con un contenido de humedad mayor del 95% o todos con menos del 85% de contenidos se considera malos candidatos para Incineración.
- *Valor calorífico*, si los residuos a ser tratados tienen un valor calorífico muy bajo, entonces la Incineración constituye un método impracticable de tratamiento, generalmente los materiales con un valor calorífico menor de 1000 BTU/lb no son viables para la incineración.
- *Salas inorgánicas*. Los materiales en sales inorgánicas alcalinas son problemáticas, una fracción significativa se emite con las emisiones. Además se deposita en las paredes de los hornos produciendo una capa, que afecta severamente el funcionamiento del horno.
- El *alto contenido de azufre, compuestos halogenados, la presencia de cloruros o sulfuros* en un residuo generalmente producirá elementos generadores de ácidos en los gases de salida.
- *Residuos radioactivos*. Un incinerador convencional no deberá ser utilizado para la destrucción de residuos radioactivos. <sup>(4,14)</sup>

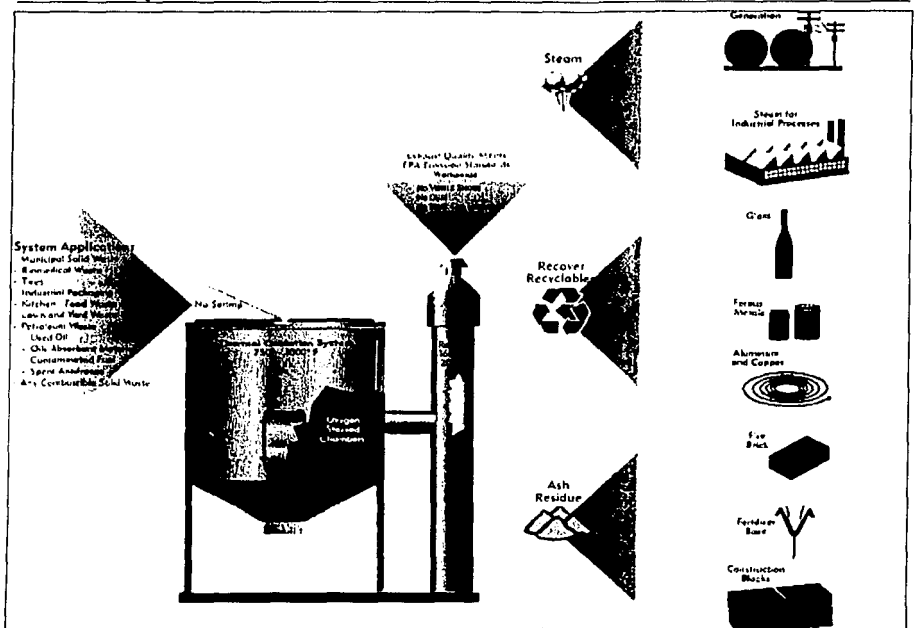
La preocupación por las emisiones peligrosas derivadas de la incineración se relaciona tanto con los contaminantes químicos y físicos, como la dispersión a la atmósfera de agentes microbiológicos, además existe preocupación por las cenizas.

Entre los contaminantes más comunes que pueden medirse en un incinerador se encuentran las partículas de monóxido de carbón, ácidos orgánicos, aldehídos, óxido de nitrógeno, y los hidrocarburos. Una de las principales preocupaciones por las emisiones derivadas de la incineración de los residuos hospitalarios sólidos es su alto contenido de plástico, los principales productos de la combustión del polietileno y del polipropileno son el etano, propano y propileno; el ácido clorhídrico se produce cuando se incinera cloruro de polivinilo. El etileno y el propileno son hidrocarburos reactivos que si se emiten en cantidades considerables pueden contribuir a la formación de los oxidantes fotoquímicos. Altas concentraciones de ácido clorhídrico pueden tener efectos deletéreos sobre las plantas, las personas y los materiales <sup>(4,5)</sup>

Las Etapas en un proceso de incineración de residuos peligrosos se pueden resumir en las siguientes etapas:

1. - Recepción y peso de los residuos.
2. - Traslado a zona de descarga.
3. - Almacenamiento temporal en refrigeradores (patológicos) y espera de turno (biológicos).
4. - Incineración a una temperatura de 950 grados centígrados en la cámara primaria y más de mil 200 grados en cámara secundaria.
5. - Desecho de las cenizas producidas por la quema de residuos.
6. - Depósito de las cenizas en vertederos municipales. (4)

**FIGURA 5.1. ESQUEMA DE UN INCINERADOR TÍPICO. PRODUCTOS Y RESIDUOS PRODUCIDOS (25).**



## 5.2 CONTAMINANTES DEBIDOS AL PROCESO DE INCINERACIÓN DE RESIDUOS

El objetivo ideal que se persigue en la incineración de desechos es su transformación en residuos inertes, por medio de reacciones químicas y procesos físicos a elevada temperatura, eliminando o reduciendo en gran medida, el riesgo de contaminación a largo plazo que existiría en caso del almacenamiento de los mismos durante un periodo de tiempo prolongado (tabla 5.1). La incineración presenta adicionalmente la ventaja de que se consigue una gran reducción del volumen de los residuos con relación al inicial. Sin embargo este proceso ideal no es perfecto en la práctica, ya que se traslada la contaminación a otros medios en mayor o menor

medida, en especial a la atmósfera, incluso en condiciones técnicas óptimas de funcionamiento de la instalación. Si se dan las condiciones adecuadas de temperatura, tiempo de residencia de los gases y exceso de oxígeno en la cámara de combustión, en la teoría más elemental, la materia orgánica contenida en determinados residuos actúa como producto a oxidar, transformándose en dióxido de carbono y agua. Pero en general la naturaleza de las sustancias a incinerar será muy variada tanto cualitativa como cuantitativamente y poseerán distinta aptitud para su destrucción por incineración. Entre todo el abanico de sustancias que alimentan un horno incinerador, pueden existir determinados compuestos o mezclas que son prácticamente incombustibles, como ciertos productos halogenados o metales pesados para los cuales la eficacia de destrucción es muy baja y podrían pasar a través de la cámara de combustión sin reaccionar, permaneciendo en las escorias o incorporándose parcialmente por cualquier medio a la corriente gaseosa. <sup>(4,14)</sup>

Los criterios de evaluación para el funcionamiento de un incinerador incluyen los siguientes aspectos:

- *Eficiencia de la combustión.*
- *Destrucción de los residuos.*
- *Temperatura.*
- *Tiempos mínimos de retención de gases en la cámara primaria y secundaria.*

**TABLA 5.1 VALORES RECOMENDADOS PARA LOS INCINERADORES DE RESIDUOS INFECCIOSOS <sup>(8)</sup>**

| PARÁMETRO                                    | VALORES DE FUNCIONAMIENTO |
|--|---------------------------|
| Destrucción de residuos                      | >95%                      |
| Eficiencia de la Combustión                  | >95%                      |
| Temperatura de la cámara primaria            | > 1500 °F                 |
| Temperatura de la cámara secundaria          | > 1800 °F                 |
| Tiempo de residencia en la cámara secundaria | 1-2 segundos              |

Las emisiones de compuestos orgánicos pueden ser minimizadas a concentraciones teóricas de aire de 100-200%, lo cual refleja una combustión estequiométrica con exceso de oxígeno. Bajas condiciones teóricas de aire (<100%) aumenta la emisión de compuestos orgánicos lo mismo que a altas condiciones de aire (>200%) por una disminución en la temperatura de la cámara de combustión y consecuentemente en la eficiencia de la destrucción <sup>(6)</sup>.

Las condiciones en que se lleva a cabo la incineración son difíciles de optimizar para todas las sustancias que pueden estar presentes en la cámara de combustión. Un aumento de la temperatura mejora por lo general la eficiencia de la combustión de determinado tipo de residuos, pero si están presentes, también produce un aumento en la emisión de metales pesados. En estas condiciones, o en el caso de la explotación de la instalación en condiciones técnicas francamente no adecuadas, es posible que determinados residuos no tengan una combustión completa y se emitan directamente a la atmósfera, o que se generen nuevos contaminantes al reaccionar entre sí las distintas especies químicas formadas en reacciones concatenadas, que pueden en algunos casos ser más peligrosos que los propios residuos que se está tratando de eliminar <sup>(4,6)</sup>.

La emisión de contaminantes por la chimenea implica una contaminación primaria de este medio, pero a su vez, por efecto de los mecanismos de dispersión, una posible contaminación a medio o largo plazo del suelo y las aguas superficiales o subterráneas. Estos medios, agua y suelo, están expuestos a su vez, si el diseño de la instalación o la gestión de la misma no es la adecuada, a la contaminación "in situ" originada por diversos

mecanismos de arrastre, como son el viento o las precipitaciones. Los controles legales establecidos pretenden, en función del estado actual del conocimiento y la técnica en este campo, hacer compatible la posible contaminación originada en el entorno de las instalaciones, con los beneficios que presenta la eliminación de los residuos por incineración <sup>(6)</sup>.

Los principales contaminantes de la atmósfera, del agua o del suelo, que se emiten o se forman durante el proceso de incineración de residuos, su composición, mecanismos y lugares de formación, así como la estimación o referencias de sus niveles de emisión y formas de evaluación, son perfectamente conocidos. Según la EPA (1990) existen miles de productos de combustión incompleta (PIC's) que se emiten en la incineración cuya toxicidad, persistencia y bioacumulación son ciertamente difíciles de precisar. Entre los principales compuestos tóxicos que se pueden encontrar en las emisiones de un incinerador se hallan:

- A). *DIOXINAS Y FURANOS*
- B). *MATERIA PARTICULADA Y METALES PESADOS*
- C). *ÓXIDOS DE AZUFRE, CARBONO Y NITRÓGENO*
- D). *HIDROCARBUROS*
- E). *OZONO*

#### *DIOXINAS Y FURANOS.*

##### CARACTERÍSTICAS Y FORMACIÓN

Las dioxinas (policlorodibenzodioxinas) son una familia de sustancias químicas que se pueden encuadrar dentro de los denominados micro contaminantes y tienen el dudoso honor de ser reconocidas como los productos químicos más tóxicos que el hombre ha sido capaz de sintetizar. Las dioxinas son unas de las principales emanaciones químicas de los incineradores. Como regla general, podríamos decir que cualquier por ciento de dioxinas, por debajo que sea, es dañino a la salud humana. No obstante, la EPA ha dicho que 10 partes por cuatrillón es lo máximo permitido. Eso nos demuestra el alto potencial tóxico de este químico. La primera dioxina clorada fue sintetizada en 1872 por Merz y Weith, pero su estructura no se conoció hasta 1957. En este mismo año se efectuó la síntesis de la 2,3,7,8 tetraclorodibenzodioxina. En ambos casos los técnicos de laboratorio fueron hospitalizados. A partir del año 1949 y a consecuencia de diversos accidentes industriales asociados con la fabricación de fenoles clorados, estos compuestos han despertado un gran interés en algunos sectores de la sociedad debido a su potencial tóxico. Durante 1968 en Yusho, Japón, 2000 personas sufrían envenenamiento por el consumo de aceite de arroz contaminado por dioxinas.

Entre los años 1962 y 1970 (durante la Guerra de Vietnam) se usó el agente naranja, que es una mezcla de herbicidas contaminados fuertemente con dioxinas y causa serios daños tanto neurológicos como físicos. En 1976 se produjo un accidente de una planta de fabricación de tricloroetano, próxima a la localidad italiana de Seveso, que liberó al ambiente miles de gramos de dioxinas. Trece años después del accidente que mató a 73000 animales domésticos y obligó a la evacuación de 700 personas, se han documentado aumentos en la frecuencia de cánceres de la sangre y del sistema linfático entre la población afectada. En 1985 un tipo de dioxina, en particular la TCDD fue el carcinógeno químico más potente evaluado por la EPA. En febrero de 1999 en Bélgica, aparece un nuevo episodio relacionado otra vez, con la contaminación de alimentos destinados al

consumo humano, "las dioxinas de los huevos". En esta ocasión el origen se encuentra en la contaminación de piensos destinados al cebado de pollos. La alegación principal que se ha utilizado contra los compuestos organohalogenados es probablemente la de que no existen en la naturaleza, y que su origen es exclusivamente antropogénico. Durante mucho tiempo esto se admitió como un hecho evidente y prácticamente sin discusión. Posteriormente se empezaron a encontrar excepciones a esta regla y actualmente los compuestos naturales conocidos son tan numerosos que ha convertido este "hecho" en una categoría de los mitos populares. La presencia ubicua de cloro en las plantas ha hecho suponer que la combustión de material vegetal podría dar lugar a la formación de dioxinas. Estudios en laboratorios han demostrado efectivamente que la combustión de madera (tanto tratada como sin tratar) produce dioxinas y dibenzofuranos en concentraciones del orden de la Parte por billón (ppb).<sup>(4,5,35)</sup>

### EFFECTOS BIOLÓGICOS

La dioxina entra al cuerpo por la boca, la nariz, la piel, llegando a los pulmones y al hígado. Una vez allí debilita el sistema antioxidante del cuerpo, esto produce una baja inmunidad que se puede manifestar en muchas enfermedades infecciosas y auto inmunes. Otra propiedad importante de este contaminante es que es soluble en grasa, lo que hace posible que se concentre en los tejidos grasos de los seres humanos, manteniéndose allí por muchos años y manteniendo así una concentración tóxica en la sangre. Las dioxinas producen cáncer en el ser humano, dosis inferiores a las asociadas con cáncer ocasionan alteraciones en los sistemas inmunitario, reproductor y endocrino los fetos y embriones de peces, aves, mamíferos y seres humanos son muy sensibles a sus efectos tóxicos. No existe un nivel seguro de exposición a las dioxinas.<sup>(4,5,35)</sup>

Las fuentes principales de generación de dioxinas son, por orden de importancia:

- la incineración de residuos
- las fábricas de pasta de papel que usan cloro o dióxido de cloro como agente blanqueante
- la fabricación de PVC

Se conoce por dioxinas y furanos a una familia de compuestos aromáticos clorados tricíclicos, con propiedades químicas similares, constituidas por carbono, hidrógeno, oxígeno y cloro. Las dioxinas se diferencian de los furanos en la cantidad de átomos de oxígeno presentes en la molécula, encontrándose un átomo de oxígeno en los furanos y dos en las dioxinas (Fig. 5.2)

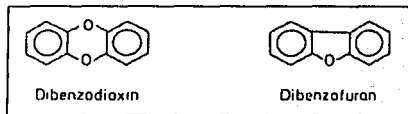


FIGURA 5.2 ESTRUCTURA QUÍMICA DE FURANOS Y DIOXINAS

Las posiciones numeradas pueden ser ocupadas tanto por átomos de hidrógeno como de cloro. La suma de átomos de cloro e hidrógeno en el interior de la molécula de las dioxinas y furanos es igual a ocho. Según la cantidad de estructuras de átomos de cloro que substituyen a los átomos de hidrógeno y su disposición en el interior de la molécula existen un total de 75 isómeros de dioxinas, llamadas genéricamente policlorodibenzo-

para-dioxinas (PCDD) y 135 de furanos, llamados polclorodibenzofuranos (PCDF), dependiendo de la cantidad de átomos de hidrógeno que son sustituidos por átomos de cloro y su posición en el interior de la molécula. El contenido de cloro (abreviadamente designado por C) se indica por medio de uno de los prefijos siguientes: mono (M), di (D), tri (Tr), tetra (T), penta (Pe), hexa (Hx), hepta (Hp) y octa (O), y va seguido del tipo de molécula (dibenzo-dioxina, DD o dibenzo- furano DF). La posición en que los átomos de cloro se encuentran ubicados se indica previamente al nombre de los compuestos, por ejemplo 2,3,7,8 – TCDD (Fig. 5.3). Aunque esta unión puede ocurrir de forma natural, la inmensa mayoría de estas sustancias se forma artificialmente. Por ejemplo, la industria química combina gas cloro con derivados del petróleo para crear:

- plaguicidas (DDT, Lindano)
- plásticos (PVC, PVDC)
- disolventes (percloroetileno, tetracloruro de carbono)
- refrigerantes (CFC, HCFC)

Así hasta sumar más de 11000 productos diferentes<sup>(41)</sup>.

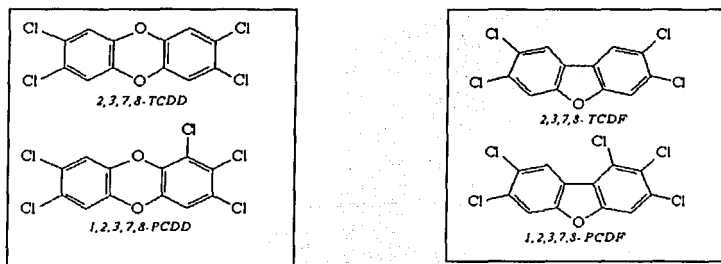


FIGURA 5.3 EJEMPLOS DE FURANOS Y DIOXINAS

Cuando se blanquea el papel con cloro, o se utiliza éste como desinfectante en el tratamiento de las aguas, o se quema algún producto clorado, se crean nuevos organoclorados. Al introducirse en el medio ambiente y sufrir reacciones con la luz, otros compuestos químicos o agentes biológicos, vuelven a generarse nuevos productos de este tipo.

Las características físico-químicas de estos compuestos, se pueden resumir en que son poco solubles en agua ( $\leq 0,12$  ppb), decreciendo la solubilidad cuanto mayor es el número de átomos de cloro que presenta la molécula, sin embargo son un poco más solubles en disolventes y grasas, por lo que tienden a bioacumularse. Tienen una presión de vapor de  $6,2 \times 10^{-7}$  Pa. , Característica ésta que les hace poco volátiles. Son estables a la descomposición térmica por debajo de los 850 grados centígrados, y se descomponen rápidamente por acción de la luz en presencia de hidrógeno. Permanecen en el aire, el agua y el suelo cientos de años, resistiendo los procesos de degradación físicos o químicos, al no ser comunes en la naturaleza, salvo en un par de excepciones, los seres vivos no han desarrollado métodos para metabolizarlos y detoxificarlos. Resisten por tanto la



degradación biológica, cuando se incorporan al suelo o a las corrientes hídricas son prácticamente inalterables, persistentes y migran desde el ambiente a los tejidos de los seres vivos<sup>(4,5,35)</sup>.

Se ha determinado también que las dioxinas y los furanos policlorados coexisten además con familias polibromadas (PBDDs y PBDFs), que en general parecen ser menos tóxicos que los compuestos clorados, ya que la característica de toxicidad, entre otros factores, va asociada directamente al halógeno correspondiente<sup>(4,22,27)</sup>.

### EQUIVALENCIAS TÓXICAS

La mayoría de los estudios toxicológicos han determinado que el isómero más tóxico de las dioxinas es el 2,3,7,8, - TCDD, llamada T4CDD o dioxina de SEVESO. Dado que tanto en el medio ambiente como en procesos de incineración ocurren complejas mezclas de PCDD y PCDF, es necesario conocer la potencial toxicidad de las mismas, lo que se realiza comparando la toxicidad de los distintos isómeros de PCDDs y PCDFs con relación a la del más tóxico, y de forma que a cada uno de los compuestos se le asigna un factor denominado factor internacional de equivalencia tóxica (I-TEF). En esta comparación se suponen como premisas que todos los compuestos son absorbidos de igual forma y que los efectos son aditivos, aproximaciones que se deben admitir mientras no existan datos más precisos. La suma de las distintas concentraciones de los isómeros de dioxinas y furanos multiplicados por el factor de equivalencia tóxica correspondiente, permite determinar la toxicidad equivalente de la mezcla (TEQ)<sup>(4,22,27)</sup>.

**TABLA 5.2 EQUIVALENCIAS TÓXICAS ENTRE ALGUNOS COMPUESTOS NATURALES Y ARTIFICIALES<sup>(4)</sup>**

| SUSTANCIAS TÓXICAS EN LA INDUSTRIA:<br>Dosis mortal, que mata al 50% de las ratas en una hora por inhalación |       | SUSTANCIAS TÓXICAS EN LA NATURALEZA:<br>Dosis mortal, que mata al 50% de las ratas en el plazo de una hora, por ingestión |         |
|--|-------|---|---------|
| ÁCIDO CLORHÍDRICO  | 3.124 | ESTRÍCINA (Planta)  | 500     |
| CLORO  | 293   | DIOXINA TCDD (Incendios forestales)   | 300     |
| METILISOCIANATO (Bhopal)   | 5     | TETRADOXINA (Planta)  | 15      |
| OZONO  | 4,8   | TOXINA DEL TÉTANOS (Bacteria)   | 0,0001  |
| DIOXINA TCDD (Equivalente)   | 0,25  | TOXINA BOTULÍNICA (Bacteria)  | 0,00003 |
| Partes por millón Millonésima parte gramo por Kg de peso   |       |   |         |

### COMPOSICIÓN Y MECANISMOS DE FORMACIÓN

Existen numerosas hipótesis y estudios de investigación sobre el origen y mecanismos de formación de las dioxinas y furanos en procesos de incineración, que se han identificado como una de las principales fuentes de emisión de estos compuestos, si bien los mencionados estudios no se encuentran aun perfectamente contrastados. Aunque algunos informes como el de OMS de 1986 hablan de que la mayor parte de la ingesta diaria de dioxinas y furanos procede de vertidos de residuos clorados, gases de escape de automóviles y ciertas industrias del metal y papel. Tres mecanismos son los propuestos inicialmente como causantes de la emisión de dioxinas y furanos en incineración:

a) Presencia de los mismos en la alimentación del incinerador.

Temperaturas superiores a 850 grados centígrados y tiempos de residencia del orden de 0,1 seg. Pueden originar la descomposición inicial de estos compuestos, pero posteriormente durante el enfriamiento de los

gases, por medio de mecanismos de reformación, muy probablemente vuelvan a desarrollarse isómeros de dioxinas cloradas y furanos. Otros rangos de temperaturas inferiores a las indicadas o condiciones de combustión no controladas satisfactoriamente, podrían ocasionar el paso de las dioxinas y los furanos sin reaccionar a través de la cámara de combustión.

Diversas medidas realizadas en incineradores de residuos sólidos urbanos de Alemania y Estados Unidos muestran que, aun siendo menor la cantidad total de dioxinas y furanos emitida que la de entrada, la toxicidad equivalente de la mezcla es superior en el primer caso. También se ha constatado la mayor presencia de dioxinas y furanos en la chimenea de expulsión de gases que a la salida de la cámara de combustión, donde la temperatura es mayor.

b) Formación de estas sustancias a partir de precursores similares, como fenoles clorados y bifenilos policlorados (PCBs).

La formación de dioxinas a partir de compuestos similares es un proceso bastante bien conocido puesto que es la forma industrial de obtención de los mismos. La concentración de fenoles clorados en los gases de combustión es muy baja, del orden de dos veces la concentración de dioxinas en el mismo flujo de gases. No está todavía muy claro si concentraciones bajas de fenol producen significantes cantidades de dioxinas a través de reacciones de dimerización bimolecular, como por ejemplo las que tuvieron lugar en el accidente de Seveso. El otro grupo de precursores potencialmente importantes son los policloro-bifenilos (PCBs) presentes en los residuos o formados durante los procesos de combustión. La oxidación parcial de PCB a PCDF se produce relativamente rápido en condiciones de deficiencia de oxígeno.

c). Síntesis de estas sustancias en las diferentes fases del incinerador, sobre la base de distintos precursores originados a partir de especies orgánicas presentes en los residuos y especies donadoras de cloro. Estos mecanismos son considerados como las mayores fuentes de generación de dioxinas y furanos. Se postula que el calentamiento del aire en presencia de cualquier compuesto químico orgánico o inorgánico que tenga en su molécula átomos de cloro, hidrógeno y carbono, conduce a la formación de dioxinas bajo ciertas condiciones según el siguiente mecanismo:

La combustión de plásticos que contienen cloro, como el PVC, producen ácido clorhídrico.

La combustión incompleta de la lignina, procedente de los residuos derivados de la madera (papel, cartón, etc.) produce compuestos fenólicos.

La reacción entre los compuestos fenólicos y el ácido clorhídrico produce dioxinas y furanos.

Todos estos mecanismos parece que se pueden producir tanto en fase gaseosa únicamente, como en fase gaseosa y sólida a la vez. En la fase gaseosa, diversos autores han constatado la formación de dioxinas a partir de los precursores de tipo fenólicos clorados mencionados anteriormente, existiendo un cierto equilibrio entre las reacciones de formación y descomposición a elevadas temperaturas. Sin embargo en las zonas de la instalación de incineración que se encuentran a temperaturas más bajas, en un rango de 250 a 450 grados centígrados aproximadamente, aquellas reacciones pueden disminuir su probabilidad de ocurrencia y, dependiendo a su vez de que las partículas actúen o no como catalizador de las mismas, llevarse a cabo fundamentalmente en fase heterogénea (sólida y gaseosa) sobre la superficie de las cenizas volantes. <sup>(27, 35)</sup>

## CENTROS DE FORMACIÓN EN UNA INSTALACIÓN DE INCINERACIÓN

Las dioxinas y los furanos se forman, en general, en aquellas zonas de la instalación de incineración en donde la temperatura no es excesivamente alta, con rangos del orden de 250 a 450 grados centígrados. De acuerdo a esto pueden formarse en el sistema de depuración de los efluentes gaseosos, en la chimenea de evacuación de los gases e incluso en el penacho resultante de la emisión de estos humos, si las condiciones de temperatura, tiempo de permanencia y cantidad de oxígeno presente son las adecuadas.

En cuanto a la presencia de estos compuestos en los residuos a incinerar existe, en general, poca información al respecto. En residuos sólidos urbanos, diversos estudios cifran la concentración entre 0.0065 y 0.180 Mg TEQ/tonelada de residuo, mientras que otros lo reducen a los valores de la tabla 1, expresados en Mg por tonelada de residuo.

Existe una opinión generalizada de que la formación de estos compuestos depende más de las condiciones en que se lleve a cabo el proceso que de las características o contenidos en el propio residuo.

La combustión sub estequiometrica conduce a la formación de compuestos no reaccionados o parcialmente reaccionados. Estos compuestos pueden variar desde benceno hasta isómeros clorados de dibenzo-p-dioxina (CCD) y de dibenzofurano (CDF). Los plásticos clorados (PVC) de los residuos, pueden ser precursores en las regiones deficientes de oxígeno en la cámara primaria.

### RANGOS DE EMISIÓN

Los niveles de emisión de dioxinas y furanos pueden variar ampliamente en función de un gran abanico de factores, algunos de los cuales se han mencionado anteriormente. Entre ellos cabe destacar una serie de causas independientes del tipo de instalación de incineración, como son la mayor o menor presencia de esos compuestos en los residuos a incinerar, la presencia de precursores de estructura y propiedades similares, o la presencia de precursores que propicien la síntesis a partir de compuestos de estructura más elemental. Sin embargo existen otros factores inherentes a la propia instalación, como son el sistema de incineración, antigüedad de la instalación, condiciones de operación de la planta, parámetros de diseño de los diferentes lugares de paso de los gases residuales o sistemas de depuración instalados.

Todo ello dificulta poder establecer a priori un rango esperado de emisión de dioxinas en esta clase de procesos, pero experiencias realizadas hasta el momento, relativamente limitadas, parecen indicar que el orden de magnitud de este tipo de emisiones es similar o ligeramente mayor en la incineración de residuos industriales que en la de residuos sólidos urbanos. En condiciones normales de funcionamiento, según un estudio efectuado en un incinerador municipal en Suecia del tipo de parrillas cruzadas provisto de precipitador electrostático, los resultados obtenidos en condiciones normales de operación se encontraban en torno a los 10 ng/m<sup>3</sup>N en toxicidad equivalente. Sin embargo en los períodos de arranque la emisión detectada de dioxinas fue considerablemente mayor, llegando hasta los 53 ng/m<sup>3</sup>N en toxicidad equivalente. Otra conclusión interesante fue la de constatar diferencias de emisiones en función de la época del año, primavera u otoño, para similares condiciones de funcionamiento, ligeramente más bajas en el primer caso.

Otros estudios realizados en incineradores de residuos industriales han detectado emisiones del orden de 7.5 ng/m<sup>3</sup> en toxicidad equivalente a la 2,3,7,8-TCDD y en uno de los casos más desfavorables (incineración de residuos clorados), de hasta 130.

Sin embargo la puesta en práctica de filtros de carbono activo puede reducir sustancialmente la emisión final de estos compuestos, de tal forma que se consigan valores de emisión de 0,5 a 2 ng/m<sup>3</sup>N de toxicidad equivalente. El valor de las emisiones debe situarse finalmente por debajo del límite (a partir de 1997) de 0,1 ng/m<sup>3</sup>N establecido en la propuesta de directiva normativa de la CEE o de determinados países punteros.

Grupos ecologistas radicales y otros grupos medio ambientalistas, acusan a la industria del cloro de ser la principal fuente de dioxinas en el medio ambiente. Esto fue verdad en algunos casos específicos en el pasado, pero hoy en día la totalidad de la industria del cloro es solo una fuente menor de dioxinas. En Holanda, solo representa el 0,1 % de los desprendimientos de dioxina al aire. Las fuentes mas importantes siguen siendo las viejas incineradoras, la incineración domestica de madera y la industria del metal. Y por tanto, la cantidad de PVC o de cloro no afecta a la cantidad de dioxinas formadas en las incineradoras. Solo afecta la calidad de la incineración. Así mismo quieren la prohibición de todo el uso de PVC porque en su fabricación e incineración se desprenden dioxinas. Esto es cierto en cantidades muy pequeñas, pero olvidan mencionar que también es verdad para cualquier fabricación de materiales que emplee cualquier forma de calentamiento o de procesamiento térmico. Todo el material que se recicla a altas temperaturas desprende dioxinas y cualquier material que pueda quemarse desprenderá dioxinas cuando se queme por accidente o se incinere, dependiendo esto ultimo de la calidad del incinerador. <sup>(4,22,27)</sup>

#### MÉTODOS DE EVALUACIÓN

El desarrollo de equipos analíticos que posibilitan la detección de muy bajos niveles de determinados compuestos, ha hecho posible la puesta a punto de métodos de muestreo y análisis para la evaluación de la emisión de dioxinas y furanos, uno de cuyos principales problemas es precisamente el bajo nivel de concentración que presentan en el efluente de salida. Otro problema importante es poder distinguir los distintos isómeros de PCDD y PCDF de otros compuestos orgánicos de características similares, presentes en el efluente de salida en concentraciones de un orden de magnitud mucho mayor. Pero la principal dificultad es, sin duda, la imposibilidad actual de analizar "in situ", en tiempo real y con exactitud. Es decir si lo analizado es realmente lo que salía por la chimenea o si han habido variaciones en la composición durante las semanas que requiere el proceso de preparación y acondicionamiento de la muestra previo al análisis.

El empleo de una combinación de técnicas analíticas, como son la cromatografía en fase gaseosa sobre columna capilar acoplada a la espectrometría de masas en alta resolución, precedido de un adecuado protocolo de extracción y preparación de la muestra, ha posibilitado la separación y cuantificación de mezclas de los distintos compuestos orgánicos que se pueden encontrar en los humos de salida del incinerador.

El análisis tanto de los productos de descomposición térmica como en los medios biológicos son muy delicados y difíciles de realizar, necesitando un laboratorio acostumbrado, pues las técnicas de toma y de conservación deben respetarse bien, por esto sólo puede realizarse por un número muy restringido de laboratorios.

La reglamentación impone que la combustión se realice a una temperatura mínima de 850 °C en cámara de combustión después de la inyección de aire, durante un período mínimo de 2 segundos y en presencia de, por lo menos, 6% en volumen de oxígeno medido en las condiciones reales. Con objeto de reforzar la legislación sobre contaminación atmosférica, cuyos límites deben estar basados en mediciones fiables, diversos países han desarrollado normalización experimental específica, en Europa: Alemania (VDI 3499), Francia (AFNOR X 43-413)

e Italia (UNICHIM 825) o en Estados Unidos (Método 25 EPA). Así mismo se están desarrollando normas de muestreo y análisis en el seno del Comité Europeo de Normalización, existiendo en la actualidad una propuesta de norma (CEN/TC 264/WG 1 "Dioxins").

Básicamente los métodos propuestos consisten en cuatro fases:

- *Muestreo*
- *Extracción*
- *cuantificación y*
- *evaluación.*

#### *Muestreo:*

Existen diversas variantes cuyos fundamentos son los que se describen a continuación. En todos los casos dado que las dioxinas y furanos pueden formarse tanto en fase gaseosa como en la superficie de las partículas sólidas, el muestreo debe realizarse de forma isocinética, debiendo estar provisto el tren de muestreo de filtros para retener la fase particulada y de adsorbentes adecuados para retener la fase gaseosa y los condensados. Es necesario extraer elevadas cantidades de gas debido a que las concentraciones de dioxinas en el effluente de salida son muy bajas. Es necesario además que el personal encargado de realizar el muestreo se encuentre convenientemente entrenado, experimentado y advertido en el muestreo de trazas.

Previamente a las tomas de muestras, para asegurar la calidad en la limpieza de los filtros y adsorbentes, diversas normas (CEN, AFNOR), prevén la adición de una cantidad conocida de isómeros de dioxinas y furanos marcados con C13, utilizado como patrón interno para determinar la eficacia de la recuperación de la muestra tomada con los diferentes adsorbentes.

#### *Extracción:*

Después del muestreo debe extraerse y concentrarse la muestra. Tanto la fase particulada recogida en el filtro y en los distintos componentes del tren de muestreo anteriores al mismo (que hay que lavar con un disolvente compatible con el análisis), como la fase gaseosa recogida en el cartucho adsorbente, junto con los condensados y el líquido de lavado de los distintos componentes del tren de muestreo posteriores al filtro.

#### *Cuantificación:*

La cuantificación de las PCDDs y PCDFs se realiza por medio de cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Puede efectuarse una determinación confortativa mediante espectrometría de masas, comparando los fragmentos iónicos obtenidos con la librería especializada del espectrómetro.

#### *Evaluación:*

La evaluación de las lecturas se realizará en forma de un Informe completo por escrito, a fin de obtener unos resultados del test fiables. <sup>(14,22,27)</sup>

### **OTROS CONTAMINANTES EMITIDOS POR INCINERADORES Y SUS EFECTOS**

Estudiando los compuestos contaminantes emitidos en algunos tipos de incineradores y los posibles impactos que causarían a la salud humana, se ha identificado algunos efectos asociados con algunos contaminantes. Ante su presencia existe la posibilidad de enfermar por causa de agua ácida, polvo óxido, la disolución de minerales como el mercurio y metales tóxicos causado por la lluvia ácida o al respirar partículas en suspensión en el aire o por la mezcla como el ozono. Estudios realizados en los Estados Unidos y en Europa demuestran correlación

entre los niveles de ácidos en el ambiente, la temperatura y la salud. Un estudio realizado por la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (EPA, nov. 95) se señala lo beneficioso que resultaría para la salud el reducir los niveles de óxido de azufre (SO<sub>2</sub>), al reducir la incidencia de muerte, enfermedades y reportes de ingresos en los hospitales. Algunos de los problemas asociados con diversos contaminantes son:

- *Materia particulada y metales pesados*

Se conoce con el nombre de partículas a cualquier material sólido o líquido en el que los agregados individuales son mayores que una simple molécula, pero menores a 500 µm, incluyendo:

- Humo. Partículas sólidas menores a 1 µm, formadas en la condensación o en reacciones químicas
- Polvo. Partículas sólidas mayores a 1 µm
- Aerosoles. . Partículas sólidas o líquidas generalmente menores a 1 µm, que pueden permanecer suspendidas en el aire.
- Niebla. . Partículas líquidas mayores a 1 µm
- Hollín. Partículas de carbón finamente divididas y mantenidas juntas en cadenas largas.

Pueden causar cáncer; las partículas de petróleo agravan los desórdenes respiratorios y cardiovasculares; produce daño a los tejidos de los pulmones; altera el sistema de defensa del cuerpo; es tóxica en altas concentraciones; causa tos, irrita la garganta, causa malestar en el pecho; puede causar muerte prematura; reduce la visibilidad de la atmósfera<sup>(29)</sup>.

En el caso de los metales pesados, éstos no se destruyen por la combustión y se pueden encontrar distribuidos como se muestra a continuación.

**TABLA 5.3 DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS PRODUCTO DE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS<sup>(4)</sup>.**

| METAL    | ESCORIA % | POLVO COLECTADO % | GASES DE ESCAPE TRATADOS % |
|----------|-----------|-------------------|----------------------------|
| Hierro   | 99        | 1                 | 0.02                       |
| Cobre    | 89        | 10                | 1.00                       |
| Plomo    | 58        | 37                | 5.00                       |
| Cinc     | 51        | 45                | 4.00                       |
| Cadmio   | 12        | 76                | 12.00                      |
| Mercurio | 4         | 24                | 72.00                      |

(Referencia a 100% de entrada y siempre suponiendo que exista un equipo de control de gases y partículas).

Las concentraciones en estos flujos dependen de las encontradas en el residuo. En un estudio alemán, las concentraciones de mercurio por ton de basura incinerada fueron de 27 a 60 Mg en la escoria; de 150 a 270 mg en el polvo colectado; de 396 mg en gases tratados (fase gaseosa) y de 11 mg en gases tratados (partículas).

Como solución de tratamiento a los residuos de la incineración, en especial de la escoria, que representa la mayor cantidad de residuo, se ofrece su aplicación en la construcción de carreteras. Sin embargo, el polvo colectado debe de ser tratado como residuo peligroso por su gran potencial de riesgo ambiental y toxicológico.

comparando la toxicidad de los metales pesados y la de sustancias orgánicas que se encuentran en los gases de chimenea de los incineradores de basura, el peligro a la salud que presenta este último grupo es mucho mayor. Además, con el actual estado de la tecnología se alcanzan reducciones considerables de las emisiones de metales pesados, con excepción del mercurio. En el siguiente cuadro se presentan las eficiencias de remoción alcanzadas en un incinerador de basura en el noreste de la ciudad de Frankfurt <sup>(8)</sup>.

**TABLA 5.4 EFICIENCIAS DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN INCINERADORES DE BASURA <sup>(8)</sup>.**

| METALES PESADOS (SUMA DE PARTICULAS Y VAPORES) | EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%) | FLUJO DE MASA DE CONTAMINANTES EN EL GAS DE CHIMENEA (G/H) |
|--|----------------------------|--|
| Cadmio   | 99.83-99.95                | 0.055  |
| Plomo  | 99.84-99.98                | 0.461  |
| Cinc   | 99.93-99.98                | 1.813  |
| Mercurio                                       | 16.50 - 30.0               | 24.700 - 67.5  |

*Efectos sobre la salud de los metales pesados*

- Asbestos.

Aumentan la incidencia de cáncer respiratorio o intestinal. El término asbesto, designa, en forma genérica un gran numero de minerales fibrosos que son complicadas mezclas de óxidos de silicio, magnesio, hierro, aluminio, calcio y sodio.

- *Arsénico (As)*

Bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad; enfermedades vasculares

- Berilio (Be)

Irritación de las membranas mucosas y de la piel; cáncer de pulmón

- Cadmio (Cd)

Bronquitis, enfisema; nefrotoxicidad; Infertilidad; cáncer de próstata; alteraciones neurológicas; hipertensión; enfermedades vasculares

- Cromo (Cr)

Nefrotoxicidad; hepatotoxicidad; cáncer de pulmón

- Mercurio (Hg)

*Alteraciones neurológicas; afecciones del sistema respiratorio*

- *Plomo (Pb)*

Alteraciones neurológicas (disminución del coeficiente intelectual infantil); nefrotoxicidad; anemia; cáncer de riñón

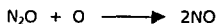
*Óxido de azufre*

Agrava las enfermedades respiratorias: afecta la respiración en especial a los ancianos con enfermedades pulmonares crónicas; provoca episodios de tos y asfixia; crecientes índices de asma crónico y agudo, bronquitis y enfisema; cambios en el sistema de defensa de los pulmones que se agudiza con personas con desórdenes cardiovasculares y pulmonares; irrita los ojos y los conductos respiratorios; aumenta la mortalidad<sup>(29)</sup>

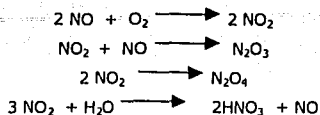
*Óxidos de Nitrógeno*

Se representan por el símbolo NO<sub>x</sub>, los principales son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). El primero de ellos es incoloro, pero en la atmósfera pasa a NO<sub>2</sub> que es de color café rojizo. Otros óxidos son N<sub>2</sub>O, que es incoloro y el que abunda más en la baja atmósfera porque es producido por acción biológica, ya en la atmósfera se transforma en NO. El N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> al reaccionar con agua, produce ácido nitroso (HNO<sub>2</sub>) y finalmente el N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, que al reaccionar con agua produce el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>).

Formación del óxido nítrico:



Que es seguido de las siguientes reacciones :



El NO agrava las enfermedades respiratorias y cardiovasculares; irrita los pulmones; reduce la visibilidad en la atmósfera; causa daño al sistema respiratorio; afecta y reduce la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre, a las células y al corazón; dolor de cabeza, pérdida de visión, disminución de la coordinación muscular, náuseas, dolores abdominales (es crítico en personas con enfermedades cardíacas y pulmonares); eleva los índices de mortalidad por cáncer, por neumonías, cáncer del pulmón<sup>(29)</sup>.

#### *Óxido de Carbono*

En forma de monóxido de carbono tiene la capacidad de reducir la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, puede afectar los procesos mentales, agrava las enfermedades respiratorias y del corazón, puede causar dolor de cabeza y cansancio en concentraciones moderadas (de 50 a 10 ppm.) y la muerte en concentraciones altas y prolongadas (de 750 ppm. en adelante). La amenaza de óxido de carbono a la salud es mayor en personas que padecen enfermedades cardiovasculares (angina de pecho o enfermedades vasculares periféricas)<sup>(29)</sup>

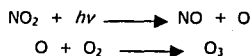
#### *Hidrocarburos*

Compuestos de Carbono e hidrógeno. El más común en la atmósfera es el metano. Ocasiona daño al sistema respiratorio y puede causar cáncer. Participa en la formación de niebla fotoquímica. En todos los procesos de combustión incompleta se generan hidrocarburos poli aromáticos. Diversos toxicólogos opinan que esta clase de sustancia posee un alto potencial para causar cáncer. Para la mayoría de los hidrocarburos poli aromáticos no existe un valor de límite justificado por estudios epidemiológicos. La sustancia más conocida es el 3,4-Benzopireno. En promedio se observan de 0.5 a 5 nanogramos por m<sup>3</sup> a condiciones estándar (ng/Nm<sup>3</sup>) de esta sustancia en el gas de chimenea en los incineradores de residuos municipales, o de tres a 31 ng/Nm<sup>3</sup> de residuo incinerado<sup>(29)</sup>

#### *Ozono*

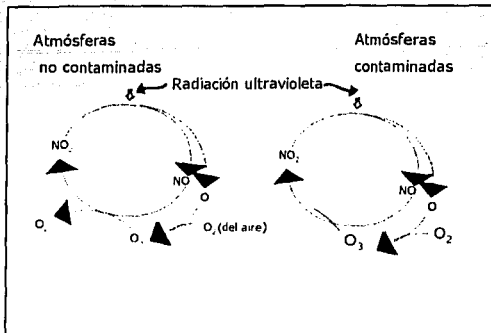
Es un oxidante fotoquímico y el principal componente del humo. No se emite directamente al aire, sino que es formado de reacciones químicas complejas entre emisiones precursoras de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno en presencia de la luz solar. Estas reacciones son estimuladas por la luz del sol y la temperatura en niveles altos de ozono que ocurren durante los períodos más calientes del año<sup>(29)</sup>.

El mecanismo inicia con la absorción de energía por el NO<sub>2</sub> lo que ocasiona el rompimiento de la molécula en óxido nítrico y oxígeno atómico. Este último elemento es muy reactivo e inestable y reacciona inmediatamente, formando ozono



Normalmente hay un ciclo en el cual el NO reacciona con el ozono y regresa a la molécula original NO<sub>2</sub> sin embargo, el ciclo se rompe, ya que algunos hidrocarburos reaccionan con el NO impidiendo que reaccione con el ozono. Este proceso se representa en la figura 5.4.





**FIGURA 5.4 CICLO FOTOLÍTICO DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO<sup>(29)</sup>.**

Afecta a las personas con desórdenes respiratorios y a niños y adultos saludables, causa problemas al dañar los tejidos pulmonares, reduce las funciones pulmonares y la sensibilidad de éstos a otros irritantes. Se acompaña con síntomas como dolor de pecho, tos, náuseas y congestión pulmonar, y la exposición continua puede acelerar la pérdida de la función de los pulmones y el envejecimiento de éstos. Se asocia

con la producción de cáncer y asma. A esta lista de efectos, que se pueden producir por causa de las emisiones, hay que añadirles los efectos sinérgicos, producto de la combinación de factores <sup>(29)</sup>.

**TABLA 5.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y DATOS DE LA COMBUSTIÓN DE LOS RESIDUOS PATOLÓGICOS ANÁLISIS FINAL (ANIMAL COMPLETO) <sup>(28)</sup>.**

| COMPONENTE         | % DEL PESO TOTAL | % DEL PESO DEL RESIDUO |
|--------------------|------------------|------------------------|
| Carbono            | 14.7             | 50.80                  |
| Hidrógeno          | 2.7              | 9.35                   |
| Oxígeno            | 11.5             | 39.85                  |
| Agua               | 62.1             |                        |
| Nitrógeno          | Trazas           |                        |
| Minerales (ceniza) | 9                |                        |

#### TOXICIDAD DEL PVC

Los plásticos son unos productos de muy reciente aparición. Alrededor del 20% de los plásticos que se emplean actualmente, en diversos usos, pueden ser vueltos a utilizar. El resto, es decir, el 80%, o bien debe ser reciclado como materia prima en la industria petroquímica, o bien puede ser utilizado como un agente reductor en procesos térmicos o como un combustible. La reutilización de plásticos es solamente un camino sensato para grandes cantidades de un mismo materia, a la vez de que existen otras rutas para recuperar o reciclar los materiales que contienen plásticos, como son los procesos petroquímicos y térmicos que compiten ecológica y económicamente en el reciclado de plásticos mezclados.

Diversos aspectos sobre el reciclado químico muestran que la ventaja de reciclar el material sobre la utilización química depende de que se emplee menos energía en la reutilización que la que es necesaria para producir el plástico. Para poliolefina, este límite energético es alrededor de 20MJ/Kg. Si se pasa de este valor umbral, resulta más ventajoso usar térmicamente la entalpía del residuo en cuestión. En la combustión surge la cuestión de si es factible reconvertir alternativamente el residuo plástico en aceite ligero o gas de síntesis para su uso como materiales de partida para nuevos productos químicos (reciclado de materias primas). Los cauchos vulcanizados, por su complejidad, podrían ser asimilados a muchas de las composiciones de PVC en donde también existe una gran capacidad de aditivos. El azufre puede sufrir la misma problemática que el cloro en el PVC. Un balance de energía ha revelado que el reciclado, como materia prima, está en competencia con el recuperado de energía térmica y no constituye la ruta escogida para la utilización de los residuos.

El PVC y algunos polímeros que contienen cloro pertenecen al grupo más utilizado de termoplásticos. Su principal desventaja es su limitada estabilidad térmica, lo cual hace que requieran la adición de estabilizantes térmicos para prevenir la deshidrocloración y decoloración. El ácido clorhídrico es también el principal producto volátil de la descomposición durante la combustión del PVC; por tanto, los residuos de PVC son poco adecuados para el llamado reciclado térmico<sup>(22)</sup>.

### 5.3 EVALUACIÓN DEL RIESGO QUE REPRESENTA EL USO DE INCINERADORES

La polémica sobre las incineradoras parecen estar centrada entre quienes las consideran seguras y económicas y los que las consideran peligrosas y caras. En cuanto a las Dioxinas y Furanos habría que tomar en consideración las distintas voces que están opinando sobre el tema: Si bien parecía que en un principio la EPA se decantaba en contra del tema tras varios años de estudio no ha dado ningún Informe concluyente. Otras voces en los últimos años han opinado sobre el tema, como la OMS, la CEE en su V Programa de Acción Comunitaria en Medio Ambiente habla de la eliminación segura de los residuos no reciclables ni reutilizables, por incineración, así mismo una serie de investigadores que han seguido el estudio de los efectos en las víctimas de SEVESO han empezado a publicar sus conclusiones a partir del año 1986 diciendo que la dioxina no era tan peligrosa como creíamos, o el decimoséptimo informe de la Real Comisión sobre Contaminación Ambiental del Reino Unido y cómo se ha comentado existen estudios eminentemente científicos que afirman que el 99% de la exposición humana actual a las TCDD provienen de la cadena alimentaria en particular de la carne y productos de consumo diario. Es más, fuentes de las más temidas, como las incineradoras de RSU, representan como máximo un 4% del total de TCDD emitidas según estimaciones llevadas a cabo en EE.UU. La Academia de las Ciencias de Francia ha publicado un informe titulado "La dioxina y sus análogos", en el que se cita como frase final de este estudio: "...en conclusión, se debe considerar que, en el estado actual de los conocimientos y teniendo en cuenta las débiles cantidades en juego, se poseen los medios para identificar y controlar el riesgo ligado a las dioxinas; estos productos no plantean ningún problema grave para la salud pública"<sup>(5,14)</sup>.

#### *ARGUMENTOS CONTRA LA INSTALACIÓN DE INCINERADORES*

La gente piensa que quemando las cosas desaparecen en una nube de humo, pero gracias a las ciencias físicas sabemos que la materia no puede ser destruida, sólo cambiada. Así que el quemar los desperdicios sólidos no elimina la basura sino que la transforma. Es cierto que durante el proceso de quemado de los desperdicios sólidos se puede producir gas o energía eléctrica, pero el producto mayor de ese proceso lo son las cenizas y los gases con residuos químicos tóxicos "El remedio es peor que ha enfermedad", nunca más apropiado resulta el popular refrán como cuando se habla de los incineradores de residuos hospitalarios, que producen peligrosas emanaciones tóxicas.

Estas expresiones pertenecen a un informe elaborado por Greenpeace, en el que explica los riesgos de este tratamiento y promueve su reemplazo por soluciones alternativas. De una manera general, los principales argumentos contra la instalación de un equipo de incineración, son:

- Altos costos instalación de y de operación
- Se requiere personal calificado.
- Elevados costos de mantenimiento.

- El carácter heterogéneo de los residuos, hace que el poder calorífico varíe, acarreado diversos problemas en el funcionamiento del equipo.
- Si no se efectúa el lavado de gases, hay contaminación del aire y si se hace el lavado, hay contaminación del agua
- Se destruyen subproductos susceptibles de comercialización.
- Existen materiales no incinerables, por ejemplo, residuos con altos contenidos líquidos o sólidos no combustibles.

"Muchas de las emisiones de las chimeneas de los incineradores son sustancias tóxicas persistentes y bioacumulativas como las dioxinas, responsables de problemas en el sistema inmunológico, cáncer, malformaciones congénitas y alteraciones del sistema endocrino", detalla el estudio de la organización ecologista. Aunque Greenpeace no promueve ninguna tecnología alternativa específica, las enuncia: autoclave o esterilización al vapor, tratamiento con microondas, inactivación térmica y desinfección química, entre otras. Los hornos incineradores de residuos patológicos emiten al medio ambiente a través de los humos de sus chimeneas; generan líquidos de lixiviado y cenizas contenidas en los filtros y como producto de la incineración, sustancias más peligrosas y contaminantes aún que las que se pretendieron destruir, ellos son: metales pesados: cromo, plomo, cadmio, mercurio. PICS (productos de combustión incompleta, entre los que se encuentran las dioxinas).

Las dioxinas son subproductos de la combustión de sustancias cloradas (los residuos patológicos contienen alrededor del 70% de PVC -policloruro de vinilo-). Un tipo de dioxina, la 2-3-7-8 tetraclorodibenzodioxina, es considerada por la OMS como *cancerígeno humano cierto*. Las dioxinas tienen características de biomagnificación (se transmiten a través de la cadena alimentaria desde organismos simples a otros más complejos como el ser humano); son persistentes (perduran aún en condiciones muy desfavorables); se transmiten hereditariamente de la madre al hijo a través de la placenta o la leche materna. <sup>(29)</sup>

Según la USEPA (Agencia de Medio Ambiente de EEUU) los principales emisores de dioxinas al medio ambiente son los incineradores de residuos patológicos y la plantas elaboradoras de pasta de papel. En muchos estados de EEUU y en Europa se está prohibiendo la instalación de nuevos incineradores, otorgándoles un plazo a los ya existentes para su desmantelamiento. La agencia de M. Ambiente de Francia detectó elevadas concentraciones de dioxinas en productos frutihortícolas y leche vacuna en granjas vecinas a incineradores, por lo que prohibió su comercialización. Otra preocupación relacionada con los incineradores es el costo económico que los mismos representan. La construcción de los incineradores no es bajo, así como tampoco es bajo el costo de mantenimiento y para que sean productivos hay que dedicar recursos inmensos para su funcionamiento. El costo de la operación ha obligado en muchas ocasiones a que sean cancelados proyectos alternos para el manejo de los desperdicios sólidos como lo son: el reuso y el reciclaje o al virtual abandono de estos equipos.

#### **ARGUMENTOS A FAVOR DE LA INSTALACIÓN DE INCINERADORES**

La descomposición de basura en vertederos tiene los mismos efectos que la incineración:

- Se quema la misma cantidad de oxígeno, solamente en un periodo más largo. El aire es contaminado con la misma cantidad de CO<sub>2</sub>, solamente en un periodo más largo.

- Al aire y al agua escapan casi los mismos contaminantes y sustancias tóxicas, que tardan solamente más tiempo.
- Se produce el mismo calor (energía), pero en los vertederos no se utiliza.
- Una pieza de madera desprende la misma energía durante su descomposición e inertización que dura entre 3 y 5 años que durante su incineración en el horno que dura un minuto.
- La incineración requiere un área de desechos pequeña.
- Existe la tecnología para destruir completamente aun los materiales mas riesgosos de una manera completa y efectiva.
- Una pieza de madera deja la misma cantidad de cenizas (residuos), si es incinerada en caliente en un minuto o en frío en 3 o 5 años.
- En los vertederos las sustancias tóxicas no se neutralizan y escapan libremente a la atmósfera, sobre todo los metales pesados, mientras que en algunas plantas de incineración se recuperan.
- Si la basura fuera transportada en camiones a un vertedero fuera de la ciudad, los humos y gases de escape producidos por los motores de los camiones amenazarían mucho más a la población que la incineración. Cada camión produce cinco veces más gases de escape tóxicos no filtrados que un coche normal, y eso en las carreteras, a una altura donde respiramos.
- La basura no clasificada, tal como se presenta ahora, es tan tóxica que la composta que de ella se obtiene no se puede utilizar como humus en los jardines y campos y ni siquiera en los bosques.
- Con el uso de filtros se puede eliminar hasta un 99,9% de los metales pesados tóxicos como cadmio, plomo, zinc, cromo etc. que así no llegan ni al aire ni al agua.
- Las escorias y cenizas volantes producidas pueden ser casi totalmente neutralizadas por el sistema. Los metales pesados son recuperados de los filtros. En estos filtros, la concentración de los metales pesados es mucho más alta que en las minas y su recuperación mucho más sencilla, requiriendo mucho menos energía. El humo de cigarrillos y los gases de escape de los coches son un mayor peligro. por las dioxinas, el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno etc. que contienen. No se puede imaginar a cuantas chimeneas sin filtros equivalen. Son un riesgo verdadero que viene desde abajo, a la altura de respiración.
- Aspirando los gases de escape de un sólo coche uno se moriría en pocos minutos.
- Las sustancias compostables y no tóxicas deberían recogerse para producir humus
- El volumen de los residuos se disminuye en un 80 a 90%
- Los costos de transporte pueden ser menores, si la instalación de incineración se instala cerca del área de generación
- En algunas instalaciones, la energía calorífica puede ser reutilizada para otras actividades<sup>(29)</sup>.

#### 5.4 ELIMINACIÓN DE RESIDUOS BIOLÓGICO-INFECIOSOS

Existen tres formas clásicas de eliminación de Residuos biológico-infecciosos, que son

- *INCINERACIÓN*
- *TERMÓLISIS Y*

- **ESTERILIZACIÓN** (con vapor o gas, la irradiación, la desinfección con componentes químicos y el tratamiento con microondas).

Cada uno de estos tres métodos tiene ventajas y desventajas.

Si bien la *esterilización* no produce contaminación al aire, y muy poco en sus efluentes líquidos, la reducción de residuo es sólo de un 65%, el resto se debe volcar en rellenos sanitarios controlados. Sin embargo, el lixiviado del mismo es contaminante. El proceso aprobado en todo el mundo, consiste en someter a los desechos a una temperatura de 121°C y una presión de 2.100 milibares durante 30 minutos, tras lo que quedan convertidos en basura domiciliaria.

La técnica, notablemente más barata que la incineración, evita el peligroso traslado de residuos y reduce los riesgos de infecciones intrahospitalarias, sin embargo no hay una certeza total que la destrucción de las esporas sea efectiva en un 100% a pesar que pruebas con bioindicadores han dado resultados negativos, pero estos bioindicadores no son el total de los esporulados, no destruye las sustancias químicas (medicamentos vencidos, drogas de usos analíticos y hospitalarias, etc.) y sustancias radioactivas entre otras. Cada uno de ellos posee pros y contras. Respecto a los que utilizan el agua como factor fundamental para el tratamiento surge dudas acerca de la capacidad de la total inactivación microbiana existente en los residuos. Pueden existir cepas que resistan las temperaturas máximas que permitan estos sistemas de tratamiento, en contraposición con la destrucción total por la incineración que supera los 700 °C y no debe desestimarse la necesidad del tratamiento del efluente generado, pudiendo darse que pequeños sistemas de tratamiento de residuos patógenicos viables técnicamente precisen de sistemas de depuración de efluentes tan o más complejos como el sistema en sí.

La *termólisis*, es un tratamiento pirolítico en ausencia de oxígeno, trabaja a baja temperatura (500°C aprox.)- donde los residuos son productores de alto poder combustible, tanto los gases como los carbones que se forman pasan a ser materia prima. Durante la deshidratación y calcinación se produce un efluente líquido que se reutiliza en el lavado de los gases, eliminándoles a estos de los contaminantes, y a la vez este efluente debe ser tratado en lagunas. Reduce el volumen en un 90%, esta reducción aún es mayor si al polvo se lo mezcla con los hidrocarburos y se forman los carbones reutilizables para quemarlos con una generación de 4000 a 6000 Kcal/Kg.

Por último nos queda la *incineración* como método, tal vez el más eficaz, es el de menor costo pero el más rechazado por los ecologistas, aduciendo la formación de dioxinas y furanos, sin embargo, la incineración de residuos patológicos sólo son formadores de dioxina y furano en un 10% de su composición. Ese valor, a modo de ejemplo es también la 1/10 parte de la dioxina que se forma con respecto a la emanada de un incendio Forestal y un porcentaje aún menor con respecto a la que se forma de una incineración espontánea de un basural.

Reduce el volumen en un 90-95%, siempre hablando de patológico únicamente, y el residuo que queda son cenizas carbonatadas inertes, cuya disposición se puede hacer en cualquier volcadero. En forma indistinta en los tres métodos, de haber metales pesados, se debe tratar en forma especial, siendo el de más fácil manejo las cenizas de la incineración.

Si bien ésta última, aparte de emanar valores muy inferiores a los recomendados internacionalmente de dioxinas, forman otros gases. Estos son atrapados por los distintos métodos que se aplican en la actualidad a

los hornos incineradores, haciendo que únicamente salga por la chimenea vapor de agua y algo de  $CO_2$  que de ninguna manera (por la distribución de hornos) contribuye al efecto invernadero. Ya existen empresas canadienses que ofrecen un producto para la inhibición de la formación de las dioxinas y furanos, el mismo fue probado con éxito en EE.UU. y en Europa. Pensar hoy día en instalar un horno de incineración que no contemple una cámara primaria, una cámara de post-combustión, torres para la retención de particulado, scrubber para la retención de los gases ácidos y Quench para evitar la generación de dioxinas y furanos es volver a la tecnología antigua. Y si se está hablando de una Planta de Incineración se debe agregar la planta de tratamiento de los efluentes generados, ya sea por el propio proceso de lavado de gases y humos como por el lavado de la superficie de la planta. Es importante recordar que muchos residuos que hoy se incineran no debieran ser incinerados o que puede reingresar al circuito como materia prima. En el caso de los residuos patógenos esto no es posible. La tendencia actual de las normas estatales está dirigida hacia:

- Una normatividad más estricta de las partículas.
- Control de los gases ácidos, especialmente el ácido clorhídrico.
- Control de monóxido de carbono.
- El mayor control sobre las partículas se ha logrado gracias a la disponibilidad <sup>(14,29)</sup>.

## 5.5 CLASIFICACIÓN DE INCINERADORES

No existe una única manera de clasificar los equipos incineradores., dependiendo de si se considera el tipo de residuos el que son creados, el tamaño, funcionamiento, etc. Algunas de estas clasificaciones son:

### A) CLASIFICACIÓN DE INCINERADORES POR TIPO DE USO

- *Incineradores Para desechos biológico-Infeciosos*
- *Incineradores para desechos Patológicos,*
- *Incineradores para desechos de Laboratorio*
- *Incineradores para desechos Municipales*
- *Incineradores para desechos Industriales*

#### *Incineradores para desechos Biológico-Infeciosos*

Diseñados para procesar de la manera más segura y con menos riesgo desechos Biológico-Infeciosos. Los equipos deben estar diseñados en base a memorias de cálculo que garanticen su funcionamiento dentro de los parámetros establecidos en la normatividad ambiental nacional e internacional. Además de contar con sistemas de instrumentación, alarmas acústicas y visuales, así como plataformas de verificación con puertos de muestreo y puerto para el acoplamiento del cargador automático de desechos (sí se requiere).

#### *Incineradores para desechos Patológicos*

Este tipo de desechos conformados en su mayoría por partes anatómicas y al igual que el biológico-infecioso, también es de alto riesgo, por lo que debe ser procesado de preferencia en el sitio donde se genera, evitando el traslado y el riesgo de contagio. Su campo de aplicación está en Hospitales, Rastros, Escuelas veterinarias, Avicultura, Ranchos, Centros agropecuarios y de Investigación, Centrales de abasto, Empacadoras, etc.

#### *Incineradores para desechos de Laboratorio*

Su función principal es la de destruir de manera confiable los desechos contaminados principalmente de centros y laboratorios de investigación científica, sobretodo en aquellos donde se utilizan animales de laboratorio para tales fines, este tipo de desechos está catalogado dentro de los biológico-infecciosos, por lo que su tratamiento debe ser in situ y por un medio contundente.

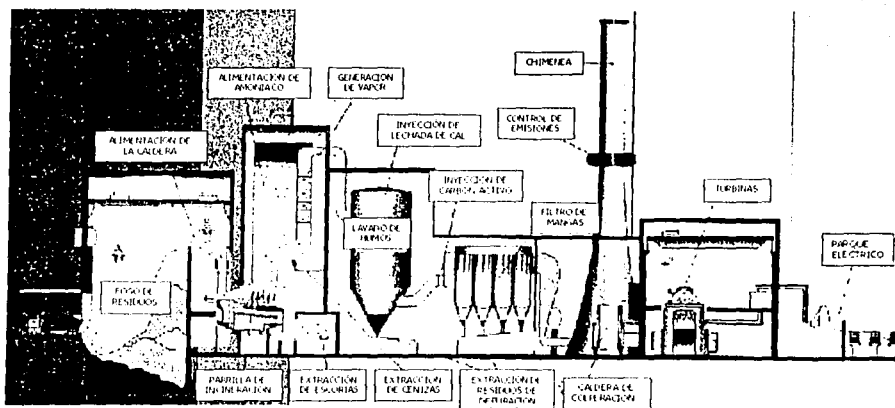
*Incineradores para desechos Municipales*

Equipos diseñados para procesar el enorme volumen que se produce actualmente de este tipo de desechos, dada la diversidad y composición de estos, se requieren equipos de mayor capacidad y rapidez para procesarlos.

*Incineradores para desechos Industriales*

En plantas donde se generan desechos tales como grasa, aceite, solventes, tóxicos, etc., que de otra manera terminarían contaminando el ambiente en tiraderos a cielo abierto o en los mantos acuíferos. (Fig. 5.5) <sup>(45)</sup>.

FIGURA 5.5 INCINERADOR INDUSTRIAL DE RESIDUOS<sup>(41)</sup>.



**B) CLASIFICACIÓN DE INCINERADORES DE ACUERDO AL VOLUMEN DE TRABAJO**

*Incineradores domésticos individuales.*

Actualmente, en desuso, debido al gran número de chimeneas contaminantes ya que son equipos en los que la combustión es difícil y tienen más inconvenientes que ventajas.

*Incineradores pequeños centralizados.*

Hasta una capacidad de 50 ton / día, son utilizados normalmente en las instalaciones hospitalarias.

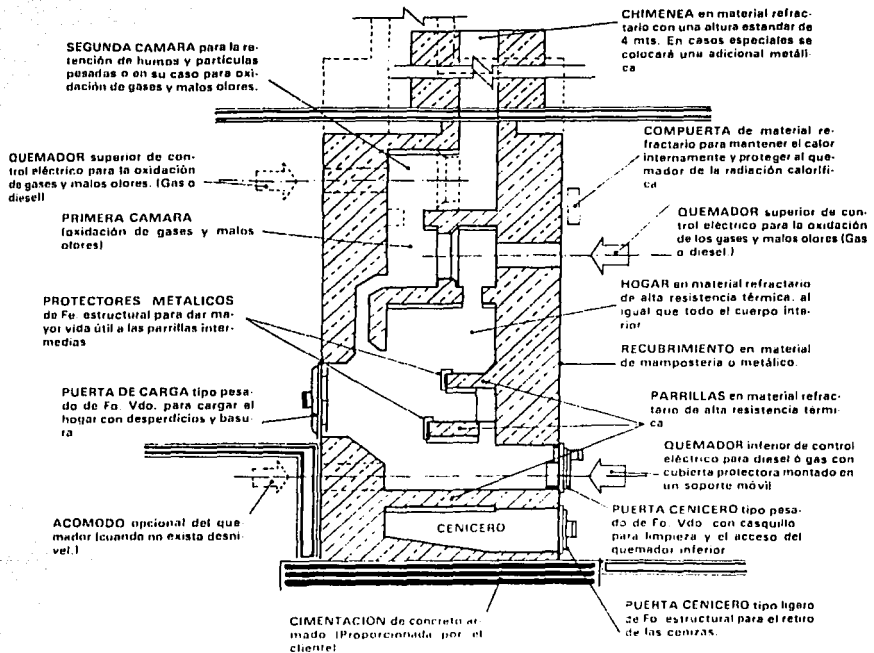
*Incineradores grandes o medianos.*

A partir de 50 ton / día. Empleados para la eliminación de residuos sólidos municipales e industriales.

*Incineradores mixtos.*

Para el tratamiento de residuos sólidos municipales e industriales<sup>(29)</sup>.

**FIGURA. 5.6 INCINERADOR DE DOS CÁMARAS TIPO<sup>(13)</sup>**



**C) CLASIFICACIÓN DE INCINERADORES POR FUNCIONAMIENTO**

Tipos de incineradores de residuos sólidos.

Existen varios sistemas de incineración, desde los mas antiguos de una sola cámara hasta los mas modernos que funcionan con aire en dos o mas cámaras de combustión (figura 5.6), mediante controles automatizados de aire y combustible, así como de tiempo de combustión. El diseño y la operación de los incineradores son de una gran complejidad, sobre todo la variabilidad de la composición de los residuos; a menudo los incineradores tienen que destruir residuos con un amplio espectro de valores calóricos, ejemplo desde residuos alimentarios húmedos con un valor calorífico tan bajo como 2500 BTU/lb hasta residuos plásticos con mas de 19,000 BTU/lb.

Los tipos principales de incineradores para residuos hospitalarios son:

1. - Incineradores de una sola cámara de combustión
2. - Incineradores de cámaras múltiples (figura 5.6)
3. - Incineradores de aire controlado.



### *Incineradores de una cámara*

El incinerador "convencional" simple, se compone de una cámara de hierro forjado o acero, revestida con tabique refractario. El funcionamiento de este equipo es simple, se carga manualmente a través de una puerta con bisagras, sobre una parrilla de barras, logrando el encendido inicial mediante un objeto inflamable. La combustión de los residuos se lleva a cabo sobre la parrilla. Las deficiencias más significativas del funcionamiento de este equipo son las siguientes: la velocidad del flujo de aire y la combustión no son controladas, produciendo considerables cantidades de humo y altas emisiones de partículas a causa de la combustión incompleta, el procedimiento de carga puede ocasionar una excesiva temperatura en el horno, dañando el revestimiento refractario, el operador no recibe protección durante la carga y la parrilla de barras debe ser reemplazada frecuentemente. Se han introducido a este equipo modificaciones tales como un quemador para el encendido inicial de los desechos y para destrucción de organismos patógenos, un interruptor térmico, para suspender la inyección de combustible al alcanzar una temperatura dada, con el consiguiente ahorro de combustible; corrientes de aire forzadas, para incrementar la turbulencia y mezclado en la cámara, un encendido automático. Sin embargo, los incineradores de una sola cámara se consideran muy antiguos y de baja eficiencia.

### *Incineradores de cámaras múltiples*

Al inicio del proceso de incineración se utiliza una cámara primaria para la combustión de los residuos sólidos; la residencia de los gases de emisión y la cantidad del combustible complementario para la incineración de los productos gaseosos no quemados y de los sólidos combustibles en suspensión (hollín) liberados desde la cámara primaria (tabla 5.6) Existen dos tipos principales de los incineradores de cámaras múltiples: incineradores tipo retorta y los sistemas "en línea"<sup>(28)</sup>

**TABLA 5.6 COMPARACIÓN ENTRE LAS EMISIONES DE LOS INCINERADORES DE CÁMARA ÚNICA Y CÁMARAS MÚLTIPLES<sup>(28)</sup>**

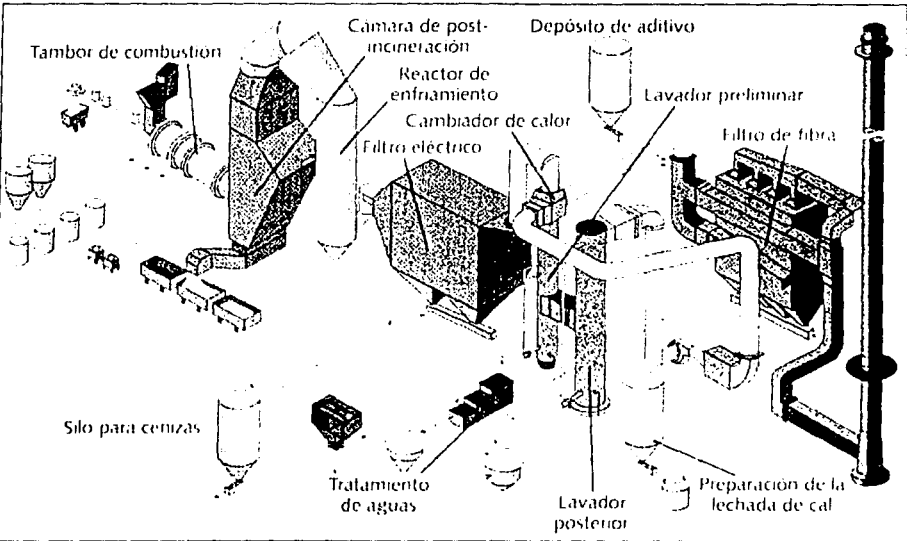
| CONTAMINANTE                                  | CÁMARAS MÚLTIPLES | CÁMARA ÚNICA |
|---|-------------------|--------------|
| Partículas (gr/scf a 12% de co <sub>2</sub> ) | 0.11              | 0.90         |
| Material volátil (")                          | 0.07              | 0.50         |
| Total gr/scf a 12% de co <sub>2</sub>         | 0.19              | 1.40         |
| Total (lb. de residuos incinerados)           | 3.50              | 23.80        |
| monóxido de carbón (")                        | 2.90              | 197 a 991    |
| Amonia lb/ton (")                             | 0.00              | 0.9 a 4.0    |
| ácidos org. (acético) (")                     | 0.22              | Más de 3.0   |
| aldehidos (formaldehido) (")                  | 0.22              | 5.0 a 64     |
| Oxidos de nitrógeno (")                       | 2.50              | 1.0          |
| Hidrocarburos (hexano) (")                    | Menos de 1        |              |

### *Incinerador tipo retorta.*

Esta unidad es un incinerador compacto de tipo cúbico con varias placas internas. Las placas están colocadas de tal modo que dirijan el curso de los gases de combustión en giros de 90° en dirección horizontal y vertical. En cada giro las cenizas se precipitan desde la corriente de los gases de salida. La primera cámara tiene rejas elevadas para la descarga de los residuos y un canal para la recolección de cenizas residuales el suministro de aire, se hace por arriba y por debajo de los quemadores, mediante ventiladores de aire forzado. Los gases de emisión salen de la cámara primaria a través de una abertura denominada (flame port) que desemboca en la cámara secundaria o en una cámara más pequeña denominada "cámara de mezclado" inmediatamente antes de

la cámara secundaria. El puerto de la flama es una abertura del muro que separa las cámaras primaria y secundaria. Dependiendo de la naturaleza de los residuos, se suministra combustible adicional en la cámara primaria y secundaria, el suministro de combustible puede ser innecesario en la cámara primaria después de iniciada la ignición. Es decir después de alcanzar una temperatura suficientemente alta como para que los residuos mantengan su propia combustión, la cámara secundaria generalmente requiere un suministro continuo de combustible conforme los gases penetran y salen de la cámara secundaria, las partículas de mayores dimensiones se desprenden del flujo de los gases, si las temperaturas en la cámara secundaria son suficientemente elevadas (alrededor de 1400°F para los residuos patológicos y otros residuos carbonaceos) destruyen las partículas aun no incineradas. La capacidad de los incineradores tipo retorta generalmente fluctúa desde 20 lb/hr. Hasta aproximadamente 750 lb/hr; la capacidad de los incineradores en línea habitualmente oscila entre 500 lb/hr 2000 lb/hr, pudiendo ser la capacidad aun mayor si cuenta con dispositivos automaticos de carga y de remoción de cenizas, los cuales generalmente no están disponibles para equipos con capacidad menor de 1000 lb/hr. Los requerimientos de aire para combustión son los mismos para cualquier de estos dos incineradores, aproximadamente 300% de exceso de aire. Aproximadamente la mitad del aire requerido Ingresa como fuga a través del puerto de carga y de otras áreas del incinerador. Del aire restante, el 70% se suministra en la cámara primaria como aire superior a la cámara de encendido de la cámara<sup>(28)</sup>

FIGURA 5.7 INCINERADOR DE RESIDUOS<sup>(25)</sup>.



*Incineradores en línea*

Esta es una unidad mas grande que el incinerador tipo retorta. El flujo de los gases se dirige de manera recta, con cambios abruptos solo dirección vertical, alimentado por gas natural como combustible adicional, sobre todo

de la cámara secundaria. Los residuos son cargados en la parrilla, la cual puede ser móvil o fijas, solamente son útiles para una operación semicontinua o por lotes. Los incineradores en línea cuentan con equipo de remoción automatizada de cenizas, lo cual facilita la operación continua. Los cambios en la dirección del flujo del aire y las restricciones ayudan al depósito de las partículas de mayor tamaño y aumentan la turbulencia necesaria para facilitar una mayor combustión. Los quemadores adicionales en la cámara primaria incineran los residuos, mientras que en la cámara secundaria los quemadores adicionales mantienen la combustión completa, de los componentes incinerables de los gases de salida. Los incineradores de cámaras múltiples producen considerablemente menos emisión que los incineradores de cámara única. Una cortina de agua a través del curso de los gases de salida de la cámara de combustión secundaria reduce aun mas las emisiones.

#### *Incineradores de horno rotatorio.*

Este sistema de incineración consiste de un horno rotatorio y una cámara de combustión secundaria; es más versátil que los incineradores ya descritos, puede aplicarse a la destrucción de desechos sólidos, líquidos y aún aquellos que se guardan en contenedores. Está diseñado para operar de manera continua, incluye un equipo complementario, para la alimentación continua de las cenizas. Las características de diseño de estos equipos, elevan su costo de adquisición e involucran en área de almacenamiento controlada, ya que se requiere un volumen de residuos preestablecidos para poder operar el equipo en forma continua<sup>(28)</sup>.

### **5.6 TECNOLOGIAS PARA EL CONTROL DE EMISIONES A LA ATMOSFERA.**

El control de las emisiones depende de la naturaleza de los residuos, del tipo de incinerador y de los parámetros de operación del incinerador. Unos residuos con una considerable carga de plásticos necesariamente producirá emisiones de cloruro de hidrógeno. Cuando se utiliza un limpiador húmedo se producirá ácido clorhídrico en el agua de limpieza. Un residuo con alto contenido de azufre, tiene un comportamiento similar, ya que puede producir emisiones de ácido sulfúrico.

Los residuos peligrosos requieren una elevada temperatura para obtener una destrucción efectiva. Los filtros son lábiles a temperaturas mayores de 300°F - 600°F y por lo tanto no pueden ser utilizados cuando los gases de salida tienen una temperatura relativamente elevada. Las características físicas del material de los residuos deben ajustarse al tipo de incinerador seleccionado.

A continuación se presentan las emisiones típicas desde las más severas a las más graves

#### *PIROLISIS*

Los productos de la combustión de un reactor pirólítico son ricos en hidrocarburos no quemados, incluyendo ácidos orgánicos y componentes orgánicos pesados y ligeros. Los gases están altamente cargados también de partículas.

**HORNO ROTATORIO,** produce una carga de partículas atmosféricas relativamente altas.

**INCINERADOR DE UNA SOLA CAMARA.** Los residuos serán destruidos inadecuadamente, liberando partículas y sustancias orgánicas.

**INCINERADORES DE CAMARAS MULTIPLES.** Tiende a incrementar la combustión de las sustancias orgánicas no incineradas dentro del gas de salida reteniendo las partículas del flujo de gases.

**INCINERADOR DE AIRE CONTROLADO.** Las emisiones atmosféricas de los incineradores incluyen partículas, gases, olores y ruidos. Existe una gran variedad de equipos de control de emisiones contaminantes, desde los dispositivos simples hasta aquellos de gran complejidad.

La generación de los contaminantes depende de los siguientes factores:

- Composición de los residuos
- Ritmo de la carga de los residuos
- Método de carga
- Tipo y diseño del incinerador
- Condiciones de la combustión (las tres T)
- Flujo de aire. <sup>(28)</sup>

#### **MÉTODOS DE CONTROL DE EMISIONES**

El control integral de las partículas se logra con la operación del equipo. Los contaminantes más comunes emitidos por los incineradores son: las partículas, los cloruros y los óxidos de azufre.

##### *Separadores por colección*

La colección se realiza al reducir la velocidad de la corriente de los gases, permitiendo que las partículas (mayores de 40 micrones) se asienten por gravedad. Estos equipos se utilizan por lo general como precolectores de un equipo de alta eficiencia. Las ventajas que presenta son:

- Costo de instalación, mantenimiento y gasto de energía bajos.
- Excelente seguridad.
- Puede fabricarse con una gran variedad de materiales. Las desventajas fundamentales son:
- Requiere de mucho espacio para su instalación
- La eficiencia de recolección es baja.

##### *Separadores secos por impactación.*

Consisten en una serie de placas colocadas frente a la corriente de los gases. Las partículas por su inercia mantienen su dirección, mientras que los gases de la corriente cambian su curso alrededor de la placa; las partículas se depositan y los gases mantienen su flujo. Este método es efectivo para la remoción de partículas por arriba de 15 micras, pero partículas de menor diámetro continúan su trayectoria dentro de la corriente de los gases.

##### *Ciclones.*

El ciclón es un separador, los gases que penetran en el ciclón forman un vértice que eventualmente se invierte y forma un segundo vértice al salir de la cámara ciclónica; por inercia las partículas tienden a moverse hacia el muro externo, donde caen hacia un recipiente externo para su posterior colección. Los ciclones son capaces de remover partículas de gran diámetro (por arriba de 15 micras), pero tienen un efecto mínimo sobre partículas más pequeñas. Un colector ciclónico suele colocarse antes de otro dispositivo de control como es un precipitador electrostático. En ocasiones la descarga de los sólidos del ciclón está conectada directamente al incinerador, regresando así las partículas de gran diámetro de la corriente de los gases, aumenta la eficiencia de los mecanismos subsecuentes de control, el 85% del peso de las emisiones puede estar constituido por partículas de diámetro mayor de 15 micras. Uno de los problemas del uso de los ciclones es la dificultad para que las

partículas se desprendan de las paredes del ciclón. La aglomeración de las partículas se incrementa si los residuos son fibrosos, adhesivos, o higroscópicos, o si la corriente de gases contiene una elevada carga de partículas. (29)

### **5.7 ESTADO EN QUE FUNCIONAN ALGUNOS INCINERADORES EXISTENTES**

En la ciudad de Viena existe una planta de incineración modelo, lo confirma en que fuera seleccionada como "buena práctica" en el concurso Hábitat II de Naciones Unidas. Fue construida sobre las cenizas de otra existente en el mismo lugar con la oposición inicial de los movimientos ecologistas. Esta planta forma parte del plan de gestión de los residuos de dicha ciudad. Da tratamiento térmico a cerca de 265.000 toneladas anuales. Su combustión produce, además de calor para el sistema de calefacción centralizada, electricidad para su propio abastecimiento. En 1995, más de 150.000 viviendas y más de 3.000 edificios públicos se conectaron al sistema de calefacción centralizada. Esta planta posee la mejor tecnología ambiental disponible en el momento actual: precipitadores electrostáticos y filtros húmedos para la eliminación de los metales pesados, ácido clorhídrico y dióxidos de azufre, y un sistema catalítico de depuración de gases de combustión que reduce los óxidos de nitrógeno (NOx), las dioxinas y furanos con un alto grado de eficacia. Otro indicador de su compatibilidad ambiental es el hecho de que el diseño arquitectónico fue realizado por un destacado ambientalista. (4,19)

#### *ESTADO EN QUE FUNCIONAN ALGUNOS INCINERADORES EXISTENTES EN OTRAS INSTITUCIONES.*

En visitas realizadas para conocer las condiciones de funcionamiento de una planta incineradora en la *UNAM ENEP Iztacala*, entre otras cosas se observó lo siguiente:

- Mal estado general del edificio.
- Bolsas de residuos apiladas en depósito abierto, algunas de ellas rotas, otras sin precinto con su contenido a la vista y expuestas a la acción de roedores.
- Personal sin indumentaria adecuada para manipuleo de sustancias peligrosas.
- Instalaciones en estado de abandono y sin funcionar desde hace mucho tiempo.
- Dos chimeneas de aproximadamente dos y cuatro metros de altura sin ningún tipo de filtro ni obstáculo para la salida de gases a la atmósfera.
- Una montaña de cenizas a cielo abierto amontonadas al costado de dicha máquina por demás de precaria y primitiva en sus características.

### **5.8 INCINERACIÓN DE RESIDUOS COMO FUENTE DE ENERGÍA**

Los Residuos son un combustible con un PCI entre 1800 y 2000 Kcal/Kg. Su poder calorífico es similar a ciertos carbones utilizados para producir electricidad. Es un combustible que nos rodea, no necesita ningún tipo de fábrica o sistema de extracción. Se genera continuamente y es por tanto un recurso renovable como la energía hidráulica o eólica. Incinerar Residuos permite ahorrar recursos naturales y convertirlos en energía eléctrica.

Las actuales y modernas plantas de incineración con recuperación de energía combinan la avanzada tecnología de combustión controlada con eficaces instalaciones de tratamiento y depuración de los gases de combustión. De esta forma, se consigue generar energía eléctrica mucho más limpia que las centrales térmicas que funcionan en la actualidad. En particular, se reducen sustancialmente las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y otros elementos contaminantes.

## **CAPITULO 6**

### **CONSIDERACIONES PARA LA INSTALACION DE UN EQUIPO INCINERADOR DE RESIDUOS EN LA FES CUAUTITLÁN**

#### **6.1 NATURALEZA DEL PROYECTO:**

En la evaluación de los requisitos para la instalación y operación de un pequeño incinerador de residuos peligrosos, que pueda operar simultáneamente distintos tipos de residuos sólidos secos o húmedos combustibles se debe tomar en cuenta algunas consideraciones.

#### **6.2 REQUISITOS QUE DEBERÁ CUMPLIR EL INCINERADOR PROPUESTO.**

- El incinerador deberá tener al menos, dos cámaras de combustión.
- La cámara de combustión secundaria, deberá ser capaz de alcanzar temperaturas mayores de 800°C.
- El incinerador deberá tener instalado un equipo de control, capaz de controlar partículas con diámetros menores a 30micrones.
- El personal encargado de operar el incinerador, deberá contar con capacitación en lo concerniente a principios básicos de combustión, incineración y funcionamiento de incineradores.
- Durante el funcionamiento del equipo, deberán controlarse los siguientes parámetros:
  - Tiempo de residencia en la cámara de combustión.
  - Temperatura a la que se lleva a cabo el proceso.
  - Turbulencia.
  - Bitácora de incineración (donde se registre la cantidad de residuos que se incineren diariamente, sus características y las condiciones a las que se operó el equipo)
- Dicho incinerador se deberá complementar con equipos de accesorios que permitan controlar la emisión de contaminantes hasta en un 99.99%<sup>(30,32,34)</sup>.

#### ***VIDA ÚTIL DEL EQUIPO.***

El tiempo de vida útil del proyecto, está en función de la duración del sistema de incineración, el cual se estima entre 15 y 25 años, pudiendo ampliarse con la actualización de tecnologías durante su ejecución.

#### ***COSTO DEL EQUIPO***

En el mercado mexicano, actualmente el precio de un equipo incinerador de residuos de dos cámaras, con una capacidad de 30 Kg/hora, oscila entre los \$ 250 000 y los \$ 500 000, dependiendo de si es un equipo automatizado y del fabricante.

#### **6.3 PROGRAMA DE TRABAJO.**

Dependerá de la respuesta otorgada por las autoridades de la FES Cuautitlán. No obstante, se han determinado los factores que proporcionarán las bases para determinar el tamaño preliminar de las instalaciones, materiales y equipo a utilizar. Como primera etapa, el programa de trabajo consistirá en la implementación de un programa recolección de residuos con una correcta clasificación. Se sugieren las actividades siguientes:

Capacitación de los miembros de la comunidad universitaria involucrados en la generación de los desechos biológico-infecciosos, dando especial énfasis en la separación de los residuos desde la fuente de generación de los mismos, principalmente en aquellos de características infecto-contagiosas.

- Utilización de contenedores conforme las especificaciones contenidas en la Norma NOM-087, para la recolección de los residuos biológico-infecciosos, cuyas características son: contenedores rígidos contruidos de polipropileno, de 45 x 90 x 90 cm aproximadamente, con tapa de cierre hermético. Bolsas de polietileno de baja densidad, calibre 180.
- Código de colores para los distintos tipos de residuos:



- Rojo para desperdicios de sangre, cultivos, cepas de agentes infecciosos, residuos anatómicos derivados de la atención a pacientes y objetos punzo cortantes
- Amarillo para residuos patológicos. Marcados con la leyenda "Uso exclusivo para residuos peligrosos biológico-infecciosos", además del símbolo universal de riesgo biológico. <sup>(30,32,34)</sup>

FIGURA 6.1 SÍMBOLO UNIVERSAL DE RIESGO BIOLÓGICO <sup>(30)</sup>.

- Utilización de equipo especial de protección al personal involucrado directamente en el manejo y transporte de los desperdicios peligrosos infecciosos, tales como overoles, guantes, mascarillas, cubre bocas y anteojos de protección.
- Transporte de los desperdicios hacia la planta de incineración en unidades especializadas, que cumplan con las especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en materia de transporte de residuos y materiales peligrosos.
- Diseño de rutas de recolección específicas implantadas en función de las cantidades de desperdicios peligrosos generados por día en los centros de atención a la salud con los que se establezcan convenios.

El programa de trabajo propuesto para la segunda etapa del proyecto incluye el desarrollo de los siguientes puntos:

- *Concepto del proyecto*
- *Área geográfica que se operará.*
- *Legislación y normatividad aplicable.*
- *Oferta y demanda de servicios.*
- *Planta de tratamiento / Instalaciones del incinerador:*
- *Recepción de los desperdicios infecciosos.*
- *Almacenaje de residuos.*
- *Proceso de incineración.*
- *Sistemas de control de la contaminación.*
- *Residuos generados por el proceso de incineración.*

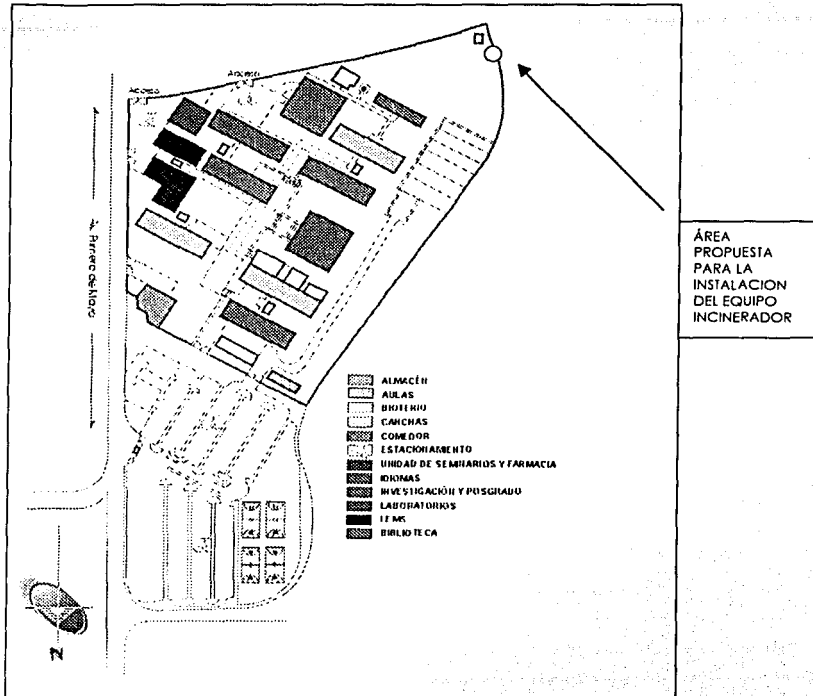
La actividad que tiene mayor tiempo de ejecución consiste en el sistema de incineración, cuya capacidad estará en función de los siguientes factores:

- *Cantidad de residuos generada en el área geográfica de operación.*
- *Poder calorífico de los residuos por incinerar.*





FIGURA 6.3. CROQUIS DE UBICACIÓN DE CAMPO 1



### 6.5 POBLACIÓN BENEFICIADA

La población beneficiada directamente por el proyecto será la comunidad estudiantil de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. La composición de dicha población es la siguiente:

11,080 alumnos de licenciatura (semestre 2000-I) y 159 de postgrado.

1267 profesores

lo cual nos da un total de 12506 personas, sin incluir personal administrativo, manual, etc.<sup>(26)</sup>.

En un segundo nivel de beneficio se encuentra la población asentada en la zona comprendida en los municipios de Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán de Romero Rubio y municipios cercanos e indirectamente, la zona metropolitana de la Ciudad de México.

## **6.6 SUPERFICIE REQUERIDA.**

Se estima que las instalaciones de la planta de tratamiento de residuos peligrosos cubrirán aproximadamente una superficie de 50 metros cuadrados. Dependiendo de la cantidad de residuos a tratar, se puede requerir mayor superficie para ampliaciones futuras, en función de las proyecciones a futuro de generación de desechos.

### *COLINDANCIA DEL PREDIO Y ACTIVIDADES QUE SE DESARROLLAN.*

No es aplicable hasta el momento, ya que no está definido el sitio para la construcción del incinerador. No obstante, se evitarán las colindancias con instalaciones, servicios y demás aspectos de índole geográfica o natural que marca el Anexo 2 de la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-1995.

### *OBRA CIVIL DESARROLLADA PARA PREPARACIÓN DEL TERRENO.*

Las obras estimadas que se desarrollarán en la preparación del terreno para la construcción del incinerador incluyen las siguientes:

- Preparación del terreno, desmonte y despalme.
- Trazo y nivelación del terreno.
- Excavaciones y rellenos para cimentaciones y drenajes.
- Construcción de vialidades provisionales y almacenes.

### *VÍAS DE ACCESO.*

No es aplicable hasta el momento, ya que no está definido el sitio para la construcción del incinerador. Sin embargo, se tomarán en cuenta los lineamientos establecidos aplicables en la materia.

### *VINCULACIÓN CON LAS NORMAS Y REGULACIONES SOBRE USO DEL SUELO.*

No es aplicable hasta el momento, ya que no está definido el sitio para la construcción del incinerador. No obstante, el sitio considerado para el desarrollo del proyecto deberá ser compatible con las disposiciones sobre uso de suelo y ordenamiento ecológico de la región<sup>(30,32,34)</sup>.

## **6.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

### *REQUERIMIENTOS DE MANO DE OBRA.*

Se desconoce el número exacto de trabajadores que se emplearán durante la ejecución del proyecto. Sin embargo, se presenta un desglose general estimado de personal requerido por etapa del proyecto:

- Manejo y transporte de residuos peligrosos (incluyendo personal de recolección, manejo, carga, transporte de desechos y administrativo): 10-15 personas.
- Preparación del terreno y construcción de la planta de Incineración de residuos (incluyendo personal directamente involucrado en la construcción y administrativos): 25-30 personas.
- Operación del "circuito cerrado" para el manejo de los desperdicios peligrosos (Incluyendo personal de operación del incinerador, recolección, transporte de residuos y personal de capacitación): 10-15 personas.
- Obras y servicios de apoyo a utilizar en las diferentes etapas del proyecto.
  - En el *manejo, recolección y transporte* de los residuos infecciosos, las obras y servicios consisten en contenedores termo especiales para los desperdicios peligrosos de tipo patológico, sistema de rampas de accionamiento hidráulico para el manejo y la transferencia de los

contenedores de desperdicios peligrosos hacia las unidades de transporte de los mismos, tal como lo establece la Norma NOM-087-ECOL-1995

- La etapa de *construcción* del incinerador en la FES Cuautitlán, implica la utilización de servicios de apoyo provisionales, tales como oficinas para la residencia operativa en el sitio, almacenes para maquinaria, materiales y equipo, campamentos y otros similares.
- En la etapa de operación del "circuito cerrado" para el manejo de los desperdicios, no se requerirán obras o servicios de apoyo adicionales a los mencionados.

#### ***MATERIALES Y SUSTANCIAS QUE SERÁN UTILIZADOS***

En las etapas de preparación del sitio, construcción y mantenimiento de la obra o actividad proyectada Los materiales y sustancias que se utilizarán para el desarrollo del Proyecto de Eliminación de los Desperdicios peligrosos son:

- Para la etapa de preparación del sitio y construcción de las instalaciones de Incineración, los materiales y sustancias utilizadas serán las típicas que se emplean en cualquier obra civil, es decir, materiales de construcción tales como arena, grava, cemento, varillas, etc. En el mantenimiento tanto de las unidades vehiculares de transporte de residuos como del incinerador, se emplearán materiales y sustancias típicas utilizadas en ambos casos, que consisten en grasas, estopas, aceites lubricantes y demás.
- En la preparación del sitio y construcción del incinerador en México, la maquinaria, equipo y herramientas empleadas serán aquellas que se utilizan comúnmente en el desarrollo de una obra civil de mediana magnitud, tales como trascavos, revolvedoras de concreto, tractores, camiones de volteo, pipas, y demás accesorios.
- Los equipos que se instalarán en el predio elegido consisten en un módulos de incineración, un sistema hidráulico de alimentación de residuos, un dispositivo para la recuperación de la energía calorífica (opcional) y un sistema depurador de los gases generados en la combustión de los residuos (lavador de gases o scrubber).
- En la operación del "circuito cerrado" para el manejo de los desperdicios médicos, el equipo empleado consistirá propiamente en el incinerador y sus dispositivos adjuntos, las unidades de transporte de residuos, así como los aditamentos de recolección y almacenamiento para los desechos médicos, tales como contenedores, rampas y demás.

#### ***RECURSOS NATURALES QUE SERÁN APROVECHADOS.***

El aprovechamiento de recursos naturales para el desarrollo del proyecto se presentará en la segunda etapa del mismo. Los recursos factibles de ser utilizados son el suelo, la explotación de agua mediante pozos y el aprovechamiento de bancos de materiales para la construcción de la obra civil.

#### ***SUSTANCIAS O MATERIALES QUE SERÁN UTILIZADOS EN EL PROCESO.***

El principal objetivo del proyecto es la eliminación mediante incineración de los desperdicios peligrosos que se generan en la institución. Los materiales que se manejarán consisten en la fracción de residuos biológico-infecciosos que se producen, tales como residuos patológicos, desechos de los utensilios usados en el manejo de sangre y otros de características infecto-contagiosas.

### PRODUCTOS FINALES.

Los productos finales de la incineración de los residuos consisten en la obtención de un residuo inerte libre de microorganismos (cenizas), además de gases producidos por el proceso de combustión de los desechos, típicamente bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ). En función de la composición fisicoquímica de los residuos, además del combustible auxiliar utilizado, se podrían emitir a la atmósfera algunas cantidades de monóxido de carbono (CO) partículas suspendidas, bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), gases ácidos ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ , HCl,  $\text{HNO}_3$ ) y otras sustancias (tabla 6.)

#### PARÁMETROS A CONTROLAR DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO:

- *Opacidad.*

Medición subjetiva y deberá ser efectuada por personal debidamente calificado. Se recomiendan valores del 20% cuando el Incinerador esté funcionando normalmente y valores de hasta 60% en espacios de tiempo no mayores de 3-5 minutos / hora.

- *Emisión de partículas*

Estarán determinados por la capacidad de carga del Incinerador, dados en cantidad de contaminante en peso por unidad de volumen ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) corregido al 12 %  $\text{CO}_2$ .<sup>(30,32,34)</sup>

TABLA 6.1 LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA<sup>(28)</sup>

| CAPACIDAD DEL INCINERADOR (Kg/h) | LIMITE MAXIMO PERMISIBLE ( $\text{mg}/\text{m}^3$ corregido al 12% $\text{CO}_2$ ). |
|----------------------------------|---|
| Más de 1000                      | 182   |
| 450-1000                         | 230   |
| 200-450                          | 275   |
| Menos de 200                     | 460   |

#### FUENTE DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y/O COMBUSTIBLE.

Dependiendo del sitio de ubicación del incinerado, la fuente de suministro de energía eléctrica se realizará por medio de la red instalada de la Comisión Federal de Electricidad, si existe y está disponible, o en su defecto, por medio de una subestación eléctrica. Los requerimientos eléctricos para las instalaciones serán de acuerdo al equipo seleccionado Para el suministro del combustible que se utilizará en la incineración de los residuos, preferentemente gas natural o LP, se realizarán convenios con la dependencia correspondiente (Petróleos Mexicanos) para su abastecimiento. Las necesidades de gas natural para la incineración de los residuos están dadas por el consumo medio normal del equipo seleccionado. El abastecimiento de combustible que utilizarán los transportes de residuos peligrosos se realizará por medio de las gasolineras de Petróleos Mexicanos.

#### REQUERIMIENTOS DE AGUA CRUDA Y POTABLE, Y FUENTE DE SUMINISTRO.

El suministro de agua cruda que requiere el proceso de incineración para el apagado de las cenizas, se realizará por medio de pozos o cuerpos de agua cercanos al sitio de ubicación de la instalación, y se almacenará en cisternas y tanques elevados. El consumo de agua cruda necesaria para el funcionamiento de la instalación de incineración, incluyendo los sistemas de extinción de cenizas y el proceso depurador de gases de combustión se determinará de acuerdo al equipo seleccionado.

El agua potable necesaria para el consumo del personal se realizará por medio de la red de agua potable de la comunidad más cercana, o en su defecto, por abastecimiento mediante garrafones adquiridos en la localidad más cercana al sitio del proyecto.

#### **6.8 RESIDUOS QUE SERÁN GENERADOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROYECTO, Y DESTINO FINAL DE LOS MISMOS.**

Los residuos que se generarán en las diferentes etapas del proyecto son:

##### *AGUAS RESIDUALES*

Generadas por el sistema de apagado de las cenizas producidas en la incineración de los residuos, así como por el sistema depurador de los gases de combustión. Las aguas residuales de estos procesos se canalizarán hacia un proceso de tratamiento primario, con el fin de eliminar los lodos producidos en ambos sistemas.

##### *RESIDUOS SÓLIDOS*

Consistentes en la ceniza generada por la incineración de los desperdicios peligrosos, así como los desechos provenientes del sistema depurador de los gases de combustión. En función de la composición fisicoquímica de estos residuos se realizará la disposición final de los mismos, ya sea en rellenos sanitarios o confinamientos controlados.

##### *RUIDO*

Provocado por las unidades de transporte de residuos peligrosos, así como por el incinerador y los ventiladores del sistema de suministro de aire, que se disipará en el medio circundante a la instalación.

Los desechos mencionados anteriormente también se generarán durante el funcionamiento del "circuito cerrado" para el manejo de los desperdicios peligrosos.

Los residuos que se producirán durante la etapa de preparación del sitio y construcción del incinerador son los típicos generados en el desarrollo de cualquier obra civil, los cuales consisten en:

- *Emisiones a la atmósfera* consistentes en partículas y gases de combustión, producidas por la combustión en el funcionamiento de los vehículos y el movimiento de materiales tales como arena.
- *Aguas residuales* generadas por las actividades humanas, que serán canalizadas hacia fosas sépticas.
- *Residuos sólidos de tipo municipal* que se producirán por las actividades del personal, además de los desechos de materiales de construcción y de las actividades de desmonte y despalme, que se dispondrán en el relleno sanitario más cercano al sitio del proyecto.
- *Ruido generado* por la operación de la maquinaria y equipo empleado durante la preparación del sitio y la construcción de las instalaciones. <sup>(30,32,34)</sup>

#### **6.9 EVALUACION Y DESCRIPCION DE IMPACTOS AMBIENTALES.**

El análisis de los impactos ambientales comienza desde la fuente de generación hasta su disposición final, incluyendo recolección, almacenamiento, transporte y tratamiento. Este esquema tiene como fundamento el análisis de los aspectos descriptivos del proyecto que pudiesen originar algún impacto sobre el medio ambiente, el análisis de las características del medio natural y socioeconómico, así como del escenario ambiental modificado, además de la identificación de los impactos por interacción entre los aspectos descriptivos del proyecto y cada uno de los elementos del ambiente natural y socioeconómico, durante cada una de las etapas de desarrollo en toda la zona de influencia de éste. La evaluación se efectúa asignando criterios de significancia

en función de la magnitud, temporalidad, carácter y dirección del impacto identificado, los cuales se establecen conforme a la interacción de las actividades del proyecto (técnicas) y el medio ambiente (naturales y socioeconómicas); es decir, los impactos pueden tener diversas significancias dependiendo de las etapas de desarrollo del proyecto y de los efectos que éstas produzcan sobre el ambiente donde se realiza la obra. Por ende, la significancia se establece en función a los siguientes conceptos:

- **MAGNITUD.**- Se establece en función de áreas, volúmenes o índices ambientales (calidad de agua, calidad de aire, diversidad de especies, crecimiento poblacional, empleos, etc.), que pueden ser modificados por las diferentes etapas del proyecto, considerando para ello las acciones necesarias para su ejecución, tales como desmontes, caminos de acceso, excavaciones, nivelaciones, movimiento de vehículos con desechos sólidos, cobertura de celdas de trabajo, etc.
- **TEMPORALIDAD.**- Es el tiempo que tarda en llevarse a cabo cada una de las obras y acciones del proyecto durante sus diversas etapas de desarrollo, así como el tiempo que puede tardar en establecerse o revertirse un impacto determinado.
- **CARÁCTER.**- Se establece en función de la adversidad o beneficio que el proyecto representa para el ambiente en sus diversos componentes (medio natural y socioeconómico), considerando en general, adversos a las alteraciones que afecten al medio natural y reduzcan la producción o bienestar social del área donde se asentará el proyecto, de manera reversible o irreversible, mientras que los efectos benéficos de una acción serán aquellos que incrementen el desarrollo productivo y social del área, así como la preservación de los recursos naturales de la misma.
- **DIRECCIÓN.**- Se establece en función de la extensión del impacto, considerando para ello si se restringe a una área o sitio específico (puntual) o se distribuye en toda el área del proyecto (extensivo). Asimismo se considera si el impacto es consecuencia directa del proyecto (impacto directo) o es resultado adicional de un efecto directo (impacto indirecto).
- Finalmente, la **SIGNIFICANCIA** se establece con dos grados de magnitud, definiéndose impactos poco significativos e impactos significativos, los cuales a su vez pueden representar efectos adversos o efectos benéficos, a corto, mediano y largo plazo.

De esta manera, los impactos se podrán definir como sigue:

- *Poco significativo*, cuando sea de pequeña magnitud, reversible a corto plazo, puntual y directo.
- *Significativo*, cuando sea de magnitud considerable, reversible a largo plazo o irreversible, extensivo, directo o indirecto y adverso o benéfico.

La simbología utilizada para la evaluación de los impactos ambientales, que permite elaborar un análisis descriptivo por etapas para las interacciones entre proyecto y ambiente, así como una evaluación global de los impactos debidos al proyecto, sus alcances y los considerándos para su clasificación, es la siguiente:

- *Efecto adverso poco significativo.*
- *Efecto adverso significativo.*
- *Efecto benéfico poco significativo.*
- *Efecto benéfico significativo.*

El grado de afectación y significancia de los impactos aquí descritos estará en función del sitio seleccionado para el desarrollo de las obras. La descripción de los impactos encontrados está enfocada a presentar una breve síntesis de las interacciones encontradas entre las actividades específicas a ejecutar con los componentes ambientales que mayores impactos recibirán al momento de ejecución del proyecto:

#### *AIRE:*

Las actividades relacionadas con el ciclo de manejo de los residuos peligrosos propuestas por el proyecto, repercutirán en impactos puntuales, benéficos, poco significativos y extensivos en la calidad del aire, al eliminar vectores potenciales de enfermedades causadas por un mal manejo de residuos biológico-infecciosos.

El transporte de los desperdicios peligrosos, para su tratamiento por incineración, causará impactos adversos puntuales y temporales en la calidad del aire, por la operación de los motores de las unidades transportadoras, generadores de gases, partículas y ruido que son emitidos a la atmósfera. Estos impactos se consideran poco significativos debido a que son de poca magnitud, directos y reversibles, contando además con medidas de atenuación y control.

El tratamiento mediante incineración de los desechos peligrosos producirá impactos adversos significativos en la calidad del aire, dada la cantidad y calidad de los gases generados en el proceso de combustión de los residuos. Los compuestos formados durante la incineración de los residuos estarán en función de los desechos alimentados al incinerador. Los compuestos gaseosos producidos por la incineración de los desperdicios peligrosos están en función de la cantidad y composición química de los residuos alimentados al incinerador, estos impactos adversos a la calidad del aire pueden ser minimizados mediante adecuadas medidas de control.

El confinamiento de las cenizas generadas por la incineración podría causar impactos adversos en la calidad del aire si se disponen inadecuadamente en sitios sin la infraestructura apropiada. Estos impactos también tienen medidas de mitigación y control que permitirán minimizar o nulificar los impactos descritos.

#### *AGUA:*

Al igual que en el caso del aire, habrá impactos benéficos, poco significativos, puntuales y extensivos en la calidad del agua, al eliminar vectores potenciales de enfermedades causadas por un mal manejo de residuos biológico-infecciosos.

El sistema de incineración de residuos peligrosos requiere de cantidades de agua cruda, que se utilizará en el proceso de apagado o extinción de las cenizas, así como en el sistema depurador de gases de combustión. Estos procesos generarán impactos adversos poco significativos en la calidad del agua utilizada, ya que serán puntuales y de poca magnitud, además de que pueden ser mitigables y/o controlables.

Una mala disposición de las cenizas producidas en la incineración podría traer consigo la contaminación de los cuerpos superficiales y los mantos freáticos, este último por la lixiviación, provocando en ambos casos impactos adversos poco significativos, puntuales y mitigables.

#### *SUELO:*

Los impactos presentarían en el suelo son semejantes a aquellos que se presentarían en el agua, aunque dados por diferentes circunstancias. Inicialmente, las actividades relacionadas con el manejo de los residuos peligrosos provocarán impactos benéficos poco significativos a la calidad del suelo, principalmente en aquellos sitios donde el almacenamiento de los desechos no se realiza de manera adecuada.

El factor suelo también se verá impactado por la construcción de las Instalaciones de Incineración, por el desarrollo de las obras de nivelación (cortes y rellenos), la explotación de los bancos de materiales y la ubicación de los sitios de tiro de material y desechos, que provocarán modificaciones en la topografía del terreno y uso de suelo. Estos impactos se pueden considerar como adversos poco significativos, ya que las alteraciones que se darán serán mínimas.

En la operación del sistema de incineración de residuos peligrosos, la calidad del suelo se podrá ver afectada principalmente en las zonas de almacenamiento de desechos, vialidades y estacionamientos, presentándose impactos adversos poco significativos que será posible minimizar con medidas de control.

Si las cenizas generadas por la incineración de los desechos no se disponen en sitios aptos para ello, se podrían presentar afectaciones en la calidad del suelo local, teniéndose en este caso impactos adversos poco significativos, puntuales y directos, no obstante que pueden ser sujetos a medidas de mitigación o control.

#### *FLORA Y FAUNA:*

El medio natural del sitio en el cual se instalará el sistema de incineración, principalmente la flora y fauna nativas, se verá afectado de manera adversa significativa, directa y permanente, ya que el sitio de ubicación del incinerador está localizado fuera de zonas urbanas o centros poblacionales importantes, en observancia de la Norma Oficial Mexicana **NOM-087-ECOL-1995**.

Las afectaciones consistirán en la pérdida de la cobertura vegetal, principalmente en el trazo, caminos de acceso, desmonte y despalme; estas actividades provocarán impactos adversos significativos que no pueden ser mitigables, ya que la pérdida será directa y permanente. Si en el sitio de ubicación de la instalación solamente hubiese vegetación secundaria, y no existiesen especies vegetales en status de conservación, el impacto generado será poco significativo.

La operación del incinerador y una mala disposición de las cenizas podrían provocar afectaciones a las especies vegetales aledañas al sitio, provocando impactos adversos poco significativos que pueden ser mitigables o controlables. El hábitat de las especies de fauna existentes en la zona se verá afectado de manera adversa significativa, ya que se provocará su migración a las zonas aledañas al sitio del proyecto. En este sentido, los impactos en la etapa inicial del proyecto disminuirán conforme avancen las obras de construcción. Estos impactos serán extensivos tanto a la fauna con valor comercial como a las especies silvestres. La operación del sistema de incineración podría fomentar la proliferación de fauna nociva, que es factible minimizar mediante un manejo efectivo y eficiente de los residuos biológico-infecciosos almacenados para su tratamiento. Igualmente, una mala disposición de las cenizas tendría afectaciones en la fauna nativa de la región considerada, con lo que se presentarían impactos adversos, poco significativos, puntuales y mitigables.

#### *ECONOMÍA:*

Con la aplicación del "circuito cerrado" para el manejo de los residuos peligrosos, los beneficios en materia económica se reflejarán en breve después de la puesta en marcha del sistema, al disminuir los costos de disposición de desperdicios. Con ello, el manejo correcto de desechos desde la fuente generadora, traerá consigo impactos benéficos, poco significativos y puntuales en la economía de la institución.

El transporte especializado de los desperdicios peligrosos igualmente proporcionará impactos benéficos en la economía de la institución, aunque estos son poco significativos y puntuales, ya que la aplicación del sistema



integral de manejo de los desperdicios peligrosos incluye el uso de aditamentos adecuados, tales como contenedores especiales y mecanismos especiales para la carga de residuos hacia los vehículos, principalmente en las instalaciones y centros de atención a la salud.

La construcción del incinerador producirá impactos benéficos poco significativos en la economía local de la región seleccionada para el desarrollo del proyecto, debido al incremento en las demandas de mano de obra, servicios y consumo de productos comerciales. Adicionalmente, la posible recuperación de la energía calorífica producida por la incineración de los residuos tendría repercusiones benéficas, poco significativas y puntuales para las instalaciones, con la posible generación de vapor. Asimismo, hay nuevas tecnologías que pudiesen permitir la comercialización de la ceniza generada en el proceso de combustión, principalmente como material para la construcción de obras civiles.

#### *SALUD:*

Los impactos que se producirán con la implantación del sistema global de manejo de los desperdicios peligrosos en el factor salud tienen repercusiones benéficas, significativas, directas y permanentes, principalmente porque se prevé una disminución de las enfermedades en el personal involucrado directamente en su manejo y transporte, además de eliminar los vectores de contaminación microbiológica a la población en general.

Un aspecto que podría presentar impactos adversos en el transporte de los residuos peligrosos consiste en eventualidades o contingencias en caso de accidentes o derrames, los cuales resultarían poco significativos, puntuales, temporales y mitigables.

El tratamiento de los desperdicios peligrosos mediante su incineración representa un impacto benéfico, significativo y directo desde el punto de vista de la salud, al eliminar los microorganismos patógenos contenidos en los residuos a tratar. Las temperaturas de operación de la cámara primaria de combustión del sistema (1800°F o 980°C) aseguran la completa destrucción de los agentes biológico-infecciosos de la corriente de desechos. Otro aspecto benéfico que proporciona la incineración de los desperdicios peligrosos es la reducción en peso (de 90 a 95%) y volumen (entre 80 y 95%) de los mismos, con lo cual los requerimientos de espacio para su disposición final disminuyen notablemente. En contraparte, las emisiones generadas por la combustión de los desperdicios peligrosos representan un factor que produciría impactos adversos significativos en la salud de la población, si el incinerador se ubicase cerca de un asentamiento poblacional. Algunas de ellas, tales como las partículas suspendidas (PST), gases ácidos (principalmente el ácido clorhídrico, HCl), metales pesados (Fe, Cu, Pb, Zn, Cd y Hg), dioxinas y furanos, resultan perjudiciales para la salud pública. La disposición final de los desechos médicos, después de que estos han pasado todo el ciclo de manejo, representa impactos benéficos significativos y directos para la salud de la población en general, y en particular del personal dedicado a la separación informal de subproductos en los rellenos sanitarios (pepenadores), ya que actualmente los desperdicios peligrosos son depositados en sitios de disposición destinados a residuos de tipo municipal.

#### *SERVICIOS:*

La puesta en marcha del sistema global de manejo de los desperdicios peligrosos mejorará la calidad de los servicios en materia de recolección, almacenamiento y transporte de desechos biológico-infecciosos. La capacitación y adiestramiento del personal involucrado en el manejo de los residuos implica la aplicación de

programas de separación desde la fuente generadora, utilización de contenedores especiales, recolección y almacenamiento, todo ello propiciando impactos benéficos significativos en los servicios relacionados con ello.

El transporte de los desperdicios biológico-infecciosos con vehículos y personal especializado propiciará un impacto benéfico significativo, principalmente para los trabajadores encargados de la recolección y transporte de desechos, ya que actualmente la mayoría de los residuos peligrosos son enviados a los camiones del servicio municipal de limpia. El impacto benéfico resulta extensivo al tratamiento y disposición final de los mismos, puesto que con la incineración se disminuye el volumen y el peso de los desechos tratados.

#### **PAISAJE:**

El entorno paisajístico se verá beneficiado con la aplicación del programa de manejo integral de los desperdicios médicos, al mejorar las condiciones de los sitios de almacenamiento temporal de los residuos.

El paisaje original en el sitio considerado para la construcción del incinerador se afectará de manera poco significativa si el lugar estuviese perturbado previamente y de manera significativamente en caso contrario, lo cual es más probable. En este caso, la incorporación de elementos visuales no existentes hasta el momento dentro de un arreglo de vegetación alterará la armonía original del paisaje; idéntica situación se presentaría en el sitio de confinamiento de las cenizas. No obstante, estos elementos pueden minimizarse con la aplicación de medidas de atenuación. (6,30,32,34)

### **6.10 MEDIDAS DE PREVENCIÓN, MITIGACIÓN Y CONTROL DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS.**

Con base en la información técnica proporcionada, así como la identificación de los impactos ambientales potenciales, se describen a continuación en forma detallada las medidas de prevención y control ambiental, así como las medidas de mitigación específicas para cada impacto ambiental identificado durante el desarrollo del Proyecto para la Eliminación de los Desperdicios peligrosos.

Se entiende como medida de mitigación y control la implementación o aplicación de cualquier política, estrategia, obra o acción, tendiente a eliminar o minimizar los impactos adversos ocasionados sobre el ambiente debido a la implantación de cualquier proyecto de desarrollo.

Las medidas de mitigación y control pueden estar canalizadas hacia la instrumentación de programas de reglamentación y capacitación, orientados al manejo y conservación de los recursos naturales, pero también a los procesos constructivos y operativos que puedan ocasionar impactos adversos significativos, de tal manera que dichas medidas requieran a su vez de un programa que establezca su ejecución durante las diversas etapas de desarrollo del proyecto.

La aplicación de medidas de prevención y control se justifica por la necesidad de mantener un desarrollo económico equilibrado acorde con las políticas de protección ambiental vigentes en el ámbito nacional.

Algunas medidas que deberán contemplarse, de manera general, son las siguientes:

- Sujetar la construcción del incinerador a las normas, especificaciones y características conceptuales del proveedor.
- Manejar de manera adecuada los residuos líquidos y sólidos generados en la incineración de los residuos biológico-infecciosos.

- Aplicar medidas de seguridad e higiene al personal empleado para el manejo integral de los desechos médicos.
- Cumplir con las normas y reglamentos en materia de protección al ambiente emitidos por la SEMARNAT
- Cumplir las disposiciones, normas y reglamentos aplicables al transporte de residuos peligrosos biológico-infecciosos, emitidas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como por la SEMARNAT

Así, con base en el análisis precedente de identificación y evaluación de los impactos ambientales que se generarán con el desarrollo del proyecto, se observa que en general las acciones que generarán impactos adversos significativos tienen su correspondiente medida de mitigación y/o prevención, mientras que las acciones que generan impactos benéficos significativos son prolongables por toda la etapa de operación del proyecto. Con el objeto de cumplir con los procedimientos metodológicos establecidos en el ámbito federal conforme a los requerimientos de la SEMARNAT se presenta el siguiente desglose de las medidas de mitigación a implantar, a fin de fundamentar la manera en que el proyecto ha planeado y pretende llevar a cabo sus medidas de control, prevención y mitigación, precisamente porque la magnitud del proyecto y la inversión que representa no permiten su ejecución de manera irresponsable y poco comprometida con el interés ambiental del país:

Las especificaciones de los contenedores deberán cumplir con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana **NOM-087-ECOL-1995**. Así el empleo de este tipo de contenedores representa una medida de control por sí misma en los aspectos de salud pública y ocupacional.

Otra medida de mitigación que se aplicará en la primera etapa del proyecto consiste en la minimización de las emisiones contaminantes generadas por los vehículos transportistas de desperdicios peligrosos. Además de que una medida de atenuación la constituye su dispersión en el aire, se aplicarán las siguientes medidas:

- Algunas disposiciones que se aplicarán para minimizar o controlar impactos ambientales adversos durante el transporte y la exportación de los desperdicios médicos, consisten en la capacitación y adiestramiento de los conductores de los vehículos especiales para el transporte de los residuos en caso de emisiones descontroladas, fugas o derrames que se pudiesen presentar, y así aplicar medidas, equipos, instrumentos o materiales para su control, además de un seguro de responsabilidad civil que ampare los daños que puedan ocasionarse a terceros durante el transporte de los residuos peligrosos.
- Una medida de mitigación que considera el proyecto en el desarrollo de ambas etapas es la impartición de planes, programas y cursos de capacitación y adiestramiento al personal que estará involucrado en el manejo integral de los desperdicios médicos. Tales programas incluirán aspectos tales como separación de residuos desde la fuente generadora, sistemas de recolección y almacenamiento especializado, uso de recipientes y contenedores conforme lo establece la Norma NOM-087, así como el reciclaje o la reutilización de aquellos desechos aptos para ello.
- Quizá la medida más importante de mitigación o atenuación para la protección a la salud de la población y del medio natural consista en el control de las emisiones a la atmósfera producidas por el incinerador de los desperdicios médicos, las cuales se regularán de varias maneras:

- Las temperaturas de operación presentes en la cámara secundaria del Incinerador (2000oF o 1100oC), además de la alimentación de aire en exceso para asegurar la combustión completa de los gases generados en la cámara primaria.
- La alimentación restringida de materiales de desecho tales como PVC y cobre. Se debe vigilar que los residuos a incinerar no sean líquidos con menos del 85% de material sólido, materiales con alto contenido de humedad (mayor al 95%) o sólidos no combustibles. Los residuos a tratar deberán tener un valor calorífico mayor de 2200 BTU/Kg
- La instalación de un equipo depurador de gases de combustión como parte del sistema de incineración. Otro sistema de control para atenuar los impactos adversos al medio ambiente lo constituye el posible tratamiento de las aguas residuales que se generarán tanto en el proceso de incineración como en el sistema depurador de los gases. El tratamiento de estas aguas repercutirá en beneficios ambientales con la posible recirculación y reutilización en el sistema del efluente tratado, al no haber descargas de agua contaminada.
- La disposición de las cenizas que se generarán en el proceso de combustión de los desperdicios peligrosos y de los lodos producidos por el sistema depurador de gases en confinamientos controlados, localizados de acuerdo a las normas vigentes.

#### *RECICLAJE*

El reciclaje consiste en volver a utilizar materiales desechados que sirvan en la producción o elaboración de otros productos. Es una de las alternativas viables para disminuir la cantidad de basura que llega a los vertederos. Es muy importante conocer qué materiales se pueden reciclar. Lamentablemente todavía en Puerto Rico existe desconocimiento de qué cosas se pueden reciclar y, más triste aún, no tenemos tantas posibilidades ni ayudas municipales para que este método sea lo exitoso que queremos.

Para reciclar con éxito es muy importante: saber qué cosas puedo reciclar, conocer dónde están los centros de acopio, llevar los materiales a reciclar ya separados por el tipo de material. Esto es: aluminio, cartón corrugado, cristal, periódicos y envases plásticos.

El reciclaje al igual que la reducción y el reuso nos proveen unas ventajas extraordinarias. Reciclando se reduce el volumen de desperdicios que llegan a los vertederos y así se alarga la vida útil de estos, se conserva el ambiente, eliminando vertederos clandestinos, ayuda a ahorrar materia prima, evita el corte innecesario de árboles y ahorramos energía.

En la producción de una tonelada de papel reciclado se economizan 3,700 libras de madera y 24 galones de agua.

El reciclaje de vidrio requiere 25% menos energía que la fabricación de vidrio nuevo.

Refinar aceite usado para motores ahorra 2/3 partes de la energía que se requiere para refinar petróleo crudo.

Utilizando aluminio reciclado para manufacturar productos nuevos se requiere 50% de la energía que se utiliza en materia prima virgen.

Con la utilización de papel reciclado se economiza 45% de energía.

Con la energía que se ahorra en la producción de una lata reciclada de aluminio un televisor puede funcionar tres horas <sup>(6,14,27)</sup>.

## **CAPITULO 7**

### **SUGERENCIAS Y CONCLUSIONES**

#### **7.1 SUGERENCIAS**

En el caso particular de la Facultad de Estudios superiores Cuautitlan Campo 1, se debería considerar la implementación de una metodología adecuada para el manejo de residuos peligrosos generados, ya sea que se cumpla con la instalación de un equipo incinerador o no. Algunas sugerencias son:

- Implementar un sistema de separación de residuos de acuerdo a su peligrosidad o riesgo, en el lugar que se generan, depositando los residuos generados en contenedores adecuados, de acuerdo con la normatividad respectiva.
- Estos contenedores debidamente identificados y ubicados recibirían un manejo separado del resto de la basura generada por la facultad.
- En el área propuesta para el incinerador, podría instalarse un centro de recepción y almacenamiento temporal de residuos, con refrigeradores y otros mecanismos que eviten que el peligro que representan estos residuos aumente mientras son procesados, o son llevados a los centros de disposición final, ya sea incineración o algún otro tratamiento.
- Muchos tipos de residuos sólidos no pueden ser procesados económicamente en un incinerador por lo que se sugiere que podrían recibir algún otro tipo de tratamiento previo, tal como secado, reducción de tamaño o secado y después ser desechado en la basura municipal.
- No existe un tratamiento que cumpla con todas las requerimientos y que satisfaga plenamente a todo el mundo. Cada sistema implica una serie de situaciones pre y/o post tratamiento que puede ser objeto de críticas. Se debe ahondar en la evaluación de la aplicación de las mismas para ciertos residuos y admitir que para otros son de difícil práctica aplicar y evaluar los resultados de métodos alternativos, adecuar las instalaciones, minimizar la corriente de residuos a incinerar reduciendo sus emisiones, y principalmente informar y hacer conciencia en cada miembro de la comunidad universitaria, y capacitar al personal involucrado en las tareas.
- Para el caso de los residuos biológico-infecciosos, es imprescindible determinar parámetros que marquen cuándo deja de ser peligroso después de su tratamiento.
- Existen residuos que provienen de ciertas áreas que **DEBEN SER INCINERADOS**, aunque no todos **PRECISAN SER INCINERADOS**. Para esto, es necesario conocer la cantidad y tipo de residuos generados.
- El costo de funcionamiento de un equipo incinerador es alto, por lo que podrían establecerse convenios con otros centros generadores de residuos peligrosos en la zona (clínicas, hospitales, laboratorios) a fin de dar un tratamiento final adecuado a sus residuos y recuperar parte del costo del equipo y su funcionamiento.
- Se debe utilizar a la incineración como método de destrucción final, pero al menos la tendencia debiera ser minimizar la corriente de desechos a incinerar.

## 7.2 CONCLUSIONES

- La mayoría de los residuos peligrosos contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, nitrógeno y metales pesados, además de compuestos orgánicos que resultan tóxicos para la salud y para el ambiente. Si el compuesto puede ser transformado o reducido a sustancias más sencillas como el dióxido de carbono y agua, entonces su toxicidad se reduce significativamente.
- Es necesario desarrollar a nivel nacional un marco normativo para que el manejo de los residuos sea completo, claro y preciso y se establezca un adecuado manejo dada su peligrosidad. Urge además una política ambiental que promueva el reciclaje.
- Los trámites para la instalación de un equipo incinerador, son complicados y muy burocráticos. Las normas existentes, no abarcan todos los aspectos que involucra la incineración de residuos y no son cumplidas ni aplicadas.
- En un análisis comparativo entre las regulaciones mexicana, y otras legislaciones ponen de manifiesto que el marco normativo que existe en nuestro país para el manejo de los residuos sólidos peligrosos está incompleto y no ha sido aplicado con todo rigor.
- Por disposición de la Secretaría de Salud y de la SEMARNAT los residuos peligrosos que genera la Universidad Nacional Autónoma de México, FES- Cuautitlán deben incinerarse y evitar ser expuestos en tiraderos de basura o desechar una cantidad muy importante de éstos en el drenaje.
- Para el caso de los residuos peligrosos, la incineración puede aplicarse en aquellos casos en donde es imposible el reuso o donde la peligrosidad es tan alta que su destrucción térmica es el camino ambientalmente más seguro.
- En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, el manejo de los residuos Biológico- infecciosos no se realiza de manera correcta y no se realizan actividades tendientes a una disposición adecuada de los mismos.
- La instalación de un incinerador de residuos peligrosos, es necesaria en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, debido a la cantidad y tipo de residuos generados, tal como lo indican las normas correspondientes. Sin embargo, se deben realizar acciones previas que permitan una optimización del proceso. Entre éstas acciones se encuentran:
  - Implementar un programa de recolección, clasificación y separación de residuos peligrosos
  - Cuantificar con mayor exactitud el volumen generado de residuos que deben ser incinerados.
- La determinación del tipo y la cantidad de residuos que deben ser incinerados, permitirá la instalación de un equipo adecuado a las necesidades de la institución y un funcionamiento correcto.
- El equipo incinerador, debe tener una capacidad mínima de 20 kg por día.
- El funcionamiento correcto de un equipo incinerador en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, representaría un mecanismo importante para la disminución del riesgo ambiental que representan los residuos peligrosos por sus características Biológico-infecciosas, que genera ésta institución.
- El funcionamiento incorrecto de un equipo incinerador en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 1, aumentaría de forma importante los problemas de contaminación ambiental de la zona y sería motivo de rechazo por la población que habita en las cercanías de la institución.

- El primer paso para un manejo seguro y más eficiente de los residuos peligrosos (y basura en general) que genera la Facultad de Estudios superiores Cuautitlán en sus instalaciones de Campo 1, es conocer el tipo y cantidad de residuos que genera, concienciar a la comunidad universitaria sobre los riesgos que implica el manejo incorrecto de los residuos y difundir y aplicar las medidas correctivas adecuadas.

## ANEXO 1

### **NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-087-ECOL-1995, QUE ESTABLECE LOS REQUISITOS PARA LA SEPARACION, ENVASADO, ALMACENAMIENTO, RECOLECCION, TRANSPORTE, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS QUE SE GENERAN EN ESTABLECIMIENTOS QUE PRESTEN ATENCION MEDICA. (RESUMEN)**

El manejo de los residuos peligrosos biológico-infecciosos en los establecimientos que prestan atención médica constituyen un gran problema a nivel nacional, por lo que es necesario el establecimiento de requisitos para su control.

#### **OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION**

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos biológico-infecciosos que se generen en establecimientos que presten atención médica, tales como clínicas y hospitales, así como laboratorios clínicos, laboratorios de producción de agentes biológicos, de enseñanza y de investigación, tanto humanos como veterinarios en pequeñas especies y centros antirrábicos y es de observancia obligatoria en dichos establecimientos, cuando éstos generen más de 25 kg. (veinticinco kilogramos) al mes o 1 kg. (un kilogramo) al día de los residuos peligrosos contemplados en esta Norma.

#### **CLASIFICACION DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS**

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana y de acuerdo con lo establecido en la NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de octubre de 1993, se consideran residuos peligrosos biológico-infecciosos los siguientes:

##### **4.1 La sangre.**

4.1.1 Los productos derivados de la sangre incluyendo, plasma, suero y paquete globular.

4.1.2 Los materiales con sangre o sus derivados aún cuando se hayan secado, así como los recipientes que los contienen o contuvieron.

##### **4.2 Los cultivos y cepas almacenadas de agentes infecciosos.**

4.2.1 Los cultivos generados en los procedimientos de diagnóstico e investigación, así como los generados en la producción de agentes biológicos.

4.2.2 Los instrumentos y aparatos para transferir, inocular y mezclar cultivos.

##### **4.3 Los patológicos.**

4.3.1 Los tejidos, órganos, partes y fluidos corporales que se remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica.

4.3.2 Las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico o histológico.

4.3.3 Los cadáveres de pequeñas especies animales provenientes de clínicas veterinarias, centros antirrábicos o los utilizados en los centros de investigación.

##### **4.4 Los residuos no anatómicos derivados de la atención a pacientes y de los laboratorios.**

4.4.1 El equipo, material y objetos utilizados durante la atención a humanos o animales.

4.4.2 Los equipos y dispositivos desechables utilizados para la exploración y toma de muestras biológicas.

##### **4.5 Los objetos punzocortantes usados o sin usar.**

4.5.1 Los que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento, incluyendo navajas, lancetas, jeringas, pipetas Pasteur, agujas hipodérmicas, de acupuntura y para tatuaje, bisturís, cajas de Petri, cristalería entera o rota, porta y cubre objetos, tubos de ensayo y similares.

#### **CLASIFICACION DE LOS ESTABLECIMIENTOS GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS**

5.1 Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana, los establecimientos de atención médica se clasifican como se establece en la tabla 1.

**TABLA 1**

| <b>NIVEL I</b>  | <b>NIVEL II</b>  | <b>NIVEL III</b>  |
|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Clínicas de consulta externa y veterinarias en pequeñas especies.</li><li>- Laboratorios clínicos que realicen de 1 a 20 análisis al día.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Hospitales que tengan de 1 a 50 camas.</li><li>- Laboratorios clínicos que realicen de 21 a 100 análisis al día.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Hospitales con más de 50 camas.</li><li>- Laboratorios clínicos que realicen más de 100 análisis clínicos al día.</li><li>- Laboratorios para la producción de biológicos.</li><li>- Centros de enseñanza e investigación.</li><li>- Centros antirrábicos</li></ul> |

5.2 Las unidades médicas independientes que se encuentren ubicadas en un mismo inmueble y que generen en su conjunto residuos peligrosos en los términos y cantidades señalados en esta Norma, deberán designar un representante común quien será el responsable del manejo de estos residuos.

Las obligaciones a que queden sujetas las unidades médicas señaladas en el párrafo anterior, serán determinadas por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología.

## **6. MANEJO**



6.1 Los establecimientos referidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana, además de cumplir con lo establecido en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, deberán cumplir con las siguientes fases de manejo de sus residuos:

6.1.1 Identificación de los residuos y de las actividades que los generan.

6.1.2 Envasado de los residuos generados.

6.1.3 Recolección y transporte interno.

6.1.4 Almacenamiento temporal.

6.1.5 Recolección y transporte externo.

6.1.6 Tratamiento.

6.1.7 Disposición final.

6.2 Identificación y envasado.

6.2.1 Se deberán separar y envasar todos los residuos peligrosos biológico-infecciosos generados en establecimientos de atención médica, de acuerdo con sus características físicas y biológico-infecciosas, conforme a la Tabla 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

Tabla 2

| TIPO DE RESIDUOS   | ESTADO FISICO | ENVASADO               | COLOR    |
|--|---------------|------------------------|----------|
| 4.1 Sangre   | Sólidos       | Bolsa de plástico      | Rojo     |
| 4.2 Cultivos y cepas almacenadas de agentes infecciosos                            |               |                        |          |
| 4.4 Residuos no anatómicos derivados de la atención a pacientes y los laboratorios | Líquidos      | Recipientes herméticos | Rojo     |
| 4.3 Patológicos  | Sólidos       | Bolsa de plástico      | Amarillo |
|  | Líquidos      | Recipientes Herméticos | Amarillo |
| 4.5 Objetos punzocortantes usados y sin usar                                       | Sólidos       | Recipientes rígidos    | Rojo     |

6.2.1.1 Las bolsas deberán ser de plástico, impermeables, de calibre mínimo 200 y deberán cumplir los valores mínimos de los parámetros indicados en la Tabla 3 de esta Norma Oficial Mexicana, aplicando los métodos de prueba ASTM correspondientes. Los materiales utilizados deberán estar libres de metales pesados y cloro, mientras que los colorantes deberán ser fisiológicamente inocuos.

TABLA 3

| PARAMETRO                | UNIDADES            | ESPECIFICACIONES   |
|--------------------------|---------------------|--------------------|
| Resistencia a la tensión | Kg./cm <sup>2</sup> | SL: 140<br>ST: 120 |
| Elongación               | %                   | SL: 150<br>ST: 400 |
| Resistencia al rasgado   | g                   | SL: 90<br>ST: 150  |

SL: Sistema longitudinal.

ST: Sistema transversal.

6.2.1.2 Las bolsas se llenarán al 80 % de su capacidad, cerrándose antes de ser transportadas al sitio de almacenamiento y deberán tener la leyenda que indique "PELIGRO RESIDUOS PELIGROSOS SOLIDOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS" y estar marcadas con el símbolo universal de riesgo biológico (Anexo 1).

6.2.2 Los recipientes de los residuos peligrosos punzocortantes deben ser rígidos, de polipropileno, resistentes a fracturas y pérdida del contenido al caerse, destruyibles por métodos fisicoquímicos, esterilizables, con una resistencia mínima de penetración de 12.5 N (doce punto cinco Newtons) en todas sus partes y tener tapa con o sin separador de agujas y abertura para depósito con dispositivos para cierre seguro. Deben ser de color rojo y libres de metales pesados y cloro, debiendo estar etiquetados con la leyenda que indique "PELIGRO, RESIDUOS PUNZOCORTANTES BIOLOGICO-INFECCIOSOS" y marcados con el símbolo universal de riesgo biológico (Anexo 1) de esta Norma Oficial Mexicana.

6.2.2.1 La resistencia mínima de penetración será determinada por la medición de la fuerza requerida para penetrar los lados y la base con una aguja hipodérmica calibre 21 mediante dispositivos como el Instrón, Calibrador de Fuerza Chatillón o tensiómetro.

6.2.2.2 Una vez llenos, los recipientes no deben ser abiertos o vaciados.

6.2.3 Los recipientes de los residuos peligrosos líquidos deben ser rígidos, con tapa hermética, etiquetados con una leyenda que indique "PELIGRO, RESIDUOS PELIGROSOS LIQUIDOS BIOLOGICO-INFECCIOSOS" y marcados con el símbolo universal de riesgo biológico (Anexo 1).

6.3 Recolección y transporte interno.

6.3.1 Se destinarán carritos manuales de recolección exclusivamente para la recolección y depósito en el área de almacenamiento.

6.3.1.1 Los carritos manuales de recolección se desinfectarán diariamente con vapor o con algún producto químico que garantice sus condiciones higiénicas.

6.3.1.2 Los carritos manuales de recolección deberán tener la leyenda: "USO EXCLUSIVO PARA RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS" y marcado con el símbolo universal de riesgo biológico (Anexo 1) de esta Norma Oficial Mexicana.

6.3.1.3 El diseño del carrito manual de recolección deberá prever la seguridad en la sujeción de las bolsas y los contenedores, así como el fácil tránsito dentro de la instalación.

6.3.1.4 Los carritos manuales de recolección no deberán rebasar su capacidad de carga durante su uso.

6.3.2 No podrán utilizarse ductos neumáticos o de gravedad como medio de transporte interno de los residuos peligrosos biológico-infecciosos, tratados o no tratados.

6.3.3 Se deberán establecer rutas de recolección para su fácil movimiento hacia el área de almacenamiento.

6.3.4 El equipo mínimo de protección del personal que efectúe la recolección consistirá en uniforme completo, guantes y mascarilla o cubreboca. Si se manejan residuos líquidos se deberán usar anteojos de protección.

6.3.5 Los establecimientos de atención médica pertenecientes al nivel I quedarán exentos del cumplimiento de los puntos 6.3.1 y 6.3.3.

6.4. Almacenamiento.

6.4.1 Se deberá destinar un área para el almacenamiento de los residuos peligrosos biológico-infecciosos.

6.4.1.1. Los establecimientos que correspondan al nivel I quedarán exentos del cumplimiento del punto 6.4.4, pudiendo ubicar los contenedores del punto 6.4.2 en el lugar más apropiado dentro de sus instalaciones de manera tal que no obstruyan las vías de acceso y sean movidos sólo durante las operaciones de recolección.

6.4.2 Los residuos peligrosos biológico-infecciosos envasados deberán almacenarse en contenedores con tapa y rotulados con el símbolo universal de riesgo biológico, con la leyenda "PELIGRO, RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS".

6.4.3 El período de almacenamiento temporal a temperatura ambiente estará sujeto al tipo de establecimiento, como sigue:

6.4.3.1 Nivel I: hasta 7 días.

6.4.3.2 Nivel II: hasta 96 horas.

6.4.3.3 Nivel III: hasta 48 horas.

6.4.3.4 Los residuos patológicos, humanos o de animales, deberán conservarse a una temperatura no mayor de 4 °C. (cuatro grados centígrados)

6.4.4 El área referida en el punto 6.4.1 debe:

6.4.4.1 Estar separada de las siguientes áreas: de pacientes, visitas, cocina, comedor, instalaciones sanitarias, sitios de reunión, áreas de esparcimiento, oficinas, talleres y lavandería.

6.4.4.2 Estar techada y ubicada donde no haya riesgo de inundación y que sea de fácil acceso.

6.4.4.3 Contar con extinguidores de acuerdo al riesgo asociado.

6.4.4.4 Contar con muros de contención lateral y posterior con una altura mínima de 20 cm (20 centímetros) para detener derrames.

6.4.4.5 Contar con señalamientos y letreros alusivos a la peligrosidad de los mismos, en lugares y formas visibles.

6.4.4.6 Contar con una pendiente del 2 % (dos por ciento) en sentido contrario a la entrada.

6.4.4.7 No deben existir conexiones con drenaje en el piso, válvulas de drenaje, juntas de expansión, albañales o cualquier otro tipo de comunicación que pudiera permitir que los líquidos fluyan fuera del área protegida.

6.4.4.8 Tener una capacidad mínima, de tres veces el volumen promedio de residuos peligrosos biológico infecciosos generados diariamente.

6.4.4.9 El acceso a esta área sólo se permitirá al personal responsable de estas actividades y se deberán realizar las adecuaciones en las instalaciones para los señalamientos de acceso respectivos.

6.4.4.10 El diseño, la construcción y la ubicación de las áreas de almacenamiento temporal destinadas al manejo de residuos peligrosos biológico-infecciosos deberán contar con la autorización correspondiente por parte de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología.

6.5 Recolección y transporte externo.

6.5.1 La recolección y el transporte de los residuos peligrosos referidos en el punto 1 de esta Norma Oficial Mexicana, deberá realizarse conforme a lo dispuesto en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos, en el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos y en las Normas Oficiales Mexicanas aplicables; y deberá cumplir lo siguiente:

6.5.2 Sólo podrán recolectarse los residuos que cumplan con el envasado, embalado y etiquetado o rotulado como se establece en el punto 6.2 de esta Norma Oficial Mexicana.

6.5.3 Los residuos peligrosos biológico-infecciosos no deberán ser compactados durante su recolección y transporte.

6.5.4 Los contenedores referidos en el punto 6.4.2 deberán ser lavados y desinfectados después de cada ciclo de recolección.

6.5.5 Los vehículos recolectores deberán ser de caja cerrada, hermética y contar con sistemas de captación de escurrimientos, además de sistemas mecanizados de carga y descarga.

6.5.5.1 Las unidades para el transporte de residuos peligrosos biológico-infecciosos deberán contar con sistemas de enfriamiento para mantener los residuos a una temperatura de 4 °C (cuatro grados centígrados) cuando la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca lo considere necesario.

6.5.6 Los residuos peligrosos biológico-infecciosos sin tratamiento, no deberán mezclarse con ningún otro tipo de residuos municipales o de origen industrial durante su transporte.

## 6.6 Tratamiento.

6.6.1 Los residuos peligrosos biológico-infecciosos deberán ser tratados por métodos físicos o químicos.

6.6.2 Los métodos de tratamiento serán autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología y deberán cumplir los siguientes criterios generales:

6.6.2.1 Deberá garantizar la eliminación de microorganismos patógenos, y

6.6.2.2 Deberán volver irreconocibles a los residuos peligrosos biológico-infecciosos.

6.6.3 Los residuos patológicos deben ser cremados, excepto aquéllos que estén destinados a fines terapéuticos, de investigación y docencia.

6.6.4 Los métodos de tratamiento deberán cumplir previo a su autorización, un protocolo de pruebas que al efecto determine la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología.

6.6.5 El tratamiento podrá realizarse dentro del establecimiento generador o en instalaciones específicas fuera del mismo. En ambos casos se requerirá la autorización de la Secretaría de Medio ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología.

6.7 Los establecimientos que presten atención médica deberán presentar su programa de contingencias en caso de derrames, fugas o accidentes relacionados con el manejo de estos residuos.

## 7. DISPOSICION FINAL

7.1 Una vez tratados e irreconocibles, los residuos peligrosos biológico-infecciosos, se eliminarán como residuos no peligrosos.

7.2 En localidades con una población hasta de 100,000 habitantes se podrán disponer los residuos peligrosos biológico-infecciosos sin tratamiento, en celdas especiales, conforme a lo establecido en el Anexo 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

7.2.1 El diseño, la construcción y la operación de las celdas especiales serán autorizados por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, a través del Instituto Nacional de Ecología.

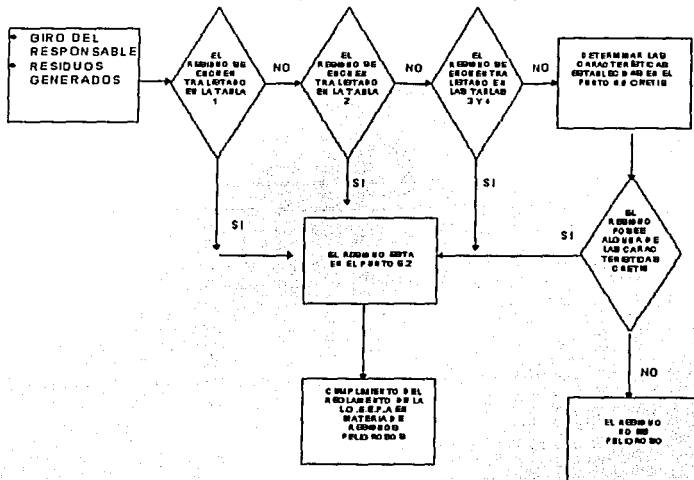
## 8. GRADO DE CONCORDANCIA CON NORMAS Y RECOMENDACIONES INTERNACIONALES

8.1 Los elementos y preceptos de orden técnico y jurídico en esta Norma Oficial Mexicana se basan en los fundamentos técnicos y científicos reconocidos internacionalmente.

Dada en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los veinticinco días del mes de septiembre de mil novecientos noventa y cinco.

### ANEXO 1

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA IDENTIFICACION DE RESIDUOS PELIGROSOS



PROMULGADA POR LA SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, RECURSOS NATURALES Y PESCA.

## GLOSARIO

**Absorción-desorción.** La *absorción* es el proceso mediante el cual una sustancia se transfiere de un fluido (líquido o gas) a un líquido o sólido absorbente quedando disuelta en él. La *desorción* es el proceso inverso, es decir la transferencia de un componente en un sólido o líquido a un gas.

**Bioacumulación.** Es la tendencia de ciertas sustancias a acumularse en los tejidos de organismos vivos. La tendencia de una sustancia a bioacumularse se relaciona con las características hidrófobas o lipofílicas.

**Capacidad oxidante o comburente.:** Se define así a la capacidad de liberar oxígeno para auxiliar en la combustión de materiales orgánicos y en la descomposición o degradación de materiales inorgánicos.

**Carcinogenicidad.** Capacidad de algunas sustancias de provocar procesos de cáncer.

**Coefficiente de partición lípido-agua.** Es la relación entre la solubilidad en agua de un material y su solubilidad en un aceite. A través de este coeficiente se puede determinar la capacidad que tienen las sustancias que conforman los residuos para disolverse en agua y en lípidos (por ejemplo, los que conforman las membranas de los seres vivos). Sustancias con coeficientes mayores a 1 son liposolubles y de fácil absorción a través de las membranas y acumulación en el tejido graso (por ejemplo, los hidrocarburos aromáticos y los plaguicidas).

**Corrosividad.** Se considera que una sustancia es corrosiva cuando es capaz de descomponer a otras. En función de la liberación de hidrógeno, degrada químicamente a los materiales con los cuales entra en contacto. Se considera peligrosa una sustancia corrosiva si tiene la capacidad de penetrar el acero con una densidad de 1 cm en un periodo de 24 horas. Para efectos de derrames de materiales peligrosos, es corrosiva cualquier sustancia que exhiba un pH menor de 2 o mayor de 12.

**Degradabilidad.** Las sustancias pueden ser degradadas de tres maneras: se les puede disminuir su actividad a través del tiempo, mediante procesos químicos (quimodegradabilidad), tal como ocurre con los ácidos y las bases; por la acción de la luz (fotodegradabilidad), como sucede con las piretrinas y con el toxafén; o mediante la acción de microorganismos (biodegradabilidad), como es el caso de la celulosa, los peróxidos y algunos hidrocarburos.

**Disociación e ionización.** Al solubilizarse, las sustancias iónicas se disocian; esto quiere decir que un átomo o un grupo de átomos se separan un poco de la sustancia original y adquieren una carga positiva (catión) o una negativa (anión). Las sustancias que no se disocian se denominan no-iónicas. Esta característica es importante para determinar su movilidad en los suelos. Las sustancias aniónicas y no-iónicas son móviles en los suelos, mientras que las catiónicas se adsorben fuertemente a las partículas del suelo y quedan inmovilizadas.

**Efectos sub-letales en especies no mamíferas.** Capacidad de provocar daño en un animal no mamífero sin causarle la muerte

**Efectos sub-letales en mamíferos.** Capacidad de provocar daño en un animal mamífero sin causarle la muerte

**Efectos sub-letales en plantas.** Capacidad de provocar daño en un vegetal sin causarle la muerte

**Explosividad.** Las sustancias explosivas son aquellas que de manera espontánea o por una reacción química pueden desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que causen daño a los alrededores.

**Flamabilidad.** La flamabilidad de un material tiene que ver con su grado de susceptibilidad para arder, al aumentar su temperatura. Las sustancias más flamables son líquidos con punto de ignición por debajo de 60°C Centígrados.

**Genotóxicidad/Mutagénicidad.** Capacidad de una sustancia de provocar daño en el material genético de la célula, provocando su destrucción o la aparición de mutaciones.

**Límites de explosividad en el aire.** Los límites de explosividad son dos: el límite bajo (Lower Explosive Level) (LEL) y el superior (Upper Explosive Level) (UEL). El primero se refiere a la concentración mínima de vapores de una sustancia, mismos que pueden explotar si se calientan. Se expresa como porcentaje de vapor en el aire. El segundo se refiere a la concentración más alta, la cual, en presencia de calor, explotará. Se expresa como porcentaje de vapor en el aire.

**Lixiviación.** Es la transferencia de un componente soluble de un sólido a un disolvente adecuado.

**Peso específico.** Se refiere a la masa o peso del volumen dado de una sustancia, comparada con la masa o peso de un volumen igual de agua; se trata de saber si esa sustancia es más o menos pesada que el agua.

**pH.** Es el potencial de hidrogeniones de una sustancia y se refiere al cambio en la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ )(hidrogeniones) que se produce cuando esa sustancia se disuelve en agua. Si los hidrogeniones aumentan, la sustancia es ácida y el pH es menor a 7; por el contrario, si disminuyen, la sustancia es alcalina y su pH es mayor a 7.

**Polimerización.** Consiste en una reacción química en la cual un gran número de moléculas relativamente simples se combinan para formar una gran cadena de moléculas. Una polimerización peligrosa será una reacción en la que se liberen grandes cantidades de energía.

**Presión de vapor.** Mide indirectamente la cantidad de una sustancia que se vaporiza a una temperatura dada. A mayor presión de vapor la sustancia desprende una mayor cantidad de vapores a esa temperatura, la cual generalmente corresponde a la temperatura ambiental. La volatilidad de las sustancias depende de su presión de vapor. Aquellas con presiones superiores a los  $10^{-3}$  mm de mercurio (Hg), a  $25^{\circ}C$ , son muy volátiles y se movilizan fácilmente, dispersándose en el ambiente (acetona, éter etílico y metil-isocianato). Las que tienen presiones de vapor entre  $10^{-4}$  y  $10^{-6}$  mm de Hg son ligeramente volátiles y menos móviles; en tanto que las que tienen una presión menor a los  $10^{-7}$  mm de Hg pueden considerarse como no volátiles (aceites minerales y metales pesados).

**Propiedades físicas.** Las propiedades físicas comprenden aquellas que pueden ser determinadas sin alterar la composición química de la materia; son típicas de cada sustancia o compuesto, y aunque muchas son comunes para varias sustancias, no todas son las mismas para dos compuestos diferentes

**Propiedades químicas.** Son aquellas que pueden ser determinadas cuando la sustancia sufre cambios en su composición básica; y las que al manifestarse, en general se acompañan de cambios en una o varias de sus propiedades físicas.

**Reactividad.** Una sustancia reactiva es aquella que al entrar en contacto con aire o agua, o a causa de un movimiento, sufre cambios químicos y físicos que pueden estar acompañados por la liberación repentina de energía. Esta liberación puede ir desde la efervescencia hasta una explosión violenta.

**Solubilidad en agua.** Esta propiedad se expresa como la cantidad o el porcentaje de un material (en peso) que se disuelve en agua a temperatura ambiente. La movilidad de los residuos peligrosos en los suelos se ve favorecida por su solubilidad en agua. Cuando ésta es mayor a 500 ppm (partes por millón), los residuos alcanzan una gran movilidad y una mayor concentración en los medios acuáticos --como ocurre con el aluminio y el cadmio. Si las sustancias que componen los residuos tienen una solubilidad acuosa mayor a 25 ppm, no son persistentes en los

organismos vivos. Y si su solubilidad es menor, pueden quedar inmovilizadas en los suelos y acumularse en los seres vivos --como sucede con el arsénico y el plomo.

**Temperatura de auto ignición.** Es la temperatura más baja en la cual un material flamable, al mezclarse con el aire, se incendia por sí sólo, sin la presencia de una flama o chispa. En una atmósfera enriquecida con oxígeno puede ocurrir que una mezcla flamable se incendie espontáneamente, a temperaturas más bajas que las normales.

**Temperatura de ignición:** Es la temperatura más baja en la cual un material emite vapores flamables en cantidad suficiente para incendiarse en presencia del aire, ante cualquier fuente de ignición.

**Teratogénicidad.** Capacidad de algunas sustancias de provocar procesos de malformación o deformación en fetos.

**Tóxico.** Toda sustancia o residuo para el cual se ha encontrado que la exposición de seres humanos incluso a dosis bajas es fatal, o bien que al ser inhalado, ingerido o al ingresar al organismo a través de la piel puede provocar efectos agudos o crónicos, incluyendo cáncer

**Volatilización.** Consiste en la evaporación de parte de un componente, el cual genera o se incorpora a una fase gaseosa; en este proceso ocurre una concentración de componentes tanto en la fase líquida como en la fase gaseosa.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1-Acheson, R.M.: *Química Heterocíclica*. México 1981 Ed. Publicaciones cultural 1ª ed. 520 pp.
- 2-Blouin, Claude B.: *La Salud. Enciclopedia Médica Familiar*. Barcelona, España 1980. Circulo de lectores, 1ª ed 447. pp.
- 3-Cortinas de Nava Cristina, Ordaz Yolanda.: *Los Residuos Y Su Legislación*.. México 1996 Gaceta Ecológica, No. 39, Pág. 56-62 Instituto Nacional de Ecología.
- 4-Cortinas de Nava, C. y G.S. Vega.: *Residuos Peligrosos en el Mundo y México* México. 1993. Serie Monografías No. 3. Instituto Nacional de Ecología /SEDESOL.. 215 pp
- 5-Curtis C. Travis.: *Municipal Waste Incineration. Risk Assessment. Depositon, Food Chain Impacts, Uncertainty and Research Needs*. N. Y. USA.1991 Plenum Press 314 pp.
- 6-DDF/SEDUE.: *Análisis Del Proceso De Incineración Cómo Un Método De Tratamiento De Los Residuos Sólidos* México 1984
- 7-Ekokem Folleto: *Incineración*. 1999 Finlandia.
- 8-García Martínez Marisela.: *Manejo De Residuos Biológico Infecciosos En La UNAM, Campus Cuautitlán (TESIS)* México 1999 Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
- 9-Gobierno de la Republica Diario Oficial De La Federación Del 22 De Octubre De 1993.
- 10-Garfias Y Ayala, Francisco Javier.: *Taller para el desarrollo sustentable residuos peligrosos*. México, D.F. 1995. Instituto Nacional de Ecología
- 11-Goodman Gilman A, Goodman L. S.: *Las Bases Farmacológicas De La Terapéutica*. México 1982 Editorial Medica Panamericana pp. 6a. ed.. 56-70. 1559-1571.
- 12-Hernández B. Claudia Patricia, Fernández V. Georgina.: *Manual De Medicamentos Y Fármacos Caducos*. México 1995 Instituto Nacional de Ecología, Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). Primera edición, 86pp.,
- 13-Incineradores Villareal, S. A. Folleto: *Incineración*. México 1995
- 14-INE/SEMARNAT.: *Programa Para La Minimización Y Manejo Integral De Los Residuos Peligrosos 1996-2000*. México 1998 primera edición. 165 pp.
- 15-Instituto Nacional de Ecología.: *Instructivo general. Licencia Ambiental Única 1999*.. México 1999, 46 pp.
- 16-Instituto Nacional de Ecología.: *Instructivo general. Licencia de la Cédula de Operación Anual 1999*. México 1999, 46 pp.
- 17-Instituto Nacional de Ecología.: *Bases Para Una Política Nacional De Residuos Peligrosos*. México 1995 Foro Nacional sobre gestión ambiental en municipios metropolitanos, primera edición.
- 18-Instituto Nacional de Ecología.: *Estadísticas E Indicadores De Inversión Sobre Residuos Sólidos Municipales En Los Principales Centros Urbanos De México*. México 1997. , Primera edición, 58 pp.
- 19-Instituto Nacional de Ecología.: *Foro Nacional Sobre Gestión Ambiental En Municipios Metropolitanos* México 1995. primera edición.
- 20-Instituto Nacional de Ecología.: *Informe De La Situación General En Materia De Equilibrio Ecológico Y Protección Al Ambiente 1989-1990*. México, 1992 primera edición 260 pp.
- 21-Instituto Nacional de Ecología.: *Instituto Nacional de Ecología, Metas 2000*.. México 2000 62 pp.
- 22-Instituto Nacional de Ecología.: *Manejo y Reciclaje de los Residuos de Envases y Embalajes (Serie Monografías 4)* México 1993 primera edición, 159 pp.
- 23-Instituto Nacional de Ecología.: *Normas Oficiales Mexicanas En Materia De Protección Ambiental 1993-1994*., México 1994 primera edición, 411 pp.
- 24-Instituto Nacional de Ecología.: *Residuos Peligrosos En México*. México, 1997, primera edición, 120 pp.,

- 25-** International Technology Services, Inc.: *Waste Gasification Thermal Oxidation Process*. USA. 1998 Folleto
- 26-** Keller Torres José.: *Informe De Actividades 1999-2000* México 2000. Universidad Nacional Autónoma de México, FES-Cuautitlán.
- 27-** Louvar F. Joseph, Louvar. Diane.: *Health And Environmental Risk Analysis*. USA. 1998. Vol. II Prentice Hall, 678p.
- 28-** Martínez Alemán Rosa.: *Métodos Y Alternativas Para La Disposición Final De Residuos Sólidos Municipales (TESIS)*. México 1986. Instituto Politécnico Nacional. ESA.
- 29-** Mújica Álvarez Violeta, Figueroa Lara Jesús.: *Contaminación Ambiental, Causas Y Control*. México 1996 Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. 1a. Edición. 367 pp.
- 30-NOM-052-ECOL-1993**. México 1993. Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Diario oficial.
- 31-NOM-053-ECOL-1993**. México 1993 Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Diario oficial..
- 32-NOM-054-ECOL-1993** México 1993. Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la **NOM-052-ECOL-1993**. Diario oficial.
- 33-NOM-087-ECOL-1995**. México 1995. Requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generen en establecimientos que presten atención médica.
- ✦ **34-** Proyecto de norma oficial mexicana **PROY-NOM-098-ECOL-2000**, protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
- 35-** Ostler K. Neal.: *Waste Management Concepts*. New Jersey USA. 1998 Ed. Prentice Hall 356 p.
- 36-** Secretaría De Medio Ambiente Del Gobierno Del Distrito Federal.: *Informe de actividades 1998*. México 1998
- 37-** SEMARNAP.: *Ley General de Salud*. México. (2000). Ed. Porrúa Hermanos. 16 ed.
- 38-** SEMARNAP.: *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Residuos Peligrosos*. México 1994. primera edición, 38 pp.
- 39-** Stanley H. Pine.: *Química Orgánica*. España 2ª ed. 1980, Ed. McGraw-Hill S.A. 1088pp.
- 40-** Solórzano Ochoa, Gustavo.: *Consideraciones sobre el manejo de los residuos peligrosos en México*. México 1998. *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Año 10, Número 35, marzo-abril.
- 41-** Vega de Kuyper, Juan Carlos.: *Manejo De Residuos De La Industria Química Y Afín*. México, 1999. 2 ed. Ed. Alfa Omega Editores. 166p
- 42-** Vega G. Sylvia. *Evaluación Epidemiológica De Riesgos Causados Por Agentes Químicos Ambientales: Aspectos Específicos De La Toxicidad De Algunos Contaminantes*. México, 1985. Cuaderno 6 OPS, OMS. 198 p.
- 43-** Vega G. Sylvia.: *Evaluación Epidemiológica De Riesgos Causados Por Agentes Químicos Ambientales: Cinética Y Efectos De Los Contaminantes Tóxicos Del Ambiente*. México, 1985. OPS, OMS. 133 p.

-PAGINAS WEB UTILIZADAS

**44-** [www.incimex.com.mx](http://www.incimex.com.mx)

**45-** [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)