



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
“ZARAGOZA”**

**DIAGNÓSTICO DE RESIDUOS PELIGROSOS  
GENERADOS EN EL LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN LA UNIVERSIDAD  
PANAMERICANA SEDE MÉXICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**B I Ó L O G O**

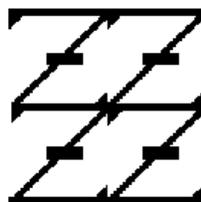
P R E S E N T A:

**ISIDORO CRUZ GARCIA**

Director: **M. en I. IRMA CRUZ GAVILÁN GARCÍA**

Asesor: **M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ**

U N A M  
FES  
ZARAGOZA



LO HUMANO EJE  
DE NUESTRA REFLEXIÓN

MÉXICO, D. F.

OCTUBRE DE 2005



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIA

Al jefe de jefes, mi Papá:

Fausto Cruz Martínez (+)

Por darme siempre un ejemplo de superación y entusiasmo para seguir estudiando.

A uno de mis hermanos:

Cruz Cruz García (+)

Gracias por ser un hermano ejemplar

Convivimos poco tiempo, aún así, siempre los llevo en mi mente y corazón

## AGRADECIMIENTOS

**MAMI, Virginia García Barragán**, con mi mas sincero Agradecimiento, por todo tu amor y dedicación que en forma desinteresada me has brindado. Como una pequeña recompensa a tus esfuerzos

**EL AMOR DE MI VIDA, Catzibe Dayanara del Olmo Oseguera**, Gracias por todo tu amor, comprensión y paciencia

### MIS OTROS AMORES:

**Isis Fernanda e Itaanciby Tayen**, Gracias a Dios llegaron a mi vida para mostrarme que la ternura y la alegría no se deben perder y ser la motivación de mi superación constante

**A MIS HERMANOS, Grimilda, Fausto, Juárez y Fanny**, Gracias por ser mis hermanos, por su apoyo y todos aquellos momentos de convivencia en familia

A la Fam. **Del Olmo Oseguera**, por su apoyo incondicional

**M. en I. Irma C. Gavilán García**, Gracias por sus conocimientos brindados y por la dirección de este trabajo

**M. en C. Rámiro Ríos Gómez**, Gracias por sus sugerencias acertadas y por su asesoría para la realización de este trabajo

**I. Q. Eduardo Loyo Arnaud, Biól. Ma. de los Ángeles Galván Villanueva y Biól. Ana Laura Maldonado Tena**, Gracias por sus contribuciones y comentarios que enriquecieron el contenido del trabajo

A la **FES-ZARAGOZA**, por albergarme 5 años de mi vida y brindarme los conocimientos para ser útil a la sociedad

A la Universidad Panamericana, Escuela de Ingeniería y al **Ing. Sergio Martínez**, por brindarme las facilidades para la realización de este trabajo

## CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	I
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. HIPÓTESIS	5
5. OBJETIVOS	6
6. REVISIÓN DE LITERATURA	7
6.1 Normatividad nacional existente en torno a los residuos peligrosos (RP)	
6.2 Definición y clasificación de RP	
6.3 Experiencias de la gestión de RP en instituciones educativas	
7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	37
7.1 Ubicación de la Universidad Panamericana (UP)	
7.2 Breve descripción de la UP	
7.3 Antecedentes del Laboratorio de Química	
7.4 Historia de la UP	
7.5 Misión y Objetivo de la UP	
8. MATERIAL Y MÉTODOS	40
9. RESULTADOS	42

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	55
11. CONCLUSIONES	65
12. RECOMENDACIONES	66
13. BIBLIOGRAFÍA	67
14. APENDICES	
APÉNDICE A	I
APÉNDICE B	II
APÉNDICE C	III

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Reglamentos de la LGEEPA, relacionados con los RP.	7
Cuadro 2. Elementos relevantes del Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos.	8
Cuadro 3. NOM de la SEMARNAT en materia de residuos peligrosos.	9
Cuadro 4. NOM emitidas por la SCT con referencia a los RP.	10
Cuadro 5. NOM de la STPS, respecto a seguridad e higiene, salud y medio ambiente en el trabajo.	11
Cuadro 6. Ejemplo de clasificación de los RP para orientar su manejo.	16
Cuadro 7. Estimación de RP generados en países de la OCDE.	17
Cuadro 8. Generación de RP a nivel nacional.	18
Cuadro 9. Número de empresas que manifiestan la generación de RP por entidad Federativa.	19
Cuadro 10. Exposición de poblaciones humanas a metales por la disposición inadecuada de residuos industriales.	20
Cuadro 11. Ejemplos de exposición de poblaciones a confinamientos no controlados de residuos industriales.	21
Cuadro 12. Los accidentes químicos más publicitados.	21

Cuadro 13. Sitios ilegales con RP según reportes de la PROFEPA.	22
Cuadro 14. Relación de sitios afectados por disposición inadecuada de RP.	23
Cuadro 15. Inventario de sustancias químicas del Laboratorio de Química tal como se encontraron en el almacén.	44
Cuadro 16. Inventario de sustancias químicas almacenadas en el Laboratorio de Química.	48
Cuadro 17. Número de veces que se realiza cada experimento por semestre	49
Cuadro 18. Reactivos utilizados y residuos generados por práctica en un ciclo escolar.	50
Cuadro 19. Generación de residuos líquidos por práctica durante de un semestre	51
Cuadro 20. Reactivos utilizados y no utilizados en los experimentos. Se clasifican de acuerdo a la normatividad ambiental mexicana.	52
Cuadro 21. Propuesta de almacenamiento de las sustancias químicas que se encuentran en el Laboratorio de Química, modelo inorgánico (de arriba hacía abajo aumenta la peligrosidad).	54
Cuadro 22. Propuesta de almacenamiento de las sustancias químicas que se encuentran en el Laboratorio de Química, modelo orgánico (de arriba hacía abajo aumenta la peligrosidad).	54

## **1. RESUMEN**

Se realizó un diagnóstico de residuos peligrosos que genera el Laboratorio de Química que se cursa en el segundo semestre de la Escuela de Ingeniería Industrial en la Universidad Panamericana, sede México. El estudio se realizó en el ciclo escolar 2002-2003 con una población de 150 alumnos divididos en 3 grupos.

Se analizó el Manual de Prácticas del laboratorio de química y el procedimiento de cada uno de los 7 experimentos, encontrándose que se generan 70 L de residuos líquidos en un semestre con una Producción Per Capita de 0.5 L/alumno.

De acuerdo al marco regulatorio ambiental, se identificaron residuos Inflamables (Acetato de etilo, Ácido acético, Cloroformo, Hexano) y Tóxicos (Ácido acético, Ácido sulfúrico, Acetato de etilo, Cloroformo, Hexano). En base a estas características se propone la recuperación de los disolventes y el tratamiento de los ácidos mediante neutralización.

Finalmente se propone un modelo conceptual para el manejo de los residuos peligrosos que se generan en otros laboratorios de la Universidad Panamericana, tomando de base la metodología que se siguió en este trabajo.

## 2. INTRODUCCIÓN

Haciendo un análisis retrospectivo hasta hace aproximadamente 30 años la legislación en materia del cuidado del ambiente era nula, se pensaba que la capacidad de recuperación del ambiente natural era inquebrantable. Prueba de ello es que, después de muchos años de estar incorporando diversos productos a los diferentes medios, como son suelo, agua y atmósfera, hoy se ven los resultados de tales actos. El efecto se deja sentir provocando el deterioro de los recursos naturales que si bien se pensaba que podían aguantar tales presiones, hoy vemos que esa capacidad se ve rebasada.

Debido a tales prácticas de desecho, en diferentes partes del mundo en la década de los 50s se presentan y se registran los primeros síntomas (Cortinas y Vega, 1993), los efectos se presentan directamente en la salud de la población y es justo cuando se empiezan a tomar medidas reactivas, restrictivas y correctivas, para ir remediando todo el daño ya causado al entorno.

México, empieza a establecer su marco regulatorio ambiental apoyándose de las experiencias a nivel mundial (legislación), y también es presionado por otros países por la ratificación de diferentes acuerdos internacionales, así se inician acciones encaminadas a establecer un marco jurídico para garantizar el cuidado del ambiente derivado de la actividad humana. Actualmente, se cuenta con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR), además de diferentes reglamentos, normas oficiales y procedimientos administrativos encaminados a prevenir y controlar la contaminación, siendo esta normatividad aplicable en todo el territorio nacional (SEMARNAP, 1997; CCE, 1998; INE, 2000; SEMARNAT, 2005; DOF, 8/10/2003).

Se define a un Residuo Peligroso (RP) según la LGEEPA (SEMARNAP, 1997), como: *“Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente”*. La NOM-052-SEMARNAT-1993 (DOF, 22/10/1993) plantea que, además de las características de los residuos de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o biológico-infecciosas (CRETIB), se tomarán como base para determinar la peligrosidad de los residuos y que éstos se encuentren comprendidos en los listados que se

incluyen en sus anexos y que permiten su clasificación de acuerdo con su origen o composición, tal y como sigue:

- Giro industrial y proceso
- Fuente no específica
- Materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas
- Residuos y bolsas o envases de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas.

La LGPGIR (DOF, 8/10/2003) en su definición de RP, además de considerar las características CRETIB de los residuos, contempla a los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados. En cuanto a los generadores distingue entre gran generador, pequeño generador y microgenerador, por lo tanto, todos los que generen RP deben de cumplir con los lineamientos establecidos en el marco jurídico ambiental, tanto establecimientos de servicio como industriales.

De la producción de RP se estima que en el mundo se generan de 350 a 400 millones de toneladas anuales (Cortinas y Vega, 1993). En los años 90s, para los 29 países que integran la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE) se estimó en 115 millones de ton/año. La mayoría de los esfuerzos realizados para hacer inventarios de generación de RP en México enfrentaron limitaciones importantes, por que se basaron en factores de generación de otros países. Aunque no existe un método infalible de estimación, es importante contar por lo menos con una aproximación (Mosler, 2002). Así, el Instituto Nacional de Ecología (INE) en 1994, realizó una estimación preliminar nacional de un volumen total de generación anual equivalente a 8 millones de toneladas y en 1997 reportó 12.5 millones de ton/año (INE, 1998).

La autoridad ambiental inició sus actividades regulatorias con los grandes generadores enfocadas principalmente a las grandes industrias, dejando de lado prácticamente a los otros (pequeños y microgeneradores). Sin embargo, no se debe de perder de vista que si se reúnen a los pequeños y microgeneradores de RP, es considerable la cantidad que desechan sin control alguno y que pueden llegar a causar la misma contaminación.

Desde que se hizo obligatorio informar sobre la generación de RP a la autoridad ambiental por medio de manifiestos (DOF, 25/11/1988), hasta el año 2001 han cumplido con tal obligación

27,280 empresas (industrias, comercios y de servicios); se desconoce el tamaño del universo de generadores que faltan por registrarse. Estas empresas que han cumplido con tal regulación, manifiestan generar alrededor de 3,705,846.21 toneladas al año (SEMARNAT, 2003).

Los centros de educación y los institutos de investigación son también generadores de residuos. Como resultado de sus actividades se generan diversos residuos sólidos y líquidos que en la mayoría de los casos no reciben el manejo adecuado (Gómez y Franco, 2001). Afortunadamente, muchas instituciones educativas en diferentes partes del mundo ya empezaron a tomar conciencia del tema (López, *et al*, 1995; Bravo *et al.*, 1996; Bazúa-Durán, 1996; Cabañas y Alcocer, 1997; Messera *et al.*, 1998; UNAM, 1999; Torres y Castrellón, 2000; Gómez y Franco, 2001; Durán, 2002), y es desde aquí en donde se deben de dar los primeros pasos para hacer algo.

Por ejemplo, en la UNAM-FQ se desarrolló la metodología “Enseñanza integral de la química y el cuidado del ambiente”. La enseñanza de la química se lleva a cabo de tal manera que un experimento de un laboratorio se estructura, no solo pensando en la obtención de un producto con el mas alto rendimiento y calidad deseada, sino que, tanto los estudiantes como los investigadores, son capaces de identificar los residuos y subproductos que se van generando en las diversas etapas del experimento. Los responsables del manejo de éstas determinan la composición, propiedades físicas, químicas y toxicológicas y de acuerdo con ello establecen y efectúan el tratamiento adecuado correspondiente.

De acuerdo a las palabras de la Dra. Elvira Santos (2003): “Es desde aquí en donde se generan recursos humanos para las industrias, y es desde aquí donde deben de salir los recursos humanos con otra óptica comprometidos con la sociedad y con el medio ambiente”. Así se puede tener un efecto para obtener un cambio de conducta en la toma de decisiones en el establecimiento de “procesos productivos mas limpios”.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente en todos los niveles, se debe de voltear hacía el ambiente que nos rodea y hacer algo en la medida de las posibilidades de cada uno para reducir el incremento de la contaminación. La Universidad Panamericana como una institución educativa, con este trabajo contribuye en la solución de esta problemática.

Para empezar a dar un manejo ambientalmente seguro a los residuos, es importante conocer, en primera instancia, las cantidades y características de los residuos generados, tomando en cuenta que no se puede manejar algo que no se conoce, de esa manera ver su valor, oportunidades de prevención de la generación y la minimización, dejando como última opción el control, tratamiento y disposición final de cada tipo de residuo o grupo de residuos.

### **4. HIPÓTESIS**

En una reacción química, se obtiene el producto principal y subproductos. Estos subproductos hasta ahora son tratados con prácticas que no son seguras para el cuidado del medio ambiente. Entonces al ser tratados en forma segura se ayudará a disminuir la contaminación del medio ambiente.

## 5. OBJETIVOS

General:

1. Elaborar un modelo de manejo ambiental seguro de los residuos peligrosos generados en el laboratorio de química de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana, sede México.

Específicos:

1. Realizar el inventario de las sustancias químicas utilizadas en las diferentes prácticas del laboratorio.
2. Cuantificar la cantidad de reactivos utilizados por experimento y la cantidad de residuos generados.
3. Identificar los residuos generados y determinar las características de peligrosidad CRETI de acuerdo a la normatividad ambiental mexicana.
4. Identificar las oportunidades de optimización de experimentos que reduzcan la generación de residuos, es decir tender a experimentos limpios.
5. Proponer los métodos de tratamiento y/o disposición final.
6. Diseñar un modelo ambientalmente seguro para el manejo de los residuos peligrosos generados en el Laboratorio de Química, que sea aplicable a los laboratorios de la UP.

## 6. REVISIÓN DE LITERATURA

### 6.1 Normatividad nacional existente en torno a los Residuos Peligrosos (RP)

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM), fue promulgada en 1917. De ésta se deriva todo el sistema jurídico del Estado. La CPEUM, sufrió una reforma al Art. 27 en su párrafo tercero que se publica en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el día 10 de agosto de 1987 en donde queda establecida a nivel constitucional la protección al equilibrio ecológico (INE, 2000). Así mismo, en los Art. 4, 25 y 73 también se refieren a la preservación y restauración de equilibrio ecológico, así como a la protección del ambiente. Debido a la reforma de 1987, se promovió la realización de una nueva ley que abrogó a la entonces Ley Federal para la Protección y Control de la Contaminación Ambiental.

Ésta nueva ley, es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y se publica en enero 28 de 1988, misma que entra en vigor en marzo de ese mismo año y es reformada en diciembre de 1996 (CCE, 1998; SEMARNAT, 1997). De esta Ley se derivan, entre otros, seis reglamentos que directamente están relacionados con el manejo de los RP (Cuadro 1).

Cuadro 1. Reglamentos de la LGEEPA, relacionados con los RP.

	Reglamento	DOF
1	En materia de auditoria ambiental.	29/11/2000
2	En materia de impacto ambiental.	30/05/2000
3	Para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.	07/04/1993
4	En materia de residuos peligrosos.	25/11/1988
5	De prevención y control de la contaminación de la atmósfera.	25/11/1988
6	Para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias.	23/01/1979

En la citada Ley, en el Título Cuarto, Capítulo VI, Artículos 150 al 153, se norma lo relativo a materiales y residuos peligrosos (SEMARNAP, 1997). En el año 2003 se decreta la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) que se publica en el DOF, el 8 de octubre, la cual se encuentra dividida en siete Títulos y está compuesta por 125 Artículos, y 13 Artículos transitorios. En el Título Quinto, Artículos 40 al 94, tratan sobre el manejo integral de residuos peligrosos.

### 6.1.1 Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos

En el siguiente orden jerárquico de la legislación se encuentra el Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos (DOF, 25/11/1988) el cual plantea procedimientos de registro e información obligatorios para todo sujeto responsable de la generación, así como los lineamientos de manejo y disposición final, importación y exportación de los mismos. Este reglamento es de observancia en todo el territorio nacional y su aplicación compete a la Federación, también se plantea que las autoridades del Distrito Federal, de los estados y los municipios podrán participar como auxiliares de la federación en los términos de los instrumentos de coordinación correspondientes (INE, 1994). Se precisan las facultades de la federación relativas a la emisión de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia ambiental, así como, al control del manejo de los RP que se generan en las operaciones y procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización y de servicios. Además se plantean otras facultades relativas a expedir los instructivos, formatos y manuales necesarios para su cumplimiento, así como establecer y mantener actualizado un sistema de información sobre la generación de los RP. Aunados a esos señalamientos se indica que se debe de fomentar en el sector productivo y promover ante las autoridades competentes el desarrollo de actividades y procedimientos que coadyuven a:

- ◆ Usar tecnologías que reduzcan la generación de los RP.
- ◆ El manejo seguro de estos residuos.
- ◆ La difusión de estas actividades y procedimientos en los medios de comunicación.

El manejo al que hace referencia el reglamento, comprende el conjunto de operaciones (Cuadro 2) que incluyen el almacenamiento, recolección, transporte, alojamiento, reuso, tratamiento, reciclaje, incineración y disposición final (Cortinas, 2002b).

Cuadro 2. Elementos relevantes del Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos.

El reglamento establece:	
1	Los requerimientos que debe cumplir el generador de los RP
2	Las condiciones que deben cumplir quienes manejan los RP
3	La autorización de la importación y exportación de los RP
4	Las medidas de control, de seguridad y las sanciones

(Cortinas, 2002b)

### 6.1.2 Normas Oficiales Mexicanas

En la siguiente escala del marco jurídico, se encuentran las NOM, elaboradas por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). A continuación se enlistan las diferentes normas expedidas por las diferentes secretarías de la federación en relación al control de materiales y residuos peligrosos. La SEMARNAT a expedido 13 normas en materia de residuos peligrosos (Cuadro 3). La SCT ha publicado NOM, relacionadas con el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos (Cuadro 4). La STPS a publicado NOM en cuanto a la seguridad e higiene, salud y medio ambiente del trabajo (Cuadro 5).

Cuadro 3. NOM de la SEMARNAT en materia de residuos peligrosos.

NOM-052-SEMARNAT-1993	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.
NOM-053-SEMARNAT-1993	Establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
NOM-054-SEMARNAT-1993	Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la NOM-052-SEMARNAT-1993.
NOM-055-SEMARNAT-2003	Establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.
NOM-056-SEMARNAT-1993	Establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
NOM-057-SEMARNAT-1993	Establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.
NOM-058-SEMARNAT-1993	Establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.
NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002	Protección ambiental –salud ambiental- residuos peligrosos biológico-infecciosos- clasificación y especificaciones de manejo
NOM-098-SEMARNAT-2002	Protección ambiental –Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
NOM-133-SEMARNAT-2000	Protección ambiental-Bifenilos policlorados (BPC's)- Especificaciones de manejo.
NOM-138-SEMARNAT-SS-2003	Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación.
NOM-141-SEMARNAT-2003	Establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y postoperación de presas de jales.
NOM-145-SEMARNAT-2003	Confinamiento de residuos en cavidades construidas por disolución en domos salinos geológicamente estables.

(SEMARNAT, 2005)

Cuadro 4. NOM emitidas por la SCT con referencia a los RP.

NOM-002-SCT2-1993	Listados de las sustancias y materiales peligrosos más usualmente transportados.
NOM-003-SCT2-1993	Características de las etiquetas de envases y embalajes destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos.
NOM-004-SCT2-1994	Sistema de identificación de unidades destinadas al transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
NOM-005-SCT2-1994	Información de emergencia para el transporte terrestre de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-006-SCT2-1994	Aspectos básicos para la revisión ocular diaria de la unidad destinada al autotransporte de materiales y residuos peligrosos.
NOM-007-SCT2-1994	Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos.
NOM-009-SCT2-1994	Compatibilidad para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1, explosivos.
NOM-010-SCT2-1994	Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-011-SCT2-1994	Condiciones para el transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos en cantidades limitadas.
NOM-012-SCT2-1994	Sobre el peso y dimensiones máximas que deben cumplir los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.
NOM-018-SCT2-1994	Disposiciones para la carga, acondicionamiento y descarga de materiales y residuos peligrosos en unidades de arrastre ferroviario.
NOM-019-SCT2-1994	Disposiciones generales para la limpieza y control de remanentes de sustancias y residuos peligrosos en las unidades que transportan materiales y residuos peligrosos.
NOM-021-SCT2-1994	Disposiciones generales para transportar otro tipo de bienes diferentes a las sustancias, materiales y residuos peligrosos en unidades destinadas al traslado de materiales y residuos peligrosos.
NOM-023-SCT2-1994	Información técnica que debe contener la placa que portarán los autotanques, recipientes metálicos intermedios para granel (RIG) y envases de capacidad mayor a 450 lts. que transportan materiales y residuos peligrosos.
NOM-025-SCT2-1994	Disposiciones especiales para las sustancias, materiales y residuos peligrosos de la clase 1, explosivos.
NOM-027-SCT2-1994	Disposiciones generales para el envase, embalaje y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos de la división 5.2, peróxidos orgánicos.
NOM-028-SCT2-1994	Disposiciones especiales para los materiales y residuos peligrosos de la clase 3, líquidos inflamables transportados.
NOM-043-SCT2-1995	Documento de embarque de sustancias, materiales y residuos peligrosos.
NOM-EM-008-SCT2-1995	Disposiciones para efectuar la inspección de equipo de arrastre ferroviario asignado al transporte de materiales y residuos peligrosos.
NOM-EM-020-SCT2-1995	Requerimientos generales para el diseño y construcción de autotanques destinados al transporte de materiales y residuos peligrosos, especificaciones STC 306, STC 307 y STC 312.

(CCE, 1998)

Además de los elementos de la estructura jerárquica descritos con anterioridad, existen otros publicados por la autoridad en materia ambiental (INE, 1989), relacionados directamente con el cumplimiento que tanto los generadores como los prestadores de servicio, deben atender para informar sobre los movimientos que llevan a cabo entre sí, con RP. Estos ordenamientos consisten básicamente de manifiestos y reportes que deben ser presentados por los generadores de RP, o bien por aquellos dedicados al manejo de los mismos. Estos documentos son:

- Manifiesto para empresas generadoras de residuos peligrosos.
- Manifiesto de entrega, transporte y recepción de residuos peligrosos.
- Manifiesto para casos de derrame de residuos peligrosos por accidente.
- Reporte semestral de residuos peligrosos recibidos para reciclaje o tratamiento.
- Reporte mensual de residuos peligrosos confinados en sitios de disposición final.
- Reporte semestral de residuos peligrosos enviados para su reciclaje, tratamiento, incineración o confinamiento.
- Manifiesto para empresas generadoras eventuales de bifenilos policlorados.

Cuadro 5. NOM de la STPS, respecto a seguridad e higiene, salud y medio ambiente en el trabajo.

NOM-005- STPS-1998	Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas
NOM-006- STPS-2000	Manejo y almacenamiento de materiales-condiciones y procedimientos de seguridad
NOM-010- STPS-1999	Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral
NOM-018- STPS-2000	Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo

(Cervantes, 2002)

## 6.2 Definición y clasificación de Residuo Peligroso (RP)

### 6.2.1 Definición de RP

Al momento de querer definir un concepto casi siempre se entra en discusión para ponerse de acuerdo. Cada quién adopta el concepto de acuerdo al área de estudio, a la experiencia, al contexto mismo, a intereses económicos, etc. Como no es el propósito entrar en discusión sobre la definición de RP, a continuación se indican algunas definiciones de organizaciones internacionales y legislaciones de diferentes países; dentro de los países aún cuando existe la legislación ambiental cada dependencia que tiene ingerencia en los RP adopta diferente definición. De esa manera se pone en contexto la definición que actualmente México tiene adoptada.

#### A) Residuo

*Banco Mundial*. Todo objeto que puede movilizarse, que no tiene un uso directo y que es descartado permanentemente. Además se señala que todo residuo debe de recibir un tratamiento y

disposición adecuados para proteger al ambiente y fomentar una mejor calidad de vida; en estas circunstancias, por las características peligrosas de los residuos clasificados como tales, las regulaciones y controles técnicos deben ser más rigurosos que los que aplican a los residuos municipales (Cortinas, 2002b).

*EUA. Ley de Conservación y Recuperación de Recursos, 1976.* Cualquier basura, desecho, lodo de planta de tratamiento de aguas residuales, de plantas potabilizadoras de agua, de procesos de control de emisiones atmosféricas y cualquier otro material desechado, incluyendo materiales sólidos, líquidos, semisólidos o gaseosos que estén contenidos y resulten de operaciones industriales, comerciales, mineras y agrícolas, así como de actividades comunitarias; pero no comprende a los materiales sólidos o disueltos presentes en los drenajes domésticos, o que provengan del arrastre de aguas de irrigación o de descargas industriales que son fuentes puntuales sujetas a permisos bajo la sección 402 de la *Ley Federal de Control de la Contaminación del Agua*, ni materiales o subproductos nucleares como los define la *Ley de Energía Atómica* (Cortinas, 2002b).

*México. LGEEPA, 1988.* Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó (SEMARNAP, 1997).

*México. LGPGIR, 2003.* Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (DOF, 8/10/2003)

## **B) Residuo peligroso**

*Programa de la Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).* Significan residuos distintos de los radioactivos que debido a su reactividad química o características tóxicas, explosivas, corrosivas u otras, causan daño o es probable que causen daño a la salud o el ambiente, ya sea solos o cuando entran en contacto con otros residuos, y son legalmente definidos como peligrosos por los estados en los que se generan o en los cuales son dispuestos o a través de los cuales se transportan (Cortinas, 2002b).

*EUA. Agencia de Protección Ambiental (EPA).* Un residuo sólido o una combinación de residuos, los cuales, debido a su cantidad, concentración, características físicas, químicas o infecciosas, son capaces de causar o contribuir significativamente a incrementar la mortalidad o las enfermedades graves, irreversibles e incapacitantes al ser humano y representar un peligro significativo o potencial para la salud o el ambiente cuando se tratan, almacenan, transportan o eliminan inadecuadamente (Cortinas, 2002b).

*Brasil. Legislación Federal.* En su legislación, se definen los residuos en cuanto a su Categoría (origen) y también en cuanto a su Naturaleza: residuos de Clase I, II y III. Dentro de la clase I son los peligrosos siendo aquellos que en función de sus características intrínsecas de inflamabilidad, corrosividad, reactividad, toxicidad o patogenicidad presentan riesgos a la salud y al ambiente (Cortinas, 2002b).

*Panamá. Decreto Ejecutivo No. 111 del 23-6-99.* **Residuos químicos:** son aquellas sustancias o productos químicos con características de peligro como tóxicos, corrosivos, inflamables, reactivos, explosivos y citotóxicos. **Residuos farmacéuticos:** aquellos residuos que restan del empleo de las especialidades farmacéuticas y productos similares una vez vencidos, deteriorados, adulterados, que hayan perdido estabilidad (Cortinas, 2002b).

*México. LGEEPA, 1988.* Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente (SEMARNAT, 1997).

*México. LGPGIR, 2003.* Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta ley (DOF, 8/10/2003).

*México. SCT, 1993. Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.* Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, tóxicas, venenosas, reactivas, explosivas, inflamables, biológicas infecciosas o irritantes, representan un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente (DOF, 7/04/1993).

### C) Material peligroso

México. *LGEEPA*, 1988. Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezcla de ellos que, independientemente de su estado físico represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas (SEMARNAT, 1997).

México. *SCT. Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.*

**Material Peligroso.** Aquellas sustancias peligrosas, sus remanentes, sus envases, embalajes y demás componentes que conformen la carga que será transportada por las unidades. **Sustancia Peligrosa:** Todo aquel elemento, compuesto, material o mezcla de ellos que independientemente de su estado físico, represente un riesgo potencial para la salud, el ambiente, la seguridad de los usuarios y la propiedad de terceros, también se consideran bajo esta definición los agentes biológicos causantes de enfermedades (DOF, 7/04/1993).

### 6.2.2 Clasificación de RP

Para abordar el problema derivado de la generación de RP se debe de partir de su clasificación. Dependiendo del objetivo que se persiga y el país de que se trate se pueden realizar diferentes tipos de clasificaciones. En México se clasifican los RP de acuerdo a sus características de Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad y Biológico-infeccioso (CRETIB) de acuerdo a la NOM-052-SEMARNAT-1993 (DOF, 22/10/1993).

No obstante, a continuación se exponen, algunos tipos de clasificación poniendo de manifiesto que la generación de los RP es de diversa índole. La clasificación más general que se puede hacer es por sector: Industrial y Servicio (Rivero, *et al*, 1997)

Una clasificación es dependiendo de su origen (López y De Haro, 2000):

1. Doméstico
2. Comercial
3. Institucional
4. Construcción y demolición
5. Servicios municipales
6. Zonas de plantas de tratamientos

7. Industrial

8. Agrícola

Para el reciclaje, tratamiento y disposición adecuada de los RP (Cuadro 6) es útil recurrir a clasificaciones que permitan distinguir a éstos de acuerdo con criterios como (Cortinas, 2002b):

- La forma o fase en la que se encuentran (sólida, líquida o gaseosa)
- Su carácter orgánico o inorgánico
- Su categoría química (disolventes, aceites lubricantes o metales pesados)
- Sus componentes peligrosos que incidan en su tratamiento (presencia de cromo hexavalente).

Sánchez (2003) hace una revisión de tipos de clasificaciones de los RP: con respecto a sus características fisicoquímicas; sus posibilidades de aprovechamiento (fines comerciales); por tipo de residuo; por corriente específica de materiales; atributos relacionados con la afección de la salud pública (carcinogenicidad, teratogenicidad, mutagenicidad, bioacumulación) y en función de su naturaleza química (covalentes, iónicos, metales).

De acuerdo con el marco regulatorio ambiental federal que aplica en la actualidad, se cuenta con la NOM-052-SEMARNAT-1993, plantea que, además de las características CRETIB, se toman de base para determinar la peligrosidad de los residuos y que éstos se encuentren comprendidos en los listados que se incluyen en sus anexos y que permiten su clasificación de acuerdo con su origen o composición, tal y como sigue:

- Giro industrial y proceso (Anexo 2 de la NOM-052-SEMARNAT-1993). Clave INE: **RP**
- Fuente no específica (Anexo 3 de la NOM-052-SEMARNAT-1993). Clave INE: **RPNE**
- Materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas (Anexo 4 de la NOM-052-SEMARNAT-1993). Clave INE: **RPP**
- Residuos y bolsas o envases de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas (Anexo 4 de la NOM-052-SEMARNAT-1993). Clave INE: **RPE**

Cuadro 6. Ejemplo de clasificación de los RP para orientar su manejo.

Clase	Características	Ejemplos
Residuos acuosos inorgánicos	Residuos líquidos compuestos principalmente por agua mezclada con ácidos o álcalis y/o soluciones concentradas de sustancias inorgánicas (como metales pesados o cianuro)	Ácido sulfúrico de galvanización Baños cáusticos del acabado de metales Reactivos amoniacales generados en la fabricación de componentes electrónicos Agua de aclarado de electroplastia Concentrados de hidrometalurgia
Residuos acuosos orgánicos	Residuos líquidos compuestos principalmente por agua con una mezcla o concentración diluida de compuestos orgánicos tóxicos (como plaguicidas)	Agua del aclarado de depósitos de plaguicidas Lavado de reactores químicos y depósitos
Líquidos orgánicos	Residuos líquidos compuestos por una mezcla o solución concentrada de compuestos orgánicos tóxicos	Disolventes halogenados provenientes del desengrasamiento y de la limpieza en seco Residuos de destilación de la elaboración de productos intermediarios químicos
Aceites	Residuos líquidos compuestos principalmente por aceites derivados del petróleo	Aceites lubricantes usados en motores de combustión interna Aceites hidráulicos y de turbina usados en operaciones con equipos pesados Aceites lubricantes para cuchillas usados en la lubricación de maquinaria Aceites combustibles contaminados
Lodos y sólidos inorgánicos	Lodos, polvos, sólidos u otros residuos mezclados con sustancias inorgánicas peligrosas	Lodos de tratamientos de aguas residuales provenientes del proceso de baño de mercurio para la producción de cloro Polvo de control de emisiones en fábricas de acero y fundiciones Arenas agotadas para operaciones de coquificación Lodos de cal para operaciones de coquificación Polvos del desbarbado de partes de cromo para la industria del metal
Lodos y sólidos orgánicos	Alquitranes, lodos, sólidos u otros residuos no líquidos mezclados con sustancias orgánicas peligrosas	Lodos de operaciones de pintura Residuos de alquitrán de la fabricación de productos colorantes intermedios Torta de filtro agotada para la fabricación de fármacos Alquitranes residuales de destilación procedentes de la producción de fenoles Suelos contaminados con disolventes Sólidos residuales de emulsión aceitosa

(Cortinas, 2002b)

### 6.2.3 Generación de RP en el mundo

Aún cuando no se cuenta con inventarios precisos al respecto, se calcula que en el mundo se generan anualmente alrededor de 350 a 400 millones de ton de RP (Cortinas y Vega, 1993). En los años 90s, para los 29 países que integran la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE) se estimó en 115 millones de ton/año (Cuadro 7). Una gran parte de ellos

proviene de industrias que contribuyen en forma importante con la economía de las sociedades industriales. La peligrosidad de tales residuos depende de su composición, ya que en la mayor parte de los casos se trata de mezclas complejas que contienen diversos tipos de sustancias.

Se han identificado en el mundo más de 12 millones de sustancias químicas; de las cuales en el comercio existen más de 100 mil; para 8 mil se cuenta con información acerca de sus propiedades fisicoquímicas, su toxicidad y biodegradabilidad, aspectos que definen su peligrosidad para la salud humana y el ambiente y que requieren de señalamientos de riesgo y de seguridad en el etiquetado de los recipientes que los contienen; unas 3 mil se producen en altos volúmenes (más de una tonelada anual en más de un país). El PNUMA ha elaborado una lista de cerca de 600 sustancias que han sido prohibidas, restringidas, no autorizadas o retiradas del comercio en diferentes países, de las cuales alrededor de 15 son objeto de control internacional a través del procedimiento de información y consentimiento previo PIC por sus siglas en inglés (Cervantes, 2002).

Cuadro 7. Estimación de RP generados en países de la OCDE.

País	Generación (Millones ton/año)
Países del pacífico	1
Otros países europeos	12
Países asiáticos	15.5
Unión Europea	31
Norteamérica	55.5

(Santos, 2003)

#### 6.2.4 Generación de RP en México

Dentro del proceso de planeación para la determinación de programas efectivos para el manejo integral de los RP, es de vital importancia contar con un inventario de generación. En este rubro se han llevado a cabo acciones aisladas y con diferentes metodologías (INE, 1994).

Los esfuerzos que se han llevado a cabo para construir inventarios de generación de RP, enfrentan limitaciones importantes, como son: se basan en factores de generación estimados en otros países; se aplican en su mayor parte con referencia al número de empleados por empresa; es poco el trabajo de validación en campo; se requiere un ejercicio de amplia cobertura sectorial y

regional para obtener factores de generación más realistas acordes con las condiciones tecnológicas específicas de la industria mexicana; todos los estudios son parciales en la medida que sólo aplican a sectores o regiones específicos; tienen importantes limitaciones metodológicas que no permiten su generalización. El Instituto Nacional de Ecología (INE) hace una recopilación de estimaciones en diferentes años (Cuadro 8), en donde se pone de manifiesto el incremento de la generación de los RP (INE, 1998).

Cuadro 8. Generación de RP a nivel nacional.

AÑO	Generación (millones ton/año)
1990	5.2
1994	8.0
1997	12.5

(INE, 1998)

En 1988 se hizo obligatorio informar la generación de RP a la autoridad ambiental (DOF, 25/11/1988) y el INE en 1989 da a conocer los formatos en los que la industria nacional debe declarar el volumen y tipo de generación de RP, conformando los procedimientos administrativos de control y gestión ambiental; desde 1989 al 2001 el INE ha realizado acciones conjuntas con las delegaciones de la SEMARNAT consolidando y actualizando el inventario de generadores de RP, que sin duda, contribuyen a la construcción y validación de inventarios confiables; lo que dió como resultado el registro de 27,280 empresas (industrias, comercios y de servicios) con un volumen anual de generación de 3,705,846.21 toneladas (Cuadro 9); desconociéndose el tamaño del universo de generadores que faltan por registrar, quedando por determinar también, cuál es el volumen de RP que falta por manifestar. Sin embargo, se estima que el universo potencial es mayor a 100 mil empresas generadoras (INE, 2000; SEMARNAT, 2003). Si bien estos datos son confiables, aún se identifican fallas en el llenado de manifiestos y reportes, así como en el cálculo de las cantidades o volúmenes generados, al igual que en la transformación de las distintas unidades de medida en las que se reportan dichos datos para expresarlas en toneladas (Mosler, 2002).

Comparando a México con los países industrializados, en donde entre el 2 y 10% corresponde a grandes generadores y que generan más del 90% de los RP, entonces quienes faltan de registrarse en el país son los pequeños y microgeneradores.

Cuadro 9. Número de empresas que manifiestan la generación de RP por entidad Federativa.

Estado	Número de empresas	Generación (ton/año)
Aguascalientes	608	9,554.77
Baja California	2,359	33,523.00
Baja California Sur	124	107.50
Campeche	183	58,501.91
Coahuila	1,020	2,359.34
Colima	254	1,697.73
Chiapas	527	939.20
Chihuahua	2,224	3,862.50
Distrito federal	3,955	624,995.00
Durango	272	976.57
Estado de México	4,429	233,640.00
Guanajuato	1,181	1,148,550.35
Guerrero	255	1,282.52
Hidalgo	916	392,843.47
Jalisco	1,686	4,722.72
Michoacán	223	233,680.58
Morelos	562	8,315.97
Nayarit	263	2,389.85
Nuevo León	1,143	253,079.48
Oaxaca	131	60,533.73
Puebla	480	11,200.00
Querétaro	507	13,878.91
Quintana Roo	278	48.68
San Luis Potosí	341	29,292.40
Sinaloa	220	6,332.07
Sonora	545	7,404.50
Tabasco	314	134,096.00
Tamaulipas	409	218,576.20
Tlaxcala	550	52,275.40
Veracruz	478	152,862.26
Yucatán	659	2,441.16
Zacatecas	184	1,882.45
Total	27,280	3,705,846.21

(INE, 2000)

### 6.2.5 Impactos desastrosos de RP a la salud y el ambiente

Las implicaciones de la disposición inadecuada de los RP para la salud y el bienestar público, así como para el ambiente, han quedado ampliamente evidenciadas por sucesos que pusieron de relieve que es más costoso remediar que prevenir. Tal es el caso de los episodios de intoxicación por mercurio y cadmio acaecidos en Japón (Cortinas y Vega, 1993), en los que grupos de

individuos ingirieron alimentos contaminados con residuos industriales y mineros sufrieron graves problemas de salud que llevaron a algunos a la muerte (Cuadro 10).

Cuadro 10. Exposición de poblaciones humanas a metales por la disposición inadecuada de residuos industriales.

Año	Lugar	Causa	Metal	Consecuencias
1953	Japón	Descarga de Hg en la Bahía de Minamata	Metilmercurio	En 83 adultos y 40 recién nacidos de la población que ingirió pescado contaminado se desarrolló una intoxicación crónica (por Hg) que afectó principalmente su sistema nervioso central.
1960	Japón	Descarga de Pb, Zn y Cd en un río cercano	Pb, Zn, Cd	La población que utilizaba el agua para bebida e irrigación desarrolló una intoxicación crónica por Cd (enfermedad de Itai-Itai).

(Ortiz, *et al*, 1987)

También son conocidos los impactos económicos que ocasionó la evacuación e indemnización de residentes de dos comunidades asentadas en áreas en las que se construyeron y abandonaron entierros de residuos químicos industriales (Cortinas y Vega, 1993). En Love Canal, Nueva York, EU, el presupuesto asignado por el gobierno para la limpieza del lugar ascendió aproximadamente a 500 millones de dólares; mientras que en Lekkekerk, Países Bajos, se estima que se gastaron cerca de 70 millones de dólares para limpiar el sitio afectado (Cuadro 11).

Dichos sucesos fueron ampliamente difundidos por los medios de comunicación y, junto con los accidentes químicos acaecidos en Seveso, Italia y Bophal, India, contribuyeron a desarrollar una actitud negativa por parte de las comunidades hacia el establecimiento y operación de instalaciones peligrosas en sus localidades (Cuadro 12).

Un problema adicional y de amplias repercusiones fue el descubrimiento en Francia, de RP provenientes de la limpieza del sitio en el que ocurrió el accidente químico en Seveso, Italia. Asimismo, causaron impacto las noticias divulgadas por los periódicos acerca de barcos que zarparon de Estados Unidos y de Europa, buscando desembarcar RP en países en desarrollo, y tuvieron que retornar su carga al lugar de origen ante el rechazo generalizado de los países con los que habían establecido contacto para solicitar su admisión en su territorio.

Cuadro 11. Ejemplos de exposición de poblaciones a confinamientos no controlados de residuos industriales.

Periodo de operación	Sitio	Residuos	Año del estudio	Hallazgos en la población expuesta
1920-1953	Love Canal, New York, E.U.	Compuestos Orgánicos, principalmente organoclorados	1978	Bajo peso al nacer y menor desarrollo físico
1940-1977	New Bedford, Massachusetts, E.U.	Bifenilos policlorados (BPC)	1983	Niveles sanguíneos de BPC que son cancerígenos
1947-1971	Triana, Alabama, E.U.	Plaguicidas	1983	Hipertensión arterial
1964-1972	Hardeman County, Tennessee, E.U.	Tetracloruro de carbono Hexacloro Pentadieno Hexacloro Heptadieno	1978	Lesiones hepáticas transitorias
1970-1976	Lekkekerk, Países Bajos	Solventes orgánicos, metales	1980	Niveles sanguíneos de hidrocarburos aromáticos

(Ortiz, *et al*, 1987)

Cuadro 12. Los accidentes químicos más publicitados.

Año	Lugar	Sustancias involucradas	Consecuencias
1977	Seveso, Italia. Un accidente en una fábrica de productos químicos de Suisse Roche libera una nube tóxica.	Dioxinas	193 personas con efectos adversos en la piel (cloroacné) 733 personas evacuadas. 100000 animales muertos.
1984 *	México: Una nube tóxica en un centro de almacenamiento de gas	Gas natural	Deja un saldo de 500 muertos y 7000 heridos.
1984	Bophal, India. Un escape de gases tóxicos en la fábrica estadounidense de insecticidas Union Carbide	Isocianato de metilo	2000 muertes; 10000 personas con efectos agudos; 100000 personas afectadas en su bienestar.
1986	Basilea, Suiza.	Plaguicidas, mercurio, etc.	Contaminación del río Rhín

(Ortiz, *et al*, 1987), \* (Martínez, 2002)

### 6.2.6 Sitios contaminados y pasivos ambientales de RP en México

La falta de infraestructura de servicios para el manejo ambientalmente seguro de los RP, asociada a conductas irresponsables, ha traído consigo que gran cantidad de estos residuos se viertan al drenaje, en barrancas, en tiraderos de basura a cielo abierto o se encuentran en condiciones inapropiadas en empresas que están operando e incluso en instalaciones industriales o de servicios abandonados.

En el Cuadro 13 se describe cuales son los principales RP que la PROFEPA ha encontrado en los sitios en los que han sido abandonados. Mientras que en el Cuadro 14 se mencionan los casos recabados por el INE (Kreiner, 2002b).

Cuadro 13. Sitios ilegales con RP según reportes de la PROFEPA.

Estado	Número de sitios	Principales residuos
Baja California	8	Solventes, metales pesados, polvo de fundición, aceites
Baja California Sur	2	Jales, escoria de fundición
Campeche	4	Aceite quemado, residuos biológico-infeccioso, lodos de perforación
Chiapas	17	Plaguicidas, hidrocarburos, residuos hospitalarios, solventes
Chihuahua	13	Hidrocarburos, compuestos químicos, aceites gastados
Coahuila	15	Metales pesados, jales, aceite residual, hidrocarburos, biológico-infecciosos, compuestos químicos caducos
Durango	3	Hidrocarburos, insecticidas
Estado de México	10	Escorias de fundición, biológico-infecciosos, compuestos químicos, lubricantes gastados
Guanajuato	10	Aceites, metales pesados, compuestos organoclorados, lodos, escorias de fundición, aceites gastados
Hidalgo	6	Escorias de fundición, natas de pintura
Jalisco	7	Tierras de blanqueo, tetracloroetileno, lodos, residuos de baterías, tierra contaminada con diesel y combustible
Morelos	1	Tambores metálicos vacíos y llenos sin identificación
Nayarit	5	Residuos hospitalarios, jales, hidrocarburos
Nuevo León	22	Escoria de fundición, aluminio, plomo, cadmio, níquel, aceite, cianuros, hidrocarburos
Oaxaca	1	Industriales peligrosos
San Luis Potosí	10	Residuos hospitalarios, asbesto, escoria de fundición, níquel, lodos, botes de pintura
Sinaloa	4	Envases de agroquímicos
Tamaulipas	8	Escoria de fundición, aceites, arena sílica, fenoles, compuestos químicos caducos, recipientes vacíos
Veracruz	8	Biológico-infecciosos, azufre
Zacatecas	9	Jales, metales pesados, reactivos químicos caducos
Total	166	

(Kreiner, 2002b)

Cuadro 14. Relación de sitios afectados por disposición inadecuada de RP.

Ubicación		Tipo de contaminante abandonados
Municipio o Delegación	Estado	
Azcapotzalco	Distrito Federal	Hidrocarburos, metales pesados y BPC
Tijuana	Baja California	Plomo
Saltillo	Coahuila	Diesel
Tultitlán	México	Ácido fosfórico, Hexametáfosfato, Tripolifosfato, Carbonato de sodio
San Francisco del Rincón	Guanajuato	Cromo
Salamanca	Guanajuato	Compuestos agroquímicos y Azufre contaminado con agroquímicos. Residuos conteniendo Ácido sulfúrico
Tula	Hidalgo	Catalizadores gastados (metales pesados)
Guadalajara	Jalisco	Hidrocarburos
Santa Catarina	Nuevo León	Combustóleo
San Luis Potosí	San Luis Potosí	Plomo y Arsénico
Coatzacoalcos	Veracruz	Plomo
Coatzacoalcos	Veracruz	Azufre líquido, aceites, solventes y lodos con Cromo
Tultitlán	México	Cromo
Miguel Hidalgo	Distrito Federal	Hidrocarburos totales del petróleo, solventes y metales pesados
Ecatepec	México	Hidrocarburos totales del petróleo y metales pesados
Coatzacoalcos	Veracruz	Fosfoyeso
Progreso	Yucatán	Gasolina y diesel
Cumobabi	Sonora	Plomo y Cadmio
San Luis Potosí	San Luis Potosí	Plomo
Monterrey	Nuevo León	Plomo

(Kreiner, 2002b)

### 6.2.7 Casos actuales documentados por medios impresos no oficiales

A continuación se narran una serie de casos documentados en publicaciones no oficiales, en los cuales, se denuncia que algunos RP han sido manejados inadecuadamente provocando daños al ambiente y poniendo en riesgo la salud de la población.

#### 1. El Universal (Saldaña, 2000).

Al año se generan en el DF 600,000 ton de residuos tóxicos, de estos poco más de 322,000 ton de residuos tóxicos no reciben el adecuado control para su disposición final, terminando en tiraderos clandestinos y el drenaje, causando daños al subsuelo capitalino y pone en serio riesgo la salud de la población, pues no hay las medidas de seguridad indispensables para evitar el contacto con estos materiales peligrosos.

Hay poco más de 30 mil industrias y 12 mil establecimientos de servicios en la Zona Metropolitana del Valle de México, de los cuales 250 manejan RP y 47 mil realizan procesos de

combustión, no obstante, aún no se dispone de un área que funcione como depósito final de estos desechos. Del total de dichas industrias y establecimientos, 55% corresponden al DF y 45% al Estado de México. Los giros industriales que generan mayor cantidad de residuos tóxicos están en el área de química, metalmecánica, fundidora, textiles y de impresión.

## 2. El Universal (García, 2000).

En Jalapa, Veracruz, hay 7 contenedores y 600 tambos que contienen RP de askarel, provenientes de la planta nucleoelectrica de Laguna Verde, almacenados en una bodega de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en Perote, serán reubicados a una planta especial en el estado de Nuevo León, aseguró la regidora de aquel ayuntamiento, Dulce Ma. Vázquez Serrano.

Relató que la CFE tiene en su contra, dos denuncias por las severas irregularidades que ha cometido en el tratamiento de los residuos tóxicos, las cuales fueron interpuestas ante la PROFEPA y se turnaron al expediente acumulado 001/004/D1/30 de la Dirección de Denuncias y Quejas. Remarcó que la empresa argumenta que el askarel es manejado bajo las estrictas normas internacionales de seguridad y que no existe ningún riesgo de contaminación del entorno ecológico ni de los mantos acuíferos, pero está en desacuerdo con esta opinión porque las instalaciones estaban abandonadas sin ninguna protección, desde el año pasado y entre la población se han registrado enfermedades epidemiológicas.

En tanto, ejidatarios de las comunidades de Cerrito Chato, Cerro Colorado y Gpe. Victoria de aquel municipio se inconformaron con la CFE, y el propio gobierno del estado porque esta región se está ocupando como “un cementerio nuclear” sin que se informe de los pormenores a la población. Denunciaron los campesinos que a finales del año pasado encontraron una docena de tambos de color rojo, los cuales despedían un olor fuerte y arrojaban una sustancia gelatinosa, entre verde y amarilla, que al intentar moverlos les provocaron un ardor en los ojos.

## 3. Reforma (Muñiz, 2002).

Genera PEMEX tiraderos ilegales. Arrojan RP en Tamaulipas. Tiene la paraestatal unas 15 fosas al aire libre en los municipios de Reynosa, Camargo y Díaz Ordaz, según la PROFEPA estas áreas son dañadas con 7700 ton de lodos aceitosos. 7000 ton afectan a Reynosa y 700 ton afectan a los municipios de Camargo y Díaz Ordaz.

4. El Universal (Roldan, 2002).

Desechos médicos, químicos y de imprenta (los cuales están considerados peligrosos para la salud humana) fueron semienterrados en tres fosas que *exprofeso* se cavaron para tal fin, en el rancho Xanjay, perteneciente a la comunidad de Tlapalanoya, Tepeji del Río, Hgo. La PROFEPA, al realizar la inspección del lugar, encontró casi a cielo abierto, jeringas, tubos de sangre, guantes latex y medicamentos, así como aceite quemado automotriz y estopas impregnadas con tintas para impresión. Funcionario de la PROFEPA, aseveró que los responsables se harían acreedores a una multa de hasta 50 mil días de salario mínimo, además de otras sanciones previstas por la federación y el Estado de Hidalgo. Este estado como es sabido, fue objeto recientemente de la atención nacional e internacional, al ser robadas en su territorio casi 8 toneladas de cianuro, que finalmente fueron encontrados en los límites con Puebla, sin que por fortuna causaran problemas mayores a la población.

5. Reforma (Peralta,2002).

La empresa Gama Servicios, abandonó en calles del Fraccionamiento Prismas, Pachuca, Hidalgo, 3 contenedores con la leyenda “Peligro, transporta material radiactivo. No permanezca innecesariamente cerca de esta unidad”. Los contenedores, que exhiben el símbolo internacional de radiactividad, fueron inspeccionados por autoridades de la PROFEPA y la SEMARNAT que, aunque determinaron que no contenían material radiactivo, reportaron fuertes olores en ellos.

### **6.3 Experiencias de la gestión de RP en instituciones educativas**

#### **6.3.1 Aspectos legales**

La LGEEPA publicada en 1988, no distinguía entre micro, pequeños y grandes generadores de RP, por lo que en sentido estricto todos los mexicanos prácticamente eran generadores de RP, (López y De Haro, 2000; Rosas y Gutiérrez, 2000; Cortinas, 2001), en la medida en que consuman productos que contienen materiales peligrosos o que los utilicen como insumos de procesos productivos industriales, comerciales o de servicios (Mosler, 2002).

Actualmente la LGPGIR (DOF, 8/10/2003), señala con tres categorías a los generadores de RP:

**Gran generador:** Persona física o moral que genere una cantidad igual o superior a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

**Pequeño generador:** Persona física o moral que genere una cantidad igual o mayor a 400 kilogramos y menor a 10 toneladas en peso bruto total de residuos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

**Microgenerador:** Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta 400 kilogramos de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida.

### 6.3.2 Seguridad y residuos en los laboratorios

Todos los manuales de química experimental presentan un apartado de medidas de seguridad. Antes de la década de los 90s, en estos manuales se dejaba a un lado el manejo adecuado de los residuos en general (Dodd y Robinson, 1965); o bien se leían indicaciones como:

- “Deshacerse de la solución, tal como lo indique el profesor”

- “Tírese la solución resultante”

(Davis y MacNab, 1975). Otras indicaciones eran de no arrojar sólidos en los lavabos a menos que estén pulverizados y sean fácilmente arrastrados o solubles en agua (Davis y MacNab, 1975; Ferguson, *et al*, 1975 y Domínguez, 1990). Para desechar los ácidos se indicaba –“Tirar la solución ácida en el fregadero del laboratorio”- (Davis y MacNab, 1975); o también –“... el  $\text{HNO}_3$ , lo mismo que otros ácidos, corroe las tuberías, por lo que antes de verterse, deberá diluirse. Conviene siempre mantener abierta la llave del lavabo cuando se vierta un líquido”- (Domínguez, 1990).

Desde la década de los 90s se ha hecho cada vez más énfasis en el manejo responsable de los residuos generados en los laboratorios de enseñanza e investigación, con indicaciones como:

-“La basura que se generan en los laboratorios debería tratarse en forma separada y entrenarse al personal encargado”- (Kravzov y Altagracia, 1991). –“Siempre que sea posible se habilitarán depósitos de residuos donde verter los resultados de los experimentos, con el fin de desactivar químicamente las sustancias”- (Zarco, 1990).

A finales de la década de los 90s se empezó a crear conciencia sobre la necesidad del manejo responsable de los residuos en los centros educativos. Actualmente, el enfoque educativo de las ciencias experimentales involucra el manejo ambientalmente seguro de los residuos que se generan en los laboratorios (Morales y Jiménez, 1993; López, *et al*, 1995; Santos, *et al*, 1996; Limón, *et al*, 1996; Torres, *et al*, 1996; Nuño, *et al*, 1996; Chávez, *et al*, 1996; González y Montiel, 1996; Flores y Caballero, 1996; Bazúa-Durán, 1996; Bravo, *et al*, 1996; Cabañas y Alcocer, 1997; Mercader, 1998; Messera, *et al*, 1998; UNAM, 1999; Torres y Castrellón, 2000; Gómez y Franco 2001; Ávila, *et al*, 2001; Durán, 2002; Santos y Gavilán, 2002a; Santos y Gavilán, 2002b).

### 6.3.3 Diferentes tipos de laboratorios

#### A) De enseñanza media y media superior

En estos dos niveles los cursos experimentales cubren aspectos muy elementales de las diferentes ciencias (biología, química y física) y la actividad experimental utiliza sustancias químicas, en la mayoría de los casos de uso común y baja peligrosidad. Los laboratorios de química del nivel medio superior enfrentan el problema de introducir a jóvenes con muy poca experiencia a la cultura del trabajo en el laboratorio, incluyendo desde luego el manejo de algunos Materiales Peligrosos (MP). Ciertos estudiantes llegan con una buena preparación de sus cursos de educación media, sin embargo otros pueden llegar con una actitud temerosa y otros quimiofóbica, presentando renuencia al uso de las sustancias químicas de cualquier tipo. Los estudiantes deben de aprender a evaluar el amplio rango de riesgos en el laboratorio y las técnicas mediante las cuales se pueden reducir y controlar los riesgos potenciales. Los primeros experimentos de química deberían cubrir los puntos esenciales para manejar las propiedades riesgosas de las sustancias químicas (inflamabilidad, corrosividad, explosividad, reactividad y toxicidad) como introducción a la seguridad del laboratorio. Los cursos avanzados de química en el nivel medio superior deben de asumir la responsabilidad de desarrollar actitudes responsables sobre la seguridad y el control de la contaminación, las cuales se transformarán en hábitos en los cursos en el nivel superior. En general se estima que este tipo de instituciones genera pocos residuos (por debajo de 100 Kg/mes) y de baja peligrosidad relativa (Santos y Gavilán, 2002a).

## B) De enseñanza superior.

En las instituciones universitarias, la responsabilidad de la enseñanza y supervisión de las actividades de laboratorios se asigna a los profesores de laboratorio, los cuales dada su formación previa “clásica” en ocasiones no están familiarizados con las prácticas seguras en el laboratorio y con los conceptos de material peligroso, residuo y residuo peligroso y menos aún con su manejo adecuado, así el primer reto es que desarrollen nuevas actitudes y hábitos casi al mismo tiempo que deben de transmitirlo a sus estudiantes.

La impartición de un buen entrenamiento práctico de los estudiantes en los laboratorios puede requerir de mayor demanda de recursos (sustancias químicas), sobre todo cuando se trata de seguir los modelos de los países desarrollados, así como mayor atención por parte de los profesores en lo relativo a la generación y clasificación de los residuos para poder manejarlos en forma responsable.

La actividad práctica a este nivel por lo general se programa de manera sistemática por acuerdos colegiados y/o académicos-administrativos (semestral o anual) de tal manera que los experimentos realizados han sido diseñados para que los estudiantes los realicen sin dificultad por lo que se puede conocer con precisión la transformación química, física o biológica a desarrollar así como la cantidad y tipo de residuos generados. Por estas razones, se pueden crear sistemas eficientes de gestión ambiental si así lo desean para dar un manejo y disposición adecuados para todos los residuos que se generen.

Es importante hacer notar que existen una gran variedad de instituciones (públicas o privadas), que difieren tanto por su infraestructura, recursos materiales y humanos disponibles y por la cantidad y calidad de la población estudiantil, sobre todo en aquellas en donde se imparten licenciaturas orientadas a las ciencias biológicas, químicas, físicas, de la ingeniería, etc. Estos factores son determinantes en la generación de RP tanto en composición como en cantidad que oscilan entre los 100-1000 Kg/mes (Santos y Gavilán, 2002a).

## C) De investigación académica.

Además de generar estudiantes bien preparados, las instituciones universitarias tienen la responsabilidad de generar nuevos conocimientos mediante programas de investigación, los cuales implican generalmente riesgos impredecibles. A diferencia de los cursos de laboratorio, en

donde el entrenamiento se obtiene de la repetición de procedimientos bien establecidos y perfeccionados durante varios años de experiencia, la investigación involucra la producción de nuevos materiales mediante métodos novedosos, lo cual implica la creación de nuevas sustancias o seres vivos o productos que representen riesgos desconocidos. En la investigación la responsabilidad de crear la cultura del cuidado del ambiente debe recaer en el investigador responsable de los estudiantes, quien los está formando como nuevos investigadores. Los estudiantes pueden tener una gama completa en cuanto a su preparación para encarar los diferentes riesgos que involucra el trabajo de investigación experimental, y deben a la brevedad posible estar conscientes que la responsabilidad del manejo adecuado de los residuos la tiene el generador.

Aunque los investigadores principales y los directores de proyectos son legalmente responsables del mantenimiento de la seguridad en los laboratorios a su cargo, los grupos de investigación académica bien organizados desarrollan estructuras jerárquicas que pueden ser muy efectivas en la implementación de programas integrales de gestión ambiental. Cuando el investigador principal demuestra una preocupación verdadera por el cuidado del ambiente y manejo adecuado de los residuos, se desarrollan e implementan los programas de gestión ambiental. Sin embargo, si el investigador principal muestra una actitud desinteresada hacia el cuidado de la salud y el ambiente, se tomaran actitudes descuidadas en la totalidad del grupo, llegándose por lo general a condiciones inseguras propicias para accidentes que pudieran llegar a litigios costosos y por lo general poco justos y a veces a daños irreparables originados por un manejo inadecuado de los residuos en particular y de los productos químicos en general.

En las instituciones dedicadas a la investigación, la generación de residuos depende de mas factores que los involucrados en la generación de residuos de las instituciones de enseñanza, debido a que en la investigación se realizan actividades que varían de proyecto en proyecto, generando con esto residuos de características y volúmenes únicos para cada tipo de proyecto, en cada una de las etapas del mismo y durante el tiempo que éste tenga de duración, siendo difícil el establecimiento de patrones de generación. Aunado a esto, el desarrollo tecnológico hace más compleja esta situación, pues aún en proyectos similares realizados en diferente tiempo, la aplicación de nuevas metodologías y equipos harán que los residuos sean totalmente diferentes. Lo anterior implica el diseño específico, continuo, para cada residuo que se genere (Santos y Gavilán, 2002a).

### 6.3.4 Experiencias de la gestión de RP en instituciones educativas

#### 6.3.4.1 Internacional

##### 1) Argentina

*Universidad Nacional de Río Cuarto. Facultad de Ingeniería (UNRC-FI). Departamento de Tecnología Química. Equipo Interdisciplinario de Proyectos Ambientales (EIPA).*

Este trabajo se presentó en 1998. Inicialmente se plantearon dar solución a la problemática de los RP. Para ello realizaron una caracterización de la situación actual y se propuso una Gestión Integral de RP. Concluyeron que:

1. Se detectó que hay áreas inadecuadas de almacenamiento; carencia de control global; inexistencia o inadecuación de programas de etiquetado de sustancias almacenadas y de planes de emergencia, prevención o control de vertidos; análisis incompletos de aguas residuales.
2. La Facultad de Ciencias Exactas, es la mayor productora de todo tipo de RP, los desechos de mayor producción relativa son los inflamables, considerando el volumen de los mismos, los infecciosos se hallan en primer lugar.
3. Del análisis de riesgo, la mayor cantidad de accidentes ocurrieron en las Facultades de Ciencias Exactas, Agronomía y Veterinaria, la mayoría de los accidentes están relacionados a aspectos de seguridad general y manejo inapropiado de instrumental y de residuos tóxicos.

Finalmente propusieron el Modelo General de Gestión y con los Modelos particulares para Residuos inflamables e infecciosos establecieron un marco para el fomento de la aplicación de técnicas y procedimientos adecuados para la minimización, y asegurar que se elija la ruta correcta desde la generación (clasificación, recuperación y tratamiento) hasta su eliminación en instalaciones y condiciones adecuadas.

Con lo anterior pretendieron: crear de una manera sistemática la caracterización de la situación en el sitio de estudio; optimizar la capacidad de investigación y desarrollo; lograr la concientización y educación de toda la comunidad universitaria y propusieron la creación de una secretaría vinculada a la temática ambiental (Messera *et al*, 1998).

Del diagnóstico se observa que detectaron los aspectos críticos del problema de residuos, se comenta que se propone un programa general de gestión y particulares para algunos RP. De acuerdo a comentarios de Reartes (2003), actualmente directora de EIPA, no se siguió investigando en el tema y también no se puso en marcha lo propuesto (Com. Per).

## 2) España

*Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). Oficina de Gestión de Residuos (OGR).*

Dentro de la legislación española las universidades y demás centros de investigación y docencia están consideradas legalmente como "pequeños productores de Residuos Tóxicos Peligrosos (RTP)", ya que producen cantidades inferiores a 10,000 Kg/año (Real Decreto 833/1988, Ley 20/1986).

La OGR se creó para lograr el mejor tratamiento y la gestión de los RTP generados. Al iniciarse el programa en 1993 la OGR encontró diferentes problemáticas como las siguientes:

1. Que no cuenta con personal ni dotación económica suficiente para gestionar, de forma completa, los RTP que genera la universidad.
2. Falta de mentalización entre el personal investigador-docente, lo que se traduce en una escasa colaboración.

Las principales líneas de actuación que siguieron fueron:

1. Construcción de búnkers en los edificios de Veterinaria, Ciencias de la Salud e Ingenierías, de manera que cada uno de estos edificios se daría de alta de forma independiente como pequeño productor de residuos, en donde se depositarían los residuos generados, durante un periodo no superior a 6 meses, con una persona responsable, deberá contar con un reglamento interno de funcionamiento.
2. Elaborar un manual con las medidas de minimización, segregación e incluso tratamiento *in situ* de los RTP. Además, este manual debería recoger las hojas de seguridad de todos los productos que se compran en la ULPGC.

3. Determinar la vía de financiamiento de los gastos ocasionados por la gestión de los RTP.
4. Creación de un Laboratorio de Tratamiento de Residuos dependiente de la oficina, en el que se puedan realizar prácticas de gestión, tales como neutralización, destrucción o inactivación, reducción de volúmenes de los residuos líquidos, etc.

Según Herrera (2003) con respecto a los RP se han hecho básicamente dos cosas (Com. Per.):

1<sup>a</sup> Recolección selectiva y almacenamiento temporal en búnkeres y en los propios laboratorios. Lo más práctico ha sido el almacenamiento en el mismo lugar donde se producen los residuos, a no ser que se trate de residuos peligrosos que sí se llevan al bunker. La ley indica que no se pueden almacenar más de 6 meses este tipo de residuos, por lo que 1 ó 2 veces al año un gestor autorizado se lleva los RP, es por contrato; y

2<sup>a</sup>. La investigación del uso de técnicas de oxidación convencionales y avanzadas de oxidación para la destrucción de residuos orgánicos disueltos o no en agua. Han publicado algún trabajo empleando los residuos de algunas prácticas de laboratorio para eliminarlas por fotocátalisis con Óxido de titanio (TiO<sub>2</sub>).

#### 6.3.4.2 Nacional

*1. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (UNAM-FESZ), Laboratorio de Contaminación y Centro de Acopio.*

En este laboratorio desde 1990 se desarrolló el **Plan para el manejo integral de los desechos**, en el que se contemplan dos fases, una con los desechos sólidos y otra con los desechos líquidos. Uno de sus objetivos fue la de establecer un modelo de manejo integral de los desechos para evitar la generación de basura y el impacto de sustancias químicas, tóxicas e inocuas en el drenaje de la FESZ.

Después de 5 años de iniciar el Plan, además de otros logros, se han recuperado las sustancias generadas en los diferentes laboratorios de las carreras de Ingeniería Química, Químico Farmacéutico Biólogo y Biología, para minimizar su toxicidad y se envían a confinamiento los residuos sin alternativa de tratamiento, evitando así que se viertan al drenaje.

También se separan y clasifican los residuos sólidos y líquidos desde su fuente de generación, aumentando el reciclaje, evitando el gasto de energía y utilizándolos como materia prima en otros procesos. Además, se pretende encontrar tecnologías alternativas para el aprovechamiento de algunos materiales que hasta el momento no son utilizados, los cuales son fuente de contaminación y deterioro ecológico (López, *et al*, 1995).

### *2. Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería Química (UADY-FIQ).*

En 1997 se realizó un estudio con el objeto de determinar las características y cantidades de los residuos que se generan en el “Laboratorio de Servicios a la Industria de la UADY-FIQ”, y en su caso proponer medidas de mitigación de la contaminación.

Se analizaron las bitácoras de las actividades del laboratorio y la metodología descrita para cada uno de los análisis y se encontró que se generan una cierta variedad de RP como Ácido clorhídrico, Ácido sulfúrico, Alcohol isopropílico, Hidróxido de amonio y de sodio, Tolueno, Sulfatos de cobre, plata y mercurio.

Se caracterizaron las aguas residuales del laboratorio, determinándose el volumen generado (7002 – 861 lt/día), el pH (5.5 – 7) y el contenido de algunos metales pesados, resultando los más significativos el Hg, Cr y Co. Finalmente se propusieron recomendaciones para el manejo y disposición final de los residuos (Cabañas y Alcocer, 1997).

Actualmente (2003) estos mismos autores están llevando a cabo un proyecto que lleva por título Manejo integral de los residuos peligrosos no biológico infecciosos de los laboratorios de la UADY-FIQ, en etapa inicial (Com. Per.).

### *3. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química (UNAM-FQ).*

Desde hace más de 10 años la UNAM-FQ ha estado realizando diferentes actividades encaminadas al manejo adecuado de los RP generados en los diferentes tipos de laboratorios a través de proyectos (Bravo *et al*, 1996; Bazúa-Durán, 1996) de servicio social, tesis, etc. Así se ha logrado obtener el diseño de actividades encaminadas a disminuir el riesgo que pueden ocasionar diferentes RP en el ciclo de generación, almacenamiento, tratamiento y disposición final. Se han tenido diferentes logros y en la actualidad se cuenta con:

1. La Unidad de Gestión Ambiental. Proporciona asesoría para la identificación, clasificación, análisis CRETIB para materiales y residuos peligrosos, así como para su tratamiento, reuso, reciclaje o disposición. Ha trabajado en conjunto con diferentes universidades, empresas e instituciones gubernamentales en aspectos docentes, de investigación, de vinculación, asesorías, servicios, difusión, etc. Su objetivo general es: “Incorporar a la enseñanza experimental y a la investigación el cuidado del ambiente en todas las dependencias de la UNAM, de acuerdo a la metodología desarrollada por la FQ” (UNAM, 1999).

2. Después de 7 años se concluyó en 2002 el proyecto internacional entre la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica y la UNAM-FQ a través del Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (PIQAYQA) cuyo objetivo central fue la instalación de un laboratorio para RP (Durán, 2002).

3. Desde hace 6 años la UNAM-FQ y la empresa Cyba-Geigy Mexicana firmaron un convenio para el transporte, incineración o confinamiento de RP que se generan en algunas dependencias universitarias y que por sus características y composición no se pueden reciclar, reusar o transformar.

4. Se desarrolló una metodología eficaz para el establecimiento de procesos limpios y ambientalmente seguros, que se consolida como una técnica modelo para el cuidado del medio ambiente. Se han diseñado “diagramas ecológicos” e identificado mas de 250 residuos, para cada uno de ellos se ha desarrollado y probado el método de tratamiento.

5. Se cuenta con el Laboratorio de Optimización, Minimización, Desarrollo de Nuevos Procesos y Manejo Adecuado de los Residuos Químicos.

6. Se ha elaborado un Manual de Manejo de Sustancias Tóxicas Peligrosas de Uso en los Laboratorios de Química Orgánica.

7. Actualmente la UNAM tiene un inventario más preciso de los RP que se deben confinar o incinerar, una vez que se han agotado otras alternativas de tratamiento.

8. El programa de la Fac. de Química se ha implementado con éxito en por lo menos 12 dependencias de la UNAM.

*4. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Medicina (UANL-FM), Dpto. de Química Analítica.*

Se tiene implementado desde 1994 un programa encaminado a la “Minimización de Residuos Peligrosos” generados en los laboratorios de enseñanza. Se realizaron tres etapas:

1. Cada maestro estimó la cantidad de residuos promedio generado en laboratorios de los cursos de Física, Físicoquímica I y II, Química Analítica I y II, Análisis Instrumental y Análisis Bromatológicos en un ciclo escolar.

2. Se seleccionaron las prácticas factibles de minimización en cada una de estas materias, se propusieron cambios en la escala de experimentación y posteriormente se probaron y evaluaron los cambios propuestos.

3. Se adoptaron nuevos procedimientos a nivel micro escala en sustitución de prácticas que no fueron factibles de minimización.

En un semestre se generan 275 litros de residuos por los 10 laboratorios. El 23% de prácticas se incorporaron al programa de minimización. El 18% de ellas corresponden a prácticas que llegaron al nivel de micro escala y el restante 81% quedó a un nivel de semimicro escala. Finalmente se desarrollaron e implementaron nuevas prácticas al nivel de micro escala tomadas de experiencias de otros autores, las cuales se incorporaron a los programas de las materias.

Estos cambios lograron reducir la generación de residuos en un rango que va de 22 a un 97% según la materia. En el aspecto económico, el ahorro ha sido muy notorio ya que los costos de inversión en reactivos han disminuido hasta un 60% (Torres y Castellón, 2000).

En este caso, solo queda la duda, de si por reducir la escala, los alumnos perciben y observan el experimento tal y como a una escala mayor.

5. *Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala (UNAM-FESI), Laboratorio de Ecología.*

Con el trabajo realizado en el 2001: “Diagnóstico ambiental de la FESI”, se plantearon describir las actividades generadoras de contaminación en la FESI y su situación actual así como analizar el marco regulatorio ambiental para las actividades generadoras de contaminación. Se concluyó que:

En general la FES-I presumiblemente no está cumpliendo con los lineamientos (manejo, almacenamiento y desecho) que se manejan en la LGEEPA y en sus diferentes Reglamentos referentes a los residuos peligrosos.

Se considera muy importante el fomento de una cultura de manejo razonable y adecuado de los RP ya que los residuos que producen los pequeños generadores, en caso de no ser manipulados adecuadamente, pueden provocar los mismos daños que los residuos emitidos por los grandes generadores. Y esto representa un riesgo que se debe evaluar, prevenir y controlar.

Para que haya un manejo integral de RP exitoso, se requiere que los miembros de la sociedad académica de la FESI que realizan actividades que emiten RP asuman sus responsabilidades y contribuyan a realizar un manejo adecuado de éstos. Sugirieron un seguimiento para validar y generar estrategias adecuadas para realizar un manejo adecuado de los residuos (Gómez y Franco, 2001).

## **7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **7.1 Ubicación de la Universidad Panamericana (UP)**

La UP se encuentra al sur de la Ciudad de México, en la Delegación Benito Juárez. Se localiza alrededor de la Plaza Jáuregui, frente a la antiquísima Iglesia de Santo Domingo y por la casa de la cultura Juan Rulfo (Noticia, 2001). Está enmarcada por cuatro avenidas principales de la ciudad:

Al oriente: Av. Insurgentes

Al Poniente: Cto. Interior – Av. Patriotismo

Al Sur: Cto. Interior – Río Mixcoac

Al Norte: Eje 7 Sur – Av. Extremadura

### **7.2 Breve descripción de la UP**

La UP esta integrada por un predio principal y por diferentes anexos cercanos a éste. En total se tienen 15 edificios que son identificados en forma distintiva por el lugar en que se encuentran (Universidad Panamericana, 2002b)

El predio principal esta integrado por los edificios A al E. Dentro de esta zona se encuentran sitios importantes como son el Aula Magna, el Comedor de Invitados, la Biblioteca, el Oratorio, el Auditorio y el Centro de Cómputo.

Los anexos son los edificios del F al P en donde se encuentran diferentes carreras y otras actividades, como son Actividades Deportivas, Culturales, Revista ISTMO, Noticia, etc., también se encuentran las oficinas administrativas. En total se tienen 69 salones de diferente capacidad y distribuidos en la mayoría de los edificios.

La Escuela de Ingeniería ubicada en el Edificio D cuenta con diferentes laboratorios: de Física, Química, Termodinámica, Mecánica de Fluidos, Procesos de Manufactura y el de Máquinas Térmicas e Hidráulicas.

La Escuela de Comunicación cuenta con un laboratorio de Fotografía que esta ubicado en el Edificio C.

En el Edificio I, se encuentra la Escuela de Medicina que cuenta con los laboratorios de Bioquímica, Fisiología, Ciencias Fisiológicas, Biología del Desarrollo y el de Histología. Además cuenta con dos bioterios (ratas y conejos).

### **7.3 Antecedentes del Laboratorio de Química**

El edificio en lo que hoy es la UP, anteriormente era un edificio antiguo (conocido como “*El Obraje de Mixcoac*”) que al inicio de la década de los 70’s se hicieron los primeros trabajos de remodelación y acondicionamiento para dar paso a oficinas y aulas de la institución (Noticia, 2003b). Como el edificio de la UP no fue diseñado para la enseñanza, conforme a diferentes necesidades se ha estado acondicionando para cumplir con el objetivo de ser una institución educativa. El Laboratorio de Química no es la excepción y de acuerdo al plan de estudios se ha estado equipando y reacondicionando para cumplir con diferentes medidas de seguridad. Tiene aproximadamente 5 años en funcionamiento y presenta programadas sus prácticas de una manera sistemática para cursarse en un semestre, su diseño es para que los alumnos lo realicen sin dificultad, por lo que se puede conocer la transformación química a desarrollarse; así, se puede conocer la cantidad de reactivos utilizados y por consecuencia el tipo de residuos generados. No obstante, este laboratorio como muchos otros, tanto de enseñanza como de investigación privados y públicos, sus prácticas no han considerado la legislación ambiental en cuanto al manejo de los residuos. Es así que, se puede decir que hasta ahora, este tipo de laboratorios su objetivo a cumplir es mostrar un fenómeno químico, físico o biológico dejando de lado los conceptos de residuo, residuo peligroso y su gestión ambiental.

### **7.4 Historia**

Fue fundada en 1967 como una escuela de negocios. El Instituto Panamericano de Humanidades (IPH) predecesor inmediato de la UP, nació en 1968. La sede que adquirió la UP, en 1974, es una construcción de los siglos XVII y XVIII. Perteneció a Enrique Casuso y funcionó como obraje de telas en la época colonial. Más tarde sirvió como convento y, posteriormente, lo adquirió una familia alemana. En 1978, el IPH fue elevado al rango de Universidad y tomó el nombre de

Universidad Panamericana (Noticia, 2001). Actualmente cuenta con 13 licenciaturas además de contar con postgrados, especialidades, etc.

### **7.5 Misión y Objetivo**

*Misión:* preparar personas capaces de transmitir, a través del ejercicio de su profesión, la formación recibida con un efecto multiplicador, contribuyendo de un modo eficaz y positivo al crecimiento de México.

*Objetivo:* proporcionar al estudiante universitario una sólida preparación académica que abarque no sólo el aspecto científico y profesional de la formación, sino también sus aspectos cultural, social y moral. Así, se persigue que los estudiantes de la Universidad reúnan como atributos fundamentales: un alto conocimiento de su profesión, una estima y respeto de los valores humanos fundamentales, y un afán de servicio a los demás. Con tal finalidad, la filosofía de nuestra institución pone especial empeño en distribuir los bienes de la cultura, contribuyendo activamente al crecimiento del medio socioeconómico de México.

## 8. MATERIAL Y MÉTODOS

Para el ciclo escolar 2002-2003 la población total de la UP fue de 5,010 alumnos. El 15.38% correspondió a la población de la Escuela de Ingeniería de todos los semestres (Noticia, 2003b). En los 4 primeros años se cubre la licenciatura en Ingeniería Industrial y en el último año se dan las alternativas de especialización, que son: Optimización de Sistemas Organizacionales, Sistemas Avanzados de Manufactura, Redes y Sistemas Distribuidos de Cómputo .

Actualmente, debido a la población atendida por la Escuela de Ingeniería se abren semestres impares y pares en un ciclo escolar. En el primer semestre del ciclo escolar se tienen los semestres 1°, 3°, 5° y 7° y para el segundo semestre 2°, 4°, 6° y 8°.

De acuerdo al plan de estudios el Laboratorio de Química se cursa en el 2° semestre que para el ciclo escolar en estudio se atendió a una población de 150 alumnos. En este laboratorio se realizan en total 7 experimentos como a continuación se describen (Universidad Panamericana, 2002a):

**PRÁCTICA No. 1** Ley de la conservación de la materia.

**PRÁCTICA No. 2** Conductividad eléctrica y su relación con el enlace químico.

**PRÁCTICA No. 3** Rendimiento de una reacción química.

**PRÁCTICA No. 4** Valoración ácido-base.

**PRÁCTICA No. 5** Calor de reacción.

**PRÁCTICA No. 6** Electrólisis de yoduro de potasio.

**PRÁCTICA No. 7** Cinética química de una reacción lenta.

En el almacén del Laboratorio de Química se realizó el inventario de las sustancias químicas utilizadas en los diferentes experimentos realizados en el 2° Semestre de la Escuela de Ingeniería.

Los datos que se registraron fueron: nombre científico y común; cantidad en existencia, cantidad utilizada por experimento; # de práctica; estado físico; tipo de almacenamiento (recipiente).

Con ayuda de la literatura disponible se identificaron las propiedades fisicoquímicas y toxicológicas de cada una de las sustancias químicas encontradas en el almacén del Laboratorio de Química.

Después se revisó el “*Manual de Prácticas de Química*” y de un análisis teórico de cada uno de los experimentos se cuantificó la generación de residuos y se calculó la generación por alumno en un ciclo escolar de acuerdo al plan de estudios de la UP.

De los residuos identificados del análisis de los protocolos experimentales se clasificaron cualitativamente según el código CRETl, de acuerdo a la normatividad ambiental mexicana tomando de base la NOM-052-SEMARNAT-1993 (DOF, 22/10/1993). Finalmente se recomendó el manejo y/o disposición controlada para evitar riesgos tanto a los trabajadores como a los alumnos que estén en contacto con los residuos, así como, las oportunidades de optimización de experimentos.

De todo lo anterior se construyó un modelo conceptual ambientalmente seguro para el manejo adecuado de los residuos peligrosos que se generen en todos los laboratorios de la UP.

## 9. RESULTADOS

El Cuadro 15, presenta el inventario de las sustancias químicas tal como se encontraron en el almacén del Laboratorio de Química. El inventario arrojó en total 64 recipientes conteniendo las sustancias químicas, 44 de ellos eran recipientes originales exhibiendo su etiqueta de fabricación y señalando su código de riesgo o indicando sus propiedades de peligrosidad. Por otro lado, 20 recipientes no eran originales y no presentaban las indicaciones de prevención, solamente estaban identificados con el nombre de la sustancia utilizando cinta adhesiva.

Para facilitar el análisis de resultados, del Cuadro 15, se obtuvo el Cuadro 16, en donde se agruparon aquellas sustancias que estaban contenidas en más de un envase (HCl, Acetato de etilo, Alcohol etílico, NaOH, CaCl<sub>2</sub>, Glicerina, Gasolina, MgCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, BaCl<sub>2</sub>, KI, Zn (polvo), NiCl<sub>2</sub> y Aceite lubricante) y también se descontaron los 4 recipientes vacíos que se encontraron (FeCl<sub>3</sub>, NiCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y KI). El inventario obtenido es de 38 sustancias químicas almacenadas en el laboratorio de química, el 68.5% son sólidos, de los cuales con más de 2 Kg se encuentran el NaOH (2.24 Kg) y el Zn (2.1 Kg); el 31.5% son líquidos, de éstos con un litro o más están, el Ácido acético glacial (1 L), Aceite lubricante (1.15 L), Alcohol etílico absoluto (1.65 L), Gasolina (1.75 L), Acetato de etilo (1.8 L) y Ácido clorhídrico (1.85 L)

Para el ciclo escolar en estudio, el 2º semestre lo cursaron 150 alumnos, divididos en tres grupos, así en el semestre se integran brigadas por sesión de laboratorio y éstas a su vez se dividen en equipos para poder realizar cada práctica. El Cuadro 17 indica el número de veces que se realiza cada experimento en el ciclo escolar.

En el Cuadro 18, se calculó la cantidad de reactivos utilizados, residuos generados por experimento en un ciclo escolar, para obtener la generación de residuos por alumno. En los experimentos 2, 3 y 7 es en donde se utilizan mayor cantidad de reactivos y por tanto es en donde se generan una mayor cantidad de residuos líquidos, aportando 13.5 L, 15.15 L y 30.9 L respectivamente (Cuadro 19). Para realizar los 7 experimentos del Laboratorio de Química se utilizan 16 sustancias y 22 no se utilizan, esto se muestra en el Cuadro 20. De las 38 sustancias químicas, 20 son clasificadas por la NOM-054-SEMARNAT-1993 (DOF, 22/10/1993), en nueve grupos reactivos. La NOM-052-SEMARNAT-1993 clasifica a 12 sustancias de acuerdo al código CRETI, de éstas 2 son Reactivas, 1 es Tóxica, 3 son Inflamables y 6 son Tóxicas e Inflamables.

Con el inventario final de sustancias químicas se hace una propuesta de almacenamiento en donde las sustancias incompatibles quedan aisladas unas de otras (Cuadros 21 y 22). Tanto en el modelo inorgánico como en el orgánico de arriba hacía abajo aumenta la peligrosidad.

Cuadro 15. Inventario de sustancias químicas del Laboratorio de Química tal como se encontraron en el almacén

NO.	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FÓRMULA	CANTIDAD EN EXISTENCIA	UNIDAD DE MEDIDA	ESTADO FÍSICO	RECIPIENTE	ETIQUETA ORIGINAL	OBSERVACIONES
1	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	HCl	1000	ml	líquido	vidrio-ámbar	si	Muy corrosivo, tóxico por ingestión e inhalación, fuerte irritante para los ojos y la piel. No Combustible
2	Ácido acético glacial	Ácido acético glacial	CH <sub>3</sub> COOH	1000	ml	líquido	plástico	si	Combustible, irritante de la piel y tejidos, moderadamente tóxico por ingestión e inhalación
3	Acetato de etilo	Acetato de etilo	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	1000	ml	líquido	plástico	si	Inflamable, riesgo de incendio y explosión. Tóxico por inhalación y absorción cutánea
4	Acetato de etilo	Acetato de etilo	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	800	ml	líquido	plástico	si	<i>Idem</i>
5	Cloruro de hierro III	Cloruro ferríco	FeCl <sub>3</sub>	0	g	sólido	plástico	no	Recipiente vacío
6	Tiosulfato de sodio pentahidratado	Tiosulfato de sodio	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O	450	g	sólido	HDPE	si	Delicuescente. Su uso en alimentos se limita al 0.1%
7	Hexano	Hexano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	400	ml	líquido	vidrio-ámbar	si	Tóxico. Inflamable
8	Alcohol etílico absoluto	Alcohol	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	750	ml	líquido	vidrio-ámbar	si	Inflamable, riesgo de incendio
9	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	HCl	100	ml	líquido	vidrio-ámbar	si	<b>Idem</b>
10	Ácido clorhídrico	Ácido clorhídrico	HCl	750	ml	líquido	vidrio-ámbar	si	<i>Idem</i>
11	Hidróxido de sodio	Sosa	NaOH	150	g	lentejas	plástico	si	Corrosivo, corroe los tejidos en presencia de humedad, fuerte irritante para los tejidos (ojos, piel y membranas mucosas) por ingestión
12	Ácido acético	Ácido acético	CH <sub>3</sub> COOH	225	ml	líquido	plástico	si	Irritante de la piel y tejidos, moderadamente tóxico por ingestión e inhalación

Cuadro 15. Continuación

NO.	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FÓRMULA	CANTIDAD EN EXISTENCIA	UNIDAD DE MEDIDA	ESTADO FÍSICO	RECIPIENTE	ETIQUETA ORIGINAL	OBSERVACIONES
13	Aceite lubricante	Aceite		800	MI	líquido	plástico	no	Inflamable
14	Aceite multigrado	Aceite		100	ml	líquido	plástico	no	Inflamable
15	Aceite lubricante	Aceite		250	ml	líquido	plástico	no	<b>Idem</b>
16	Glicerina	Glicerina	$C_3H_5(OH)_3$	400	g	grasa	plástico	si	Inflamable
17	Aceite comestible	Aceite		800	ml	líquido	plástico	si	Inflamable
18	Alcohol etílico absoluto	Alcohol	$CH_3CH_2OH$	900	ml	líquido	plástico	si	<i>Idem</i>
19	Gasolina	Gasolina		1500	ml	líquido	plástico	no	Inflamable, riesgo de incendio y explosión
20	Glicerina	Glicerina	$C_3H_5(OH)_3$	350	g	líquido	plástico	si	<i>Idem</i>
21	Glicerina	Glicerina	$C_3H_5(OH)_3$	350	g	líquido	plástico	si	<i>Idem</i>
22	Glicerina	Glicerina	$C_3H_5(OH)_3$	250	g	líquido	plástico	si	<i>Idem</i>
23	Gasolina	Gasolina		250	ml	líquido	plástico	no	<i>Idem</i>
24	Hidróxido de sodio	Sosa	NaOH	500	g	lentejas	bolsa de plástico	si	<i>Idem</i>
25	Hidróxido de sodio	Sosa	NaOH	250	g	lentejas	bolsa de plástico	si	<i>Idem</i>
26	Hidróxido de sodio	Sosa	NaOH	1000	g	lentejas	bolsa de plástico	si	<i>Idem</i>
27	Cloruro de magnesio hexahidratado	Cloruro de magnesio	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	200	g	cristales	bolsa de plástico	si	Tóxico por ingestión
28	Cloruro de sodio	Cloruro de sodio	NaCl	900	g	cristales-polvo	bolsa de plástico	si	No combustible
29	Ácido sulfúrico	Ácido sulfúrico	$H_2SO_4$	400	ml	líquido	vidrio-ámbar	si	Fuertemente corrosivo, fuerte irritante para los tejidos. Muy reactivo, solubiliza la mayoría de los metales
30	Hidróxido de sodio	Sosa	NaOH	200	g	lentejas	plástico	si	<i>Idem</i>
31	Cloruro de bario	Cloruro de bario	$BaCl_2$	200	g	cristales	bolsa de plástico	si	Combustible. Veneno, la ingestión de 0.8 g

puede ser fatal

Cuadro 15. Continuación

NO.	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FÓRMULA	CANTIDAD EN EXISTENCIA	UNIDAD DE MEDIDA	ESTADO FÍSICO	RECIPIENTE	ETIQUETA ORIGINAL	OBSERVACIONES
32	Sulfato de cobre pentahidratado	Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	900	g	cristales	bolsa de plástico	si	Tóxico por ingestión, fuerte irritante
33	Fenolftaleina	Fenolftaleina	$\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_{14}$	20	g	polvo	vidrio-ámbar	si	
34	Hidróxido de sodio	Sosa	$\text{NaOH}$	90	g	lentejas	plástico	si	<i>Idem</i>
35	Yoduro de potasio	Yoduro de potasio	$\text{KI}$	50	g	cristales	vidrio-ámbar	si	Código de riesgo
36	Zinc en polvo	Zinc	$\text{Zn}$	200	g	polvo	plástico	si	Inflamable, puede formar una mezcla explosiva en el aire, puede calentarse y arder espontáneamente expuesto al aire
37	Sulfato de níquel hexahidratado	Sulfato de níquel	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10	g	cristales	vidrio-ámbar	si	Tóxico
38	Cloruro de amonio	Cloruro de amonio	$\text{NH}_4\text{Cl}$	40	g	polvo	vidrio-ámbar	si	
39	Carbonato de calcio	Carbonato de calcio	$\text{CaCO}_3$	20	g	sólido	plástico	no	Etiqueta con cinta adhesiva
40	Yoduro de potasio	Yoduro de potasio	$\text{KI}$	80	g	cristales	vidrio-ámbar	si	Código de riesgo
41	Zinc en polvo	Zinc	$\text{Zn}$	1000	g	polvo	plástico	si	<i>Idem</i>
42	Zinc en polvo	Zinc	$\text{Zn}$	900	g	polvo	plástico	si	<i>Idem</i>
43	Carbonato de sodio	Sosa calcinada	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	950	g	polvo	plástico	si	No combustible
44	Persulfato de amonio	Persulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	400	g	cristales	HDPE	si	Fuerte oxidante, riesgo de incendio en contacto con agentes reductores
45	Tetraborato de sodio	Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	400	g	cristales	plástico	si	Tóxico por inhalación, no combustible
46	Grasa de silicón	Silicón		90	g	grasa	plástico	no	Combustible
47	Nitrato de potasio	Salitre	$\text{KNO}_3$	135	g	cristales	plástico	no	Riesgo de incendio y explosión al chocar o calentar, o en contacto con sustancias orgánicas, fuerte agente oxidante

48	Cloruro de potasio	Cloruro de potasio	KCl	132	g	cristales	plástico	no	No combustible
----	--------------------	--------------------	-----	-----	---	-----------	----------	----	----------------

Cuadro 15. Continuación

NO.	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	FÓRMULA	CANTIDAD EN EXISTENCIA	UNIDAD DE MEDIDA	ESTADO FÍSICO	RECIPIENTE	ETIQUETA ORIGINAL	OBSERVACIONES
49	Cloruro de níquel II	Cloruro níqueloso	NiCl <sub>2</sub>	0	g		plástico	no	Delicuescente. No inflamable. Inflamable y tóxico como polvo o humo (como Ni)
50	Cloruro de calcio	Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>	232	g	cristales	plástico	no	
51	Cloruro de calcio	Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>	126.5	g	cristales	plástico	no	
52	Cloruro de magnesio	Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	111	g	cristales	plástico	no	Tóxico por ingestión
53	Ácido esteárico	Ácido esteárico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH	96.5	g	grasa	plástico	no	Combustible
54	Cloruro de bario	Cloruro de bario	BaCl <sub>2</sub>	100	g	cristales	plástico	no	<i>Idem</i>
55	Yoduro de potasio	Yoduro de potasio	KI	63	g	cristales	plástico	no	
56	Tinta china	Tinta china		100	ml	líquido	plástico	no	
57	Ácido bórico	Ácido bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	50	g	cristales	vidrio-ámbar	si	No combustible. Tóxico por ingestión, irrita la piel en forma seca
58	Ácido sulfúrico	Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	ml	líquido	vidrio-ámbar	no	En frasco gotero. <i>Idem</i>
59	Hidróxido de sodio	Hidróxido de sodio	NaOH	50	g	cristales	plástico	si	<i>Idem</i>
60	Colorante artificial	Colorante		250	g	polvo	plástico	si	Color rosa
61	Ácido nítrico	Ácido nítrico	HNO <sub>3</sub>	25	ml	líquido	vidrio-transparente	no	Corrosivo. Solubiliza a casi todos los metales. Higroscópico. Riesgo de incendio en contacto con materias orgánicas. Corroe la piel y membranas mucosas
62	Yoduro de potasio	Yoduro de potasio	KI	0	g	cristales	vidrio-ámbar	si	<i>Idem</i>
63	Cloruro de níquel II	Cloruro níqueloso	NiCl <sub>2</sub>	50	g	cristales	vidrio-ámbar	si	<i>Idem</i>
64	Naftenato de cobalto	Naftenato de cobalto		180	g	líquido	plástico	si	Combustible



Cuadro 16. Inventario de sustancias químicas almacenadas en el Laboratorio de Química.

NO.	SUSTANCIA QUÍMICA	FÓRMULA	CANTIDAD EN EXISTENCIA	UNIDAD DE MEDIDA	ESTADO FÍSICO	RECIPIENTE
1	Ácido acético glacial	CH <sub>3</sub> COOH	1000	ml	líquido	plástico
2	Aceite comestible		800	ml	líquido	plástico
3	Aceite lubricante		1150	ml	líquido	plástico
4	Acetato de etilo	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	1800	ml	líquido	plástico
5	Ácido acético	CH <sub>3</sub> COOH	225	ml	líquido	plástico
6	Ácido bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	50	g	s-cristales	vidrio-ámbar
7	Ácido clorhídrico	HCl	1850	ml	líquido	vidrio-ámbar
8	Ácido esteárico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH	96.5	g	s-sebaceo	plástico
9	Ácido nítrico	HNO <sub>3</sub>	25	ml	líquido	vidrio-transparente
10	Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	400	ml	líquido	vidrio-ámbar
11	Alcohol etílico absoluto	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> OH	1650	ml	líquido	vidrio-ámbar
12	Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	20	g	sólido	plástico
13	Carbonato de sodio	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	950	g	s-cristales, polvo	plástico
14	Cloruro de amonio	NH <sub>4</sub> Cl	40	g	s-cristales, polvo	vidrio-ámbar
15	Cloruro de bario	BaCl <sub>2</sub>	300	g	s-cristales	Bolsa de plástico
16	Cloruro de calcio	CaCl <sub>2</sub>	358.5	g	s-cristales	plástico
17	Cloruro de magnesio	MgCl <sub>2</sub>	111	g	s-cristales	plástico
18	Cloruro de magnesio hexahidratado	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	200	g	s-cristales	Bolsa de plástico
19	Cloruro de níquel II	NiCl <sub>2</sub>	50	g	s-cristales	vidrio-ámbar
20	Cloruro de potasio	KCl	132	g	s-cristales	plástico
21	Cloruro de sodio	NaCl	900	g	s-cristales, polvo	Bolsa de plástico
22	Colorante artificial		250	g	s-polvo	plástico
23	Fenolftaleína	C <sub>20</sub> H <sub>14</sub> O <sub>14</sub>	20	g	s-polvo	vidrio-ámbar
24	Gasolina		1750	ml	líquido	plástico
25	Glicerina	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (OH) <sub>3</sub>	1350	g	sólido	plástico
26	Grasa de silicón		90	g	sólido	plástico
27	Hexano	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub>	400	ml	líquido	vidrio-ámbar
28	Hidróxido de sodio	NaOH	2240	g	s-lentejas	plástico
29	Naftenato de cobalto		180	g	l-oscuro	plástico

Cuadro 16. Continuación.

NO.	SUSTANCIA QUÍMICA	FÓRMULA	CANTIDAD EN EXISTENCIA	UNIDAD DE MEDIDA	ESTADO FÍSICO	RECIPIENTE
30	Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	135	g	s-cristales	plástico
31	Persulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$	400	g	s-cristales	HDPE
32	Sulfato de cobre pentahidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	900	g	s-cristales	Bolsa de plástico
33	Sulfato de níquel hexahidratado	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10	g	s-cristales	vidrio-ámbar
34	Tinta china		100	ml	líquido	plástico
35	Tiosulfato de sodio pentahidratado	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	450	g	sólido	HDPE
36	Tetraborato de sodio	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	400	g	s-cristales	plástico
37	Yoduro de potasio	KI	193	g	s-cristales	vidrio-ámbar
38	Zinc	Zn	2100	g	s-polvo	plástico

s= Sólido

l= Líquido

Cuadro 17. Número de veces que se realiza cada experimento por semestre.

No.	Experimento	Número de veces que se realiza	Promedio de alumnos
1	Ley de la conservación de la materia	30	150
2	Conductividad eléctrica y su relación con el enlace químico	30	150
3	Rendimiento de una reacción química	30	150
4	Valoración ácido-base	30	150
5	Calor de reacción	30	150
6	Electrólisis de yoduro de potasio	15	150
7	Cinética química de una reacción lenta	30	150

Cuadro 18. Reactivos utilizados y residuos generados por práctica en un ciclo escolar.

PRÁCTICA	REACTIVO	SUSTANCIA/SEMESTRE		RESIDUOS/SEMESTRE	RESIDUOS/ALUMNO
		ml	g	ml	ml
1	LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA MATERIA				
	Agua	600		600	4
	Ácido clorhídrico	48		1200	8
	Alka-seltzer		99		
	Bicarbonato de sodio		45		
2	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA Y SU RELACIÓN CON EL ENLACE QUÍMICO				
	Agua	750		750	5
	Hexano	750		750	5
	Acetato de etilo	750		750	5
	Cloroformo	750		750	5
	Sacarosa		34.2	750	5
	Ácido acético	4.5		750	5
	Cloruro de litio		4.35	750	5
	Nitrato de litio		6.9	750	5
	Cloruro de sodio		5.84	750	5
	Ácido sulfúrico	4.5		750	5
	Cloruro de bario		20.85	750	5
	Cloruro de calcio		11.1	750	5
	Cloruro de magnesio		9.53	750	5
	Sulfato de cobre		15.95	750	5
	Cloruro de sodio		117	750	5
	Cloruro de sodio		58.5	750	5
	Cloruro de sodio		29.5	750	5
	Cloruro de sodio		14.62	750	5
3	RENDIMIENTO DE UNA REACCIÓN QUÍMICA				
	Agua	15000		15000	100
	Ácido clorhídrico	20.4		150	1
	Cinc metálico		3		
4	VALORACIÓN ÁCIDO-BASE				
	Ácido clorhídrico	8.15		900	6
	Hidróxido de sodio		4	900	6
5	CALOR DE REACCIÓN				
	Ácido sulfúrico	151.5		3000	20
	Hidróxido de sodio		240	3000	20
6	ELECTRÓLISIS DE YODURO DE POTASIO				
	Yoduro de potasio		16	600	4
	Cloruro de hierro (III)		4.05	30	0.2
	Acetato de etilo	15		15	0.1
7	CINÉTICA QUÍMICA DE UNA REACCIÓN LENTA				
	Agua	21000		21000	140
	Tiosulfato de sodio		11.85	7500	50
	Yoduro de potasio		99.6	1200	8
	Peroxidisulfato de potasio		14.58	1200	8
	TOTALES	39852.05	865.42	69795	465.3

Cuadro 19. Generación de residuos líquidos por práctica durante de un semestre.

PRÁCTICA	CANTIDAD GENERADA (LITROS)
1.- Ley de la conservación de la materia	1.8
2.- Conductividad eléctrica y su relación con el enlace químico	13.5
3.-Rendimiento de una reacción química	15.15
4.- Valoración ácido-base	1.8
5.- Calor de reacción	6
6.- Electrólisis de yoduro de potasio	0.645
7.- Cinética química de una reacción lenta	30.9
TOTAL	69.795

Cuadro 20. Reactivos utilizados y no utilizados en los experimentos. Se clasifican de acuerdo a la normatividad ambiental mexicana.

GRUPO REACTIVO NOM-054-ECOL-1993	NOMBRE	SUSTANCIA QUÍMICA	NÚMERO DE EXPERIMENTO	CLAVE CRETI	NÚMERO INE NOM-052-ECOL-1993
1	Ácidos minerales no oxidantes	Ácido bórico	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
1	Ácidos minerales no oxidantes	Ácido clorhídrico	1, 3, 4	T.I	RPP1.1/04
2	Ácidos minerales oxidantes	Ácido nítrico	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
2	Ácidos minerales oxidantes	Ácido sulfúrico	2, 5	T	RPE1.1/08
3	Ácidos orgánicos	Ácido acético	2	T.I	RPP1.1/03
3	Ácidos orgánicos	Ácido acético glacial	No utilizado	T.I	RPP1.1/03
4	Alcoholes y glicoles	Alcohol etílico absoluto	No utilizado	I	RPP5.1/08
10	Cáusticos	Carbonato de sodio	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
10	Cáusticos	Hidróxido de sodio	4, 5	R	RPE2.1/18
22	Otros metales elementales o mezclados en forma de polvos, vapores o partículas	Zinc	3	Sin clave CRETI	Sin número INE
24	Metales y compuestos de metales tóxicos	Cloruro de bario	2	Sin clave CRETI	Sin número INE
24	Metales y compuestos de metales tóxicos	Cloruro de níquel II	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
24	Metales y compuestos de metales tóxicos	Sulfato de cobre pentahidratado	2	Sin clave CRETI	Sin número INE
24	Metales y compuestos de metales tóxicos	Sulfato de níquel hexahidratado	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
29	Hidrocarburos alifáticos saturados	Hexano	2	I	RPP5.1/28
101	Materiales combustibles e inflamables diversos	Aceite comestible	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
101	Materiales combustibles e inflamables diversos	Aceite lubricante	No utilizado	T.I	RPNE1.1/03
101	Materiales combustibles e inflamables diversos	Gasolina	No utilizado	I	RPE4.1/12

Cuadro 20. Continuación.

GRUPO REACTIVO NOM-054-ECOL-1993	NOMBRE	SUSTANCIA QUÍMICA	NÚMERO DE EXPERIMENTO	CLAVE CRETI	NOM-052-ECOL- 1993
101	Materiales combustibles e inflamables diversos	Glicerina	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
101	Materiales combustibles e inflamables diversos	Grasa de silicón	No utilizado	R	RPP4.2/10
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Acetato de etilo	2	T.I	RPNE1.1/10 - RPE4.1/03
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Ácido esteárico	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Carbonato de calcio	2	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Cloruro de amonio	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Cloruro de calcio	2	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Cloruro de magnesio	2	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Cloruro de magnesio hexahidratado	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Cloruro de potasio	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Cloruro de sodio	2	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Colorante artificial	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Fenolftaleina	4	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Naftenato de cobalto	No utilizado	T.I	RPE2.1/01
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Nitrato de potasio	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Persulfato de amonio	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Tinta china	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Tiosulfato de sodio pentahidratado	7	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Tetraborato de sodio	No utilizado	Sin clave CRETI	Sin número INE
Sin grupo reactivo	No listado en norma	Yoduro de potasio	6, 7	Sin clave CRETI	Sin número INE

No utilizado= No se utiliza en ninguno de los experimentos; RPNE= Fuente no específica; RPP= Materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas; RPE= Residuos y bolsas o envases de materias primas que se consideran peligrosas en la producción de pinturas.

Cuadro 21. Propuesta de almacenamiento de las sustancias químicas que se encuentran en el Laboratorio de Química, modelo inorgánico (de arriba hacia abajo aumenta la peligrosidad).

B	Cloruro de bario, Cloruro de níquel, Sulfato de cobre pentahidratado, Sulfato de níquel, Cloruro de amonio, Cloruro de calcio, Cloruro de magnesio, Cloruro de magnesio hexahidratado, Cloruro de potasio, Cloruro de sodio, Persulfato de amonio, Tiosulfato de sodio pentahidratado, Yoduro de potasio, Colorante artificial, Naftenato de cobalto, Tinta china
C	Nitrato de potasio
D	Zinc
F	Carbonato de sodio, Hidróxido de sodio, Carbonato de calcio
H	Tetraborato de sodio
I	Ácido bórico, Ácido clorhídrico, Ácido sulfúrico, Ácido nítrico*

(Santos y Gavilán 2002c)

\* El Ácido nítrico es incompatible con el Ácido sulfúrico. No obstante, para este caso en particular debido a que solamente se tienen 25 ml de Ácido nítrico se pueden almacenar juntos. Es aconsejable que cuando se manejan volúmenes mayores de Ácido nítrico se debe de almacenar por separado ya que no se debe de mezclar con Ácido acético, Ácido crómico, Ácido sulfúrico, Aminas aromáticas, Fenoles, Carbón, Líquidos inflamables, Gases, Sustancias nitrogenadas, Alcoholes y Carbuos (Santos y Gavilán, 2002c).

Cuadro 22. Propuesta de almacenamiento de las sustancias químicas que se encuentran en el laboratorio de química, modelo orgánico (de arriba hacia abajo aumenta la peligrosidad).

A	Alcohol etílico absoluto, Fenolftaleína
B	Hexano, Aceite comestible, Aceite lubricante, Gasolina, Glicerina, Grasa de silicón, Acetato de etilo
H	Ácido acético, Ácido acético glacial, Ácido esteárico

(Santos y Gavilán,2002c)

## 10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El almacén consta de 2 anaqueles que se encuentran dentro del laboratorio de química. Se tiene un total de 64 recipientes de diferente presentación y material, en los que se tienen a las sustancias químicas (Cuadro 15). Se encontraron 4 recipientes vacíos, que según sus etiquetas contenían  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{KI}$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , estos recipientes son residuos, por lo que se les debe dar un manejo adecuado. Existen dos alternativas, la primera es que se pueden lavar y reutilizarlos exclusivamente para el acopio de los mismos residuos de esas sustancias, la otra es lavar los contenedores con una solución recomendada (dependiendo del residuo) para destruir el material que contenía, después romperlos y enviarlos a disposición controlada. Hay que tomar en cuenta que el costo beneficio de cada una es diferente. Otro aspecto a considerar es que los frascos vacíos ocupan espacio además de que generan un riesgo.

El 68.75% de las sustancias químicas estaban almacenadas en su recipiente original y por lo tanto exhibían su etiqueta de fábrica (44 sustancias), mostrando el código de riesgo o bien indicando alguna propiedad de peligrosidad. El 31.25% restante (20 sustancias) estaban almacenadas en recipientes que se identificaban con cinta adhesiva indicando el nombre de la sustancia, lo cual puede provocar que la cinta se desprenda y el reactivo pierda su identificación, si es el caso, pasa a ser un reactivo desconocido y se debe de proceder a su identificación. Se recomienda que una empresa autorizada lo haga o que la Institución (con personal capacitado) realice la identificación para su posterior tratamiento y/o disposición.

No se encontró al momento de realizar el inventario al  $\text{NaHCO}_3$  que se utiliza en el experimento<sup>1</sup> 1; Cloroformo, Sacarosa,  $\text{LiCl}$  y el  $\text{LiNO}_3$  utilizados en el experimento 2; el  $\text{FeCl}_3$  (se encontró solo el frasco) que se ocupa en la práctica 6 y el Peroxisulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) que se utiliza en el experimento 7. Todas estas sustancias son aquellas que se consumieron y deben de ser nuevamente adquiridas para el siguiente ciclo escolar. Respecto al frasco vacío, debe de seguir cualquiera de los puntos antes señalados.

Es importante seguir las recomendaciones dadas en la NOM-005-STPS-1998 (DOF, 15/12/1998) para el almacenamiento de sustancias químicas peligrosas. En el numeral 5.3 se indica “Elaborar

---

<sup>1</sup> En este trabajo, experimento y práctica se manejan como sinónimos.

y mantener actualizados los manuales de procedimientos para el manejo, transporte y almacenamiento seguro de sustancias químicas peligrosas, en los cuales se debe de incluir la identificación de los recipientes”.

Otro aspecto importante a considerar es la incompatibilidad de las sustancias químicas al momento de almacenarlas. De la NOM-054-SEMARNAT-1993 (DOF, 22/10/1993) y aplicando el Anexo “2”, al realizar las intersecciones de los grupos, se indica el código de reactividad y se localizan las consecuencias de las reacciones (APÉNDICE A). Si se presenta alguna incompatibilidad por algún derrame accidental, se pueden presentar diferentes combinaciones, como son, 14 combinaciones generan calor (H); 8, producen fuego (F); 2, generan gases en grandes cantidades (G); 2, generan gases tóxicos (gt); 4, genera gases inflamables (gf); 1, producen explosión (E); 1, produce polimerización violenta (P) y 4, solubilizan metales y compuestos de metales tóxicos (S). Esto se muestra en el siguiente extracto del Anexo “2” de la NOM-054-SEMARNAT-1993, en donde se indican los grupos reactivos al que pertenecen las sustancias químicas del inventario del Laboratorio de Química que se enlistan en el Cuadro 16 y clasificados por la NOM-054-SEMARNAT-1993 en el Cuadro 20.

No	REACTIVIDAD	MOMBRE DEL GRUPO											
1		ÁCIDOS MINERALES NO OXIDANTES	1										
2		ÁCIDOS MINERALES OXIDANTES		2									
3		ÁCIDOS ORGÁNICOS		GH	3								
4		ALCOHOLES Y GLICOLES	H	HF	HP	4							
10		CAUSTICOS	HF	HF	H		10						
22		METALES ELEMENTALES O MEZCLADOS EN FORMA DE POLVOS, VAPORES O PARTÍCULAS	gf HF	gf HF	gf		gf H	22					
24		METALES Y COMPUESTOS DE METALES TOXICOS	S	S	S		S		24				
29		HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS SATURADOS		HF								29	
101		MATERIALES COMBUSTIBLES E INFLAMABLES DIVERSOS	HG	HF gt					HE gtF				101
			1	2	3	4	10	22	24	29	101		

Extracto del Anexo “2” de la NOM-054-SEMARNAT-1993

Realizando la intersección de los grupos reactivos de la columna de la izquierda, con el número de la fila inferior, se muestra en los recuadros que se encuentran en blanco que la combinación es compatible; cualquier código de reactividad en los recuadros indican reacciones incompatibles (Soto, *et al*, 1996). Las sustancias químicas deben de ser almacenadas separadas por compatibilidad. Santos y Gavilán (2002c) sugieren un modelo de almacenamiento de las

sustancias (APÉNDICE B), en donde las sustancias incompatibles queden aisladas unas de otras (Cuadro 21 y 22). También indican que este modelo es de gran utilidad apoyado de las tablas de compatibilidad de Brethrick's en "*Handbook of Reactive Chemical Hazards*".

Otro aspecto importante es que el Laboratorio de Química no cuenta con las Hojas de Datos de Seguridad (HDS) de todas las sustancias químicas. En el numeral 8 de la NOM-005-STPS-1998, en el punto a) indica que se deben tener las HDS en un centro de trabajo. Las HDS (APÉNDICE C) se deben de elaborar de conformidad con lo establecido en el Apéndice "C" y "D" de la NOM-018-STPS-2000 (DOF, 27/10/2000).

Para facilitar el análisis de resultados, del Cuadro 15, se obtuvo el Cuadro 16, en donde se agruparon aquellas sustancias que estaban contenidas en más de un envase y también se descontaron los 4 recipientes vacíos, finalmente el Laboratorio de Química cuenta con un inventario de 38 sustancias químicas. 22 sustancias no son utilizadas en las 7 prácticas de este Laboratorio (Cuadro 20) de éstas, 6 reactivos están clasificados como peligrosos por la NOM-052-SEMARNAT-1993, que son Ácido acético glacial (RPP1.1/03), Alcohol etílico absoluto (RPP5.1/08), Aceite lubricante (RPNE1.1/03), Gasolina (RPE4.1/12), Grasa de silicón (RPP4.2/10) y Naftenato de cobalto (RPE2.1/01). Estos reactivos que no se utilizan solamente ocupan espacio y aumentan el riesgo, por lo que los responsables del laboratorio deben de decidir que hacer con estas sustancias, algunas opciones son, diseñar experimentos que contemplen su utilización, donarlas a otras Instituciones que de manera cotidiana las utilicen, que otros laboratorios de la UP los utilicen, o bien hacer su tratamiento y/o realizar su disposición controlada. De las 16 sustancias utilizadas, solamente 6 son consideradas como peligrosas de acuerdo a la NOM-052-SEMARNAT-1993, estas son Ácido clorhídrico (RPP1.1/04), Ácido sulfúrico (RPE1.1/08), Ácido acético (RPP1.1/03), Hidróxido de sodio (RPE2.1/18), Hexano (RPP5.1/28) y Acetato de etilo (RPNE1.1/10 - RPE4.1/03).

En los 7 experimentos del Laboratorio, el objeto que se persigue durante el proceso de enseñanza-aprendizaje es mostrar al estudiante un fenómeno químico, por lo que todos los productos son considerados como residuos, así, para el presente estudio se obtuvo el Cuadro 19 que indica el total de reactivos utilizados por experimento, así como, los residuos generados en un semestre y también por alumno. Se observa que se utilizaron casi 40 L de reactivos líquidos y 865 gr de reactivos sólidos, generándose en total cerca de 70 L de residuos líquidos y de acuerdo

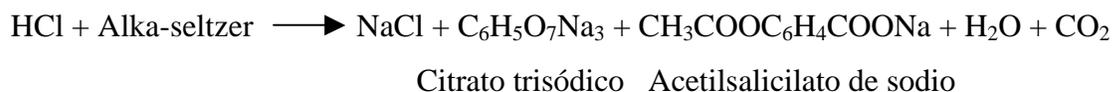
a la población atendida en el ciclo escolar (150 alumnos) la generación es de aproximadamente 1/2 L por alumno en un semestre.

De los 70 L de residuos líquidos generados en el semestre, los experimentos 3 y 7 aportan el 65.7% del total, las contribuciones específicas son 15.15 L para el experimento 3 y 30.9 L para la práctica 7 (ver Cuadro 19).

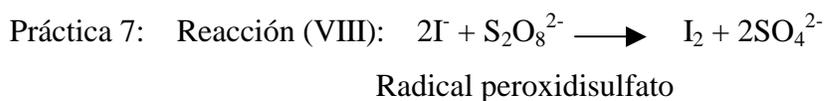
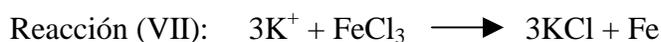
A continuación se presentan las reacciones químicas que tienen lugar en cada una de las prácticas formativas que se realizan en el Laboratorio de Química de la UP. Debe de ponerse especial atención en los productos de las reacciones, pues estos son los residuos que se generan en dicho Laboratorio durante la actividad experimental docente.

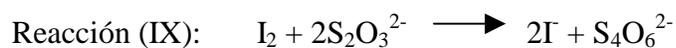
Práctica 1:

Reacción (I):



Práctica 2: No hay reacción





Radical tiosulfato

En las prácticas 1, 4 y 5 se llevan a cabo reacciones de neutralización. En las práctica 3, 6 y 7 todas las reacciones son redox. En todos estos casos se generan residuos acuosos con sales inorgánicas y orgánicas, por lo que no se consideran residuos peligrosos. Cuando se tiene una reacción de neutralización, sus productos finales son sales acuosas con un pH próximo a la neutralidad. En los experimentos 6 y 7, las reacciones (VII, VIII y IX) son de óxido-reducción y tanto los reactivos como los productos en solución acuosa son sales, por lo tanto no hay una variación de pH. En la práctica 3, uno de los reactivos es el HCl y se hace reaccionar con el Zn, en donde el Zn se oxida y el H se reduce dando como producto final una sal, el  $\text{ZnCl}_{2(s)}$  y el  $\text{H}_{2(g)}$  (Babor y Aznarez, 1977; Brown y Lemay, 1987). Aquí, es importante señalar que el Hidrógeno es inflamable y explosivo, no reacciona con el  $\text{O}_2$  sin previa ignición, siendo entonces la reacción muy violenta. Las mezclas de  $\text{H}_2$  y  $\text{O}_2$  son inertes a temperatura ambiente, pero muy peligrosas si no se manejan debidamente (Babor y Aznarez, 1977). Por lo tanto es muy recomendable que cuando se realice el experimento no debe de exponerse al calor y a una llama. (Hawley, 1993). También se puede instalar una trampa y conducir el gas a una quema controlada.

En la NOM-052-SEMARNAT-1993 se establece que un residuo se considera peligroso por su corrosividad cuando en estado líquido o en solución acuosa presenta un pH sobre la escala menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12.5 (numeral 5.5.1 de la norma).

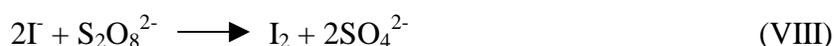
Para el experimento 2 se utilizan 18 soluciones como se indica en el Cuadro 18. Sustancias tales como el Hexano, Acetato de etilo, Cloroformo, Ácido acético y Ácido sulfúrico se encuentran en los listados de la NOM-052-SEMARNAT-1993 por lo que se consideran como peligrosos (Cuadro 20). De cada uno de ellos se generan al semestre 750 ml.

Tanto en los experimentos 3 y 7, que aportan 46 L de residuos líquidos, hay una oportunidad de optimización, siendo una de las prácticas para la prevención de la generación de los residuos en el laboratorio (Santos y Gavilán, 2002a; Santos y Gavilán, 2002b; Kreiner, 2002)

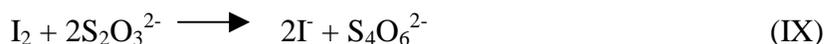
En el procedimiento del experimento 3 en el inciso c) se indica: “Llene el recipiente de plástico con agua hasta las tres cuartas partes de su capacidad, aproximadamente”. Aquí no se deja claro al estudiante la cantidad de agua utilizada. Para poder realizar este trabajo se observó que

“aproximadamente” se utilizan 500 mL de agua dando un total de 15 L de agua utilizada en un semestre. Para minimizar los residuos generados es importante aclarar en todos los procedimientos al estudiante que es exactamente lo que va a realizar y a utilizar. Si el inciso c) se cambiara por “Llene el recipiente de plástico con 350-400 mL de agua, aquí ya se esta reduciendo en un 30 o 20% la generación de residuos líquidos, con 10.5 o 12 L de agua respectivamente.

A continuación se analiza el experimento 7, en éste se hace el estudio de la cinética de una reacción, específicamente se estudia la rapidez con que se forma el I<sub>2</sub>. En su primera parte, se lleva a cabo la siguiente reacción lenta, entre los iones yoduro y peroxodisulfato:



En la segunda parte se determina el tiempo que tarda en formarse el I<sub>2</sub>, para lograr esto se hace la titulación del I<sub>2</sub> con iones tiosulfato:



La reacción (IX) es muy rápida. En (VIII) se forma yodo, pero en (IX) los iones S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup> reaccionan con el yodo y lo transforman en I<sup>-</sup>. Como la reacción (IX) es muy rápida el I<sub>2</sub> producido en (VIII) se gasta completamente a medida que se va produciendo. Tan pronto como todos los iones tiosulfato han reaccionado, el yodo producido en (VIII) permanece en forma molecular (Davis y Macnab, 1975).

Como (IX) se lleva a cabo muy rápido se utiliza agua fría para detener o hacer lenta la reacción y pueda ser titulado el I<sub>2</sub> producido (Ander y Sonnessa, 1975; Castka, *et al*, 1982) a intervalos fijos de tiempo (3, 10, 20, 30, 40, 50, y 60 minutos). En cada determinación de I<sub>2</sub> se utilizan 100 mL de agua fría, por lo tanto se utilizan 700 mL de agua por experimento, utilizándose 21 L en el semestre.

Davis y Macnab (1975) recomiendan que para calentar o enfriar las soluciones a la temperatura deseada, según convenga, colocar los vasos en un baño de agua y usar hielo para enfriar el baño de agua por debajo de la temperatura ambiente. De esta manera se evitarían los 21 L de residuos líquidos. O bien, como el agua fría sirve para detener o hacer mas lenta la reacción, sería

conveniente hacer pruebas con 50 mL y ver si es medible la reacción con este volumen de agua fría. Así se minimizarían los residuos generados en un 50%.

De las 5 sustancias químicas utilizadas en el experimento 2 consideradas como peligrosas, tres son disolventes orgánicos (Acetato de etilo, Cloroformo y Hexano) y 2 son ácidos (Ácido acético y Ácido sulfúrico). En el caso de los ácidos es conveniente neutralizarlos antes de desecharlos al drenaje. Vale la pena indicar, que algunos autores consideran que con esta práctica, lo que se hace es incrementar la descarga de sales a los mantos acuíferos, afectando a éstos en su posibilidad de recuperación (Carrillo y Cardona, 1998; Huízar y Carrillo, 1998; Patiño, 1998; Merin, 2004). De los disolventes orgánicos es preferible evitar su uso (Santos y Gavilán, 2002b). Para los disolventes orgánicos, en vez de desecharlos directamente al drenaje después de un único uso, es conveniente su recuperación para su posterior uso en la misma práctica.

La metodología desarrollada en el presente estudio, es una propuesta a seguir para establecer un modelo conceptual<sup>2</sup> ambientalmente seguro en el manejo adecuado de los residuos no peligrosos y los considerados como peligrosos, por la legislación ambiental mexicana, generados por los diferentes laboratorios de la UP. En primera instancia se abordó el punto de las sustancias químicas existentes en el laboratorio de química (MODELO 1) y después se caracterizaron en forma cualitativa los residuos generados por los 7 experimentos de acuerdo a la NOM-052-SEMARNAT-1993 (MODELO 2).

Para establecer un método de tratamiento de los residuos específicos de un laboratorio, se deben de considerar diferentes aspectos, como son, volumen, frecuencia de generación, tipo de residuos, si éste es una mezcla o no, si está en solución acuosa o no, si es mezcla, en que concentración se encuentra cada componente, si es un residuo con mas de una fase, costo-beneficio del tratamiento, tipo de laboratorio, etcétera (Gadea, 1994; Ávila, *et al*, 2001).

---

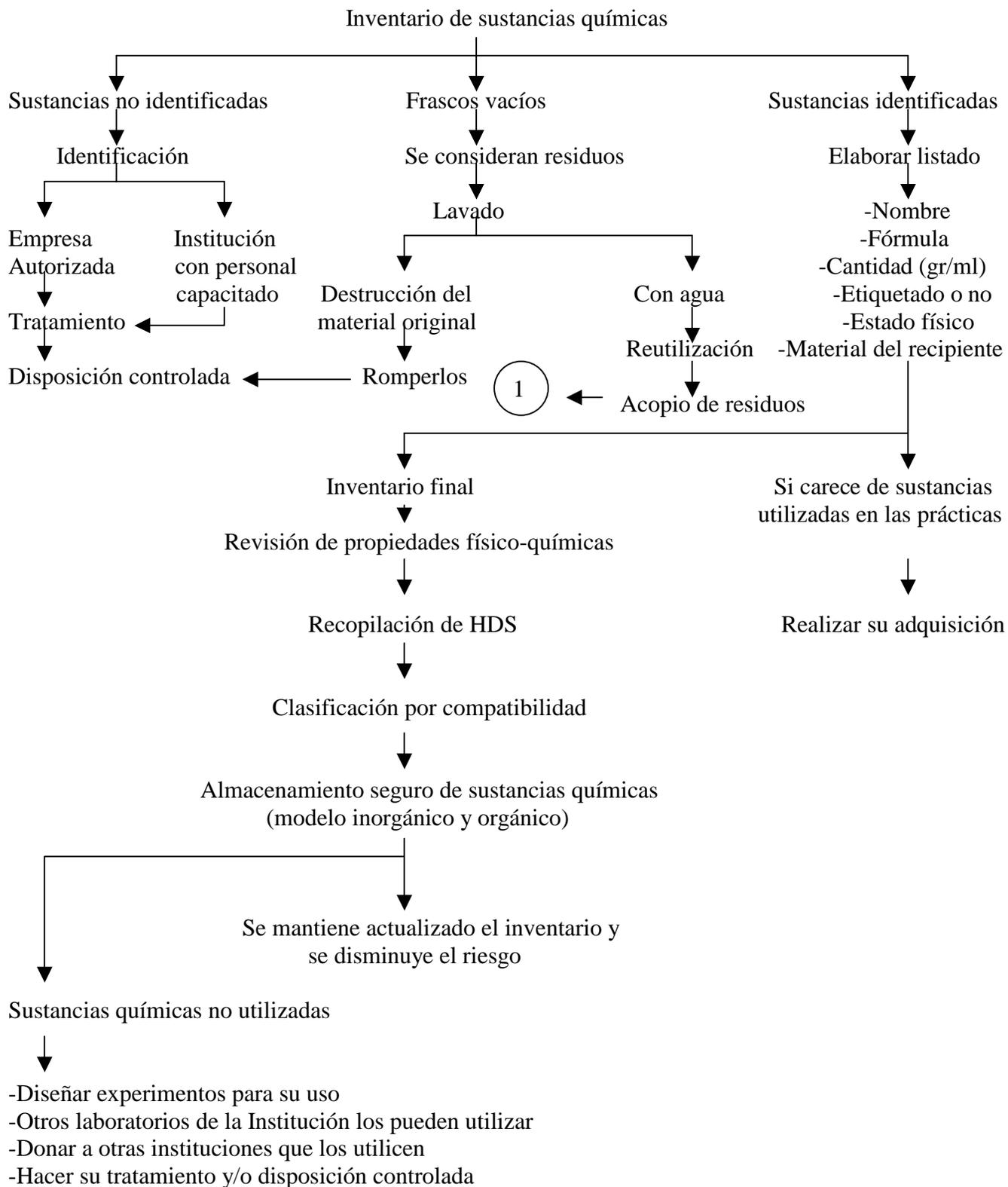
<sup>2</sup> MODELO. Descripción simplificada de un sistema que se emplea como una ayuda para el entendimiento del sistema. Los modelos pueden ser verbales o matemáticos. Los modelos se pueden construir como modelos simples (flexibles y adaptables), que se inician con los detalles mas indispensables y se van añadiendo los que van siendo necesarios (Allaby, 1984).

Según Badiu (1978), los modelos se dividen en dos grupos: A) Modelos abstractos, son objetos escripturales, es decir, los modelos propiamente matemáticos y B) Montajes materiales, se presentan en el espacio, de una manera sintética procesos no espaciales: graficas, diagramas, etc., para su elaboración se utilizan símbolos, para mostrar las relaciones existentes.

También hay que considerar las necesidades, instalaciones y equipo disponible en el laboratorio, así como, cumplir con todas las regulaciones legales ambientales (Gadea y Guardino, 1991; Mercader, 1998).

Alternativamente, se puede elegir una empresa especializada en tratamiento de RP, concertando la periodicidad de la recolección, conocer los procesos empleados por la empresa, registros legales y su solvencia técnica (Gadea y Guardino, 1991; Mercader, 1998).

**MODELO CONCEPTUAL 1. MODELO PARA MANTENER ACTUALIZADO EL INVENTARIO DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS DE UN LABORATORIO**



HDS- Hoja de datos de seguridad





## 11. CONCLUSIONES

1. De los reactivos disponibles en el laboratorio de química de la Universidad Panamericana, únicamente se emplea el 42%.
2. Solamente el 37% de los reactivos utilizados en el laboratorio de química se consideran peligrosos.
3. El 95% de los residuos generados durante las actividades del laboratorio no son peligrosos y se vierten por la tarja. Estos residuos son soluciones acuosas con sales inorgánicas y sales orgánicas.
4. Durante el desarrollo de las actividades prácticas, es posible reducir en un 80% la generación de residuos.
5. Los residuos peligrosos Acetato de etilo, Cloroformo y Hexano deben de recuperarse y reutilizarse, mientras que los Ácidos acético y sulfúrico deben neutralizarse y eliminarse por la tarja.
6. Con la adopción y operatividad del modelo conceptual que se propone para el manejo de los residuos peligrosos, el Laboratorio de Química de la Universidad Panamericana reduciría en un 85% su actual impacto sobre el ambiente.

## 12. RECOMENDACIONES

Únicamente deben de tenerse almacenados las sustancias químicas que estén dentro de especificación, que conserven su etiqueta apropiada de identificación y que sean compatibles. Si hay incompatibilidad es necesario almacenarlas de manera independiente

Tanto por razones de seguridad como económicas, se debe de contemplar la posibilidad de minimización de residuos, optimizando la gestión de stocks de sustancias químicas, para no generar por la vía de productos no utilizables o caducados.

Recopilar las Hojas de Seguridad para todas las sustancias químicas existentes en el almacén del Laboratorio de Química.

Hacer las validaciones necesarias para ver la posibilidad de optimizar los experimentos 3 y 7

Continuar con el diagnóstico de los otros laboratorios de la Escuela de Ingeniería Industrial: Física, Termodinámica, Mecánica de Fluidos, Procesos de Manufactura y Máquinas Térmicas e Hidráulicas.

Elaborar el diagnóstico de los residuos generados por los laboratorios de otras escuelas de la Universidad Panamericana: Comunicación, Medicina, Tecnologías de Información.

De todo lo expuesto, se pone de manifiesto que un laboratorio debe de tener adecuadas condiciones de trabajo y que la tendencia actual implica inevitablemente el control, tratamiento y disposición controlada de los residuos generados en el mismo, por lo que la gestión es un aspecto imprescindible en su administración. La implementación del Programa se puede lograr de forma gradual, es relativamente fácil y no es muy costoso. Es loable mencionar que la Universidad Panamericana es beneficiada directamente proyectando una imagen diferente a la sociedad, además de que contribuye, como institución educativa, al cuidado del ambiente.

### 13. BIBLIOGRAFÍA

Allaby, M. 1984. Diccionario del medio ambiente. Ed. Pirámide. Madrid, España.

Ander, P. y Sonnessa, A. J. 1975. Principios de química. Introducción a los conceptos teóricos. 1ª reimpresión, Limusa, México, 845 p.

Ávila, Z. J. G.; García, M. C.; Gavilán, G. I. C.; León, C. F.; Méndez, S. J. M.; Pérez, C. G.; Rodríguez, A. M. A.; Salazar, V. G.; Sánchez, M. A. A.; Santos, S. E. y Soto, H. R. M. 2001. Química Orgánica. Experimentos con un enfoque ecológico. 1ª edición. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial, UNAM, México.

Babor, J. A. y Aznárez, J. I. 1977. Química general moderna. Época. México, 902 p.

Badiu, A. 1978. El concepto de modelo. Bases para una epistemología materialista de las matemáticas. 3ª Ed. en español, Ed. Siglo XXI, México.

Bazúa-Durán, M. C. 1996. Reutilización de residuos ácidos de cromo: una metodología aplicable en ámbitos académicos e industriales. *Educación Química*. 7(4): 210-213.

Bravo, A.; Bravo, V.; Cruz, V.; Sánchez, R. y Velasco S. 1996. Mecanismo de recolección, análisis y disposición de residuo peligrosos en la planta piloto de la Facultad de Química de la UNAM. *Educación Química*, 7(2): 103-104.

Brown, T. L. y Lemay, H. L. 1987. Química, la ciencia central. 3ª ed., Prentice-Hall, México, 893 p.

Budavary, S. 1996. The merck index. An encyclopedia of chemical, drugs and biology. 12º Ed. Merck Research Laboratories, Merck and Co., Inc. USA.

Cabañas, D. V. y Alcocer V. V. 1997. Diagnóstico de la generación de residuos peligrosos en el Laboratorio de Servicios a la Industria de la Facultad de Ingeniería Química de la UADY. Memorias del IX Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Zacatecas,

México, noviembre/1997. [en línea] [Lima, Perú] [citado 12 diciembre 2002]. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/mexico11/rs-8.pdf>

Carrillo, R. J. J. y Cardona A. 1998. “Relación agua subterránea y ambiente”. Memoria del simposio internacional de aguas subterráneas. J. Z. Castellanos, J.J. Carrillo y C. Hernández (Editores), León Gto., México, del 7 al 9 de diciembre, pp 122-136.

Castka, J. F.; Metcalfe, H. C. y Williams, J. E. 1982. Química moderna. Nueva edición, Interamericana, México.

CCE, 1998. CÉSPEDES. Residuos Industriales Peligrosos en México: Políticas, Inversiones e Infraestructura [en línea] [DF, México] abril 1998 [citado 10 diciembre 2002]. Disponible en: <http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones>

Cervantes, G. J. A. 2002. “Intersección legislativa por diferentes secretarías”. Módulo I: Legislación. Memorias del Diplomado en Materiales y Residuos Industriales Peligrosos, del 11 al 26 de octubre, UNAM, FQ.

Chávez, M. M.; Mendoza, L. A.; Ortiz, M. A.; Rosas, A. R. y Fernández, L.S. 1996. Tratamiento de residuos en el laboratorio de docencia, reacciones y enlace químico. *Rev. Soc. Química de México*, 40 (Número especial): 161.

Cortinas, C. 2001. Los residuos peligrosos en México, una perspectiva para la reflexión. *NOTAS, revista de información y análisis*. Oct – Dic, No. 16, pp 76-83.

Cortinas, C. 2002a. “Definición y clasificación de residuos peligrosos”, en C. Cortinas y C. Mosler (Editoras), *Gestión de residuos peligrosos*, PUMA, UNAM, México, pp 81 – 100.

Cortinas, C. 2002b. “Legislación de la gestión de residuos peligrosos”, en C. Cortinas y C. Mosler (Editoras), *Gestión de residuos peligrosos*, PUMA, UNAM, México, pp 155 – 196.

Cortinas, C. y Vega S. 1993. Residuos peligrosos en el mundo y en México. Serie monografías No. 3. SEDESOL. INE. México.

Davis, J. E. y Macnab, W. K. 1975. Manual de laboratorio para química: experimentos y teoría. Reverte, España.

Dodd, R. E. y Robinson, P. L. 1965. Química inorgánica experimental. Una guía de trabajo de laboratorio, Reverte, España, 403p.

Domínguez, X. A. 1990. Experimentos de química general e inorgánica. 8ª reimpresión, Limusa, México. 174p.

DOF, 25/11/1988. Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de residuos peligrosos.

DOF, 7/04/1993. Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.

DOF, 22/10/1993. NOM-052-SEMARNAT-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.

DOF, 22/10/1993. NOM-054-SEMARNAT-1993. Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o mas residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana NOM-052-SEMARNAT-1993.

DOF, 15/12/1998. NOM-005-STPS-1998. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

DOF, 13/03/2000. NOM-010-STPS-1999. Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.

DOF, 27/10/2000. NOM-018-STPS-2000. Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.

DOF, 8/10/2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos

Durán, C. 2002. Concluyó el acuerdo bilateral GTZ. Gaceta, órgano informativo de la FQ. UNAM, VI(65).

Ferguson, H. W.; Schmuckler, J.S.; Caro, A. N. y Siegelman, I. 1975. Laboratorio de química, investigaciones. 2ª reimpresión, Publicaciones Cultural, México, 233p.

Flores, H. y Caballero, A. Y. 1996. El reciclaje, opción para el manejo de residuos sólidos. *Rev. Soc. Química de México*, 40 (Número especial): 125

Gadea, C. E. y Guardino, S. X. 1991. Eliminación de residuos en el laboratorio: procedimientos generales. Nota Técnica de Prevención 276 [en línea] [Madrid, España] 1991 [citado 28 mayo 2003]. Disponible en: [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_276.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_276.htm)

Gadea, C. E. 1994. Seguridad en el laboratorio: gestión de residuos tóxicos y peligrosos en pequeñas cantidades. Nota Técnica de Prevención 359 [en línea] [Madrid, España] 1994 [citado 28 mayo 2003]. Disponible en: [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_359.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_359.htm)

García, R. G. 2000. “Ordenan reubicar tóxicos de CFE”. En *El Universal*, D. F. (México), 28/02/2000, p. B2.

Gómez, O. M. T. y Franco, L. J. 2001. Diagnóstico ambiental de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala. [en línea] [DF, México] octubre 2001 [citado 10 enero 2003]. Disponible en: <http://www.iztacala.unam.mx/temas/foropaea/19TB12Ia.htm>

González, R. M. y Montiel, N. M. 1996. ¿Y ahora que hago con esto? *Rev. Soc. Química de México*, 40 (Número especial): 162.

Hawley, 1993. Diccionario de química y productos químicos. Revisado por N. I. Sax y R. J. Lewis. Nueva edición. Omega, Barcelona, España.

Herrera, 2003. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Oficina de Gestión de Residuos. [ambientalcampus@ulpgc.es](mailto:ambientalcampus@ulpgc.es)

Huizar, A. R y Carrillo R. J.J. 1998. “Panorama general del agua subterránea en la Ciudad de México”. Memoria del simposio internacional de aguas subterráneas. J. Z. Castellanos, J.J. Carrillo y C. Hernández (Editores), León Gto., México, del 7 al 9 de diciembre, pp 61-68.

INE, 1989. Acuerdo por el que se dan a conocer los formatos en los que la industria nacional debe declarar el volumen y tipo de generación de residuos peligrosos, señalados en el reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos. Gaceta Ecológica, Núm. 2 [en línea] [D. F. México] 16 mayo 2002 [citado 06 mayo 2003]. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/188/acuerdo.html>

INE, 1994. Bases para una política nacional de residuos peligrosos. SEDESOL, México. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion>

INE, 1998. Avances en el desarrollo de indicadores para la evaluación del desempeño ambiental en México de 1997. SEMARNAP, México.

INE, 2000. Evolución de la política nacional de materiales, residuos y actividades altamente riesgosas. SEMARNAT, México.

Kravzov, J. J. y Altagracia, M. M. 1991. Manual de técnicas de seguridad en los laboratorios químicos de docencia e investigación. Div. de Ciencias Químico Biológicas y de La Salud, UAM Xochimilco, México, 39p.

Kreiner, I. 2002a. “Tecnologías para el tratamiento de residuos peligrosos”, en C. Cortinas y C. Mosler (Editoras), Gestión de residuos peligrosos, PUMA, UNAM, México, pp 277– 306.

Kreiner, I. 2002b. “Tecnologías de restauración de suelos”, en C. Cortinas y C. Mosler (Editoras), Gestión de residuos peligrosos, PUMA, UNAM, México, pp 339 – 378.

Limón, L.; Gavilán, I. C. y Santos, E. 1996. Identificación, análisis y clasificación de residuos plásticos generados en la práctica de la medicina. *Rev. Soc. Química de México*, 40 (Número especial): 104

López, L.; Galván, M. A.; García, E. y Loyo, E. 1995. Centro de acopio de desechos sólidos de la FES Zaragoza. *Boletín de Investigación, Educación y sus Nexos*, 2(1): 20-22.

López, A. J. J. y De Haro, D. J. H. 2000. Residuos Peligrosos Domésticos (Sustancias Peligrosas en el Hogar). [en línea] [Lima, Perú], julio 2000 [citado 9 diciembre 2002]. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsare/e/sustpeli/sustpeli.pdf>.

Martínez, M. 2002. “Diseño de programas preventivos, seguridad en el manejo de los residuos peligrosos”. Módulo II: Seguridad e Higiene. Memorias del Diplomado en Materiales y Residuos Industriales Peligrosos, 22 y 23 de noviembre, UNAM, FQ.

Mercader, T. F. E. 1998. Sistema de manejo de residuos de laboratorio. 2ª. Ed. CENAM, Área de metrología de materiales, Publicación Técnica CNM-MRD-PT-007, México, 51p.

Merin, A. 2004. Ganancias por reciclar materiales peligrosos y no peligrosos. 1ª parte. *Teorema Ambiental. Revista especializada en tecnología ambiental*. No. 44, Febrero – Marzo, pp 46-47.

Messera, M.; Piñeda, H.; Reartes, N. y Bologna C. 1998. Gestión Integral de Residuos Peligrosos en la Universidad Nacional de Río Cuarto [en línea] [Río Cuarto, Argentina] [citado 04 noviembre 2002] Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/resisoli/peru/argres002.pdf>

Morales, A. y Jiménez, G. 1993. Medidas de seguridad e higiene en el manejo de residuos peligrosos. Tesis de licenciatura Ingeniería Química, UNAM, FES Zaragoza, 125p.

Mosler, C. 2002. “Métodos para la estimación de la generación de residuos peligrosos”. en C. Cortinas y C. Mosler (Editoras), Gestión de residuos peligrosos, PUMA, UNAM, México, pp 379-404.

MTAS, 1994. International Chemical Safety Cards, Hidróxido de Sodio. [en línea] [Madrid, España] 1994 [citado 11 septiembre 2003]. Disponible en: <http://www.mtas.es/insht/ipcsnspn/nspn0360.htm>

Muñiz, S. 2002. “Genera PEMEX tiraderos ilegales. Arrojan residuos peligrosos en Tamaulipas”. En *Reforma*, D. F. (México), 29/04/2002, p. 34A.

Noticia, 2001. Órgano de difusión de la Universidad Panamericana. Nueva época, Núm. 146, Noviembre 2001, México, D.F.

Noticia, 2003a. Órgano de difusión de la Universidad Panamericana. Año XVIII, Núm. 156, Dic-Enero 2003, México, D.F.

Noticia, 2003b. Órgano de difusión de la Universidad Panamericana. Año XVIII, Núm. 161, Agosto 2003, México, D. F.

Nuño, A. J. L.; Rodríguez, G. A.; Pérez, P. K. 1996. Manejo de residuos químicos: ¿un problema? o ¿una oportunidad de educación química? *Rev. Soc. Química de México*, 40 (Número especial): 161.

Ortiz M. F., Cortinas C. y Maffey G. L. 1987 Manejo de los desechos industriales en México. Fundación Universo XXI, México.

Patiño, H. L. D. 1998. “Importancia de los sistemas de tratamiento de agua residual en el manejo eficiente del agua en la industria”. Memoria del simposio internacional de aguas subterráneas. J. Z. Castellanos, J.J. Carrillo y C. Hernández (Editores), León Gto., México, del 7 al 9 de diciembre, pp 190-200.

Peralta, J. 2002. “Alarman desechos abandonados”. En *Reforma*, D. F. (México), 08/07/2002, p. 2A.

Perry, R. H. 1992. Manual del Ingeniero Químico Perry. TOMO I. 3ª Ed. en español, McGraw-Hill, México.

Reartes, N. 2003. Universidad Nacional de Río Cuarto, Fac. de Ingeniería, Dpto. de Tecnología Química, nreartes@ing.unrc.edu.ar

Rivero, S. O.; Ponciano, R. G y González, M. S. 1997. Los residuos peligrosos en México. PUMA, UNAM, México.

Roldan, V. J. 2002. “Tiradero clandestino de químicos”. En *El Universal*, D.F. (México), 02/06/2002, p. B10.

Rosas, A. D. y Gutiérrez, C. P. 2000. Estudio de generación de residuos peligrosos domésticos en una zona habitacional. 12° Congreso Nacional de la Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales A. C. [en línea] [DF, México] [citado 04 noviembre 2002]. Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/resisoli/mexicona/R-0181.pdf>

Saldaña, H. M. 2000. “Inadecuado manejo a residuos tóxicos”. En *El Universal*, D. F. (México), 30/01/2000, p. B3

Sánchez, G. J. 2003. “Alternativas de tratamiento para la valorización de los residuos peligrosos”. Módulo III: Tecnologías para el tratamiento y disposición. Memorias del Diplomado en Materiales y Residuos Industriales Peligrosos, del 17 de enero al 15 de febrero, UNAM, FQ.

Santos, E. 2003. “Introducción a los tratamientos, minimización en la generación”. Módulo III: Tecnologías para el tratamiento y disposición. Memorias del Diplomado en Materiales y Residuos Industriales Peligrosos, del 17 de enero al 15 de febrero, UNAM, FQ.

Santos, E. y Gavilán, I. C. 2002a. “Generación de residuos peligrosos en instituciones educativas”, en C. Cortinas y C. Mosler (Editoras), Gestión de residuos peligrosos, PUMA, UNAM, México, pp 127-138.

Santos, E. y Gavilán, I. C. 2002b. “La minimización y su importancia”, en C. Cortinas y C. Mosler (Editoras), Gestión de residuos peligrosos, PUMA, UNAM, México, pp 139-154.

Santos, E. y Gavilán, I. C. 2002c. Manual de procedimientos de seguridad en los laboratorios de la UNAM. 2ª Edición, DGIRE, UNAM, México.

Santos, E.; Gavilán, I. C.; Korkowski, I. y Benítez, C. 1996. El cuidado del ambiente en la enseñanza integral de la química orgánica. *Rev. Soc. Química de México*, 40(6): 275-280.

SEMARNAP, 1997. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente / Delitos ambientales. 1ª Ed. México, 205p.

SEMARNAT, 2003. Informe de la situación del medio ambiente en México 2002. Compendio de estadísticas ambientales. México, pp 103-126.

SEMARNAT, 2005. Legislación ambiental. [en línea] [D. F. México] enero 2002 [citado 02 octubre 2005]. Disponible en: <http://www.portal.semarnat.gob.mx>

Soto, V. F.; Obaya, V. A. y Guerrero, C. 1996. Almacenamiento y manipulación de los residuos peligrosos. *Rev. Soc. Química de México*, 40(5), 220-229.

Torres, E. y Castrellón, J. P. 2000. Minimización del impacto ecológico empleando microescala en los laboratorios de enseñanza Química. *Educación Química*. 11(2): 262-265.

Torres, E.; López, J. L.; Romero, A. M.; Ramírez, E. G. y Alcalá, A. 1996. Programa para la administración de residuos de laboratorios químicos. *Rev. Soc. Química de México*, 40 (Número especial): 125.

UNAM, 1999. Unidad de gestión ambiental. [en línea] [DF, México] febrero 1999 [citado 14 enero 2003]. Disponible en: <http://serpiente.dgsca.unam.mx/residuos>

Universidad Panamericana, 2002a. Escuela de Ingeniería. Manual de prácticas de química.

Universidad Panamericana, 2002b. Plano descriptivo de la UP. Elaborado por Relaciones Públicas.

Zarco, E. R. 1990. Seguridad en laboratorios: prevención de accidentes y primeros auxilios en laboratorios químicos. Trillas, México

# APÉNDICE A

## CÓDIGO DE REACTIVIDAD

CÓDIGO DE REACTIVIDAD	CONSECUENCIAS DE LA REACCIÓN
H	Genera calor por reacción química
F	Produce fuego por reacciones exotérmicas violentas y por ignición de mezclas o de productos de la reacción.
G	Genera gases en grandes cantidades y puede producir presión y ruptura de los recipientes cerrados.
gt	Genera gases tóxicos
gf	Genera gases inflamables
E	Produce explosión debido a reacciones extremadamente vigorosas o suficientemente exotérmicas para detonar compuestos inestables o productos de reacción
P	Produce polimerización violenta, generando calor extremo y gases tóxicos e inflamables
S	Solubilización de metales y compuestos metales tóxicos
D	Produce reacción desconocida. Sin embargo debe de considerarse como incompatible la mezcla de los residuos correspondientes a este código; hasta que se determine la reacción específica.

Anexo "3" de la NOM-054-SEMARNAT-1993

## APÉNDICE B

### MODELO INORGÁNICO PARA EL ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS (De arriba hacia abajo aumenta la peligrosidad)

A	Azufre, Fósforo, Arsénico
B	Haluros, Sulfatos, Fosfatos, Tiosulfatos, Sulfitos
C	Amidas, Nitratos, Nitritos, Excepto $\text{NH}_4\text{NO}_3$
D	Metales, Hidruros
E	Arsenatos, Cianuros, Cianatos
F	Hidróxidos, Óxidos, Carbonatos, Carbón, Silicatos
G	Carbueros, Nitruros, Sulfuros
H	Boratos, Cromatos, Manganatos, Permanganatos
I	Ácidos en la base (excepto nítrico y cianhídrico)

(Santos y Gavilán, 2002c)

### MODELO ORGÁNICO PARA EL ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS (De arriba hacia abajo aumenta la peligrosidad)

A	Alcoholes, Glicoles, Aminas, Amidas, Azúcares
B	Hidrocarburos, Esteres, Aldehídos
C	Éteres, Cetonas, Halogenados
D	Isocianatos, Epoxy compuestos
E	Sulfuros, Nitrilos, Sulfóxidos, Polisulfuros
F	Fenoles, Cresoles
G	Peróxidos, Azidas, Hidroperóxidos
H	Perácidos, Ácidos, Anhídridos (en la base)

(Santos y Gavilán, 2002c)

## APENDICE C

### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS

### HIDRÓXIDO DE SODIO

#### SECCIÓN I DATOS GENERALES DE LA HOJA DE SEGURIDAD

Fecha de elaboración	Junio de 2005
Vigencia	Junio de 2007
Elaboró	Isidoro Cruz García
Responsable	Jefe de laboratorio
Número de revisión	0
Teléfono de emergencia	Protección Civil de la Delegación Benito Juárez 55-43-41-75

#### SECCIÓN II DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

Nombre químico	Hidróxido de sodio, Hidróxido sódico
Nombre comercial	Hidróxido de sodio
Familia química	Cáusticos
Sinónimos	Sosa cáustica, Sosa, Lejía
Fórmula	NaOH

#### SECCIÓN III IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

Identificación	
Número CAS	1310-73-2
Número ONU	Sólido: 1823
	En solución: 1824
Límites Máximos Permisibles de Exposición Pico (LMPE-P / TLV)	2 mg/m <sup>3</sup>
Clasificación de los grados de riesgo	
Riesgo a la Salud	3
Riesgo de Inflamabilidad	0
Riesgo de Reactividad	1
Cancerígeno o Teratogénico	NO

#### SECCIÓN IV PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Temperatura de ebullición (°C)	1390
Temperatura de fusión (°C)	318.4
Temperatura de inflamación (°C)	Mayor a 1390
Temperatura de autoignición (°C)	Mayor a 1390

Densidad (agua=1)	2.1
Peso molecular (g/mol)	40.01
Estado físico	Sólido blanco, inodoro
Velocidad de evaporación	No aplica
Solubilidad en agua (g/100ml) a 20°C	109
Presión de vapor (kPa) a 739°C	0.13
Porcentaje de volatilidad	No es volátil
Límites de inflamabilidad o explosividad	
Inferior (°C)	815.5
Superior (°C)	Mayor a 1390
Otros datos	Higroscópico, delicuescente

### SECCIÓN V RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN

Medios de extinción	Bióxido de carbono, Polvo químico seco, Espuma química.
Equipo de protección personal (EPP)	El equipo debe prevenir cualquier posibilidad de contacto por salpicadura del producto con los ojos y la piel. Esto incluye anteojos de seguridad, guantes, mandil y respirador para polvos, ropa impermeable y resistente.
Procedimiento y precauciones especiales durante el combate de incendios	Avisar al Jefe del laboratorio o llamar al teléfono de emergencia. Evacuar inmediatamente la zona. Llevar puesto el EPP indicado.
Condiciones que conducen a otro riesgo especial	El contacto con la humedad o con el agua puede generar el suficiente calor para producir la ignición de sustancias combustibles. Los contenedores pueden explotar cuando se calientan.
Productos de la combustión que sean nocivos para la salud	No es combustible. El contacto con metales puede despedir hidrógeno gaseoso que es inflamable y explosivo.

### SECCIÓN VI DATOS DE REACTIVIDAD

Sustancia (Estable o inestable)	Estable
Incompatibilidad (Sustancia a evitar)	Ácidos fuertes, metales, materiales combustibles, agua, agentes oxidantes, Acetaldehído, Acroleína, acrilonitrilo
Productos peligrosos de la descomposición	Se descompone a temperaturas mayores a 1390°C produciendo Óxido de sodio y H <sub>2</sub> .
Polimerización espontánea	No puede ocurrir.
Condiciones a evitar	Puede generar calor en contacto con la humedad o el agua. NO verter NUNCA agua sobre esta sustancia, cuando se quiera disolver

	o diluir, añadirla al agua siempre lentamente.
--	--

## SECCIÓN VII RIESGOS A LA SALUD

### 1ª PARTE. PREVENCIÓN

Según la vía de ingreso al organismo	
Ingestión	No comer, no beber, ni fumar durante el trabajo.
Inhalación	Trabajar en extracción localizada o contar con protección respiratoria. Ventilación adecuada.
Contacto en la piel	Guantes y ropa de protección (bata de laboratorio).
Contacto en los ojos	Anteojos de seguridad (goggles)

### 2ª PARTE. EFECTOS A LA SALUD

Según la vía de ingreso al organismo	
Ingestión	Dolor abdominal, sensación de quemazón, diarrea, vómitos, colapso.
Inhalación	Sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria
Contacto en la piel	Enrojecimiento, graves quemaduras cutáneas, dolor. El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
Contacto en los ojos	Enrojecimiento, dolor, visión borrosa, quemaduras graves profundas.
Sustancia considerada como	
Carcinogénica	NO
Mutagénica	NO
Teratogénica	NO
Está incluida en la NOM-010-STPS-1999	SI

### 3ª PARTE. EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS

Según la vía de ingreso al organismo	
Ingestión	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito, dar a beber agua abundante.
Inhalación	Mover a la víctima al aire fresco y limpio, mantenerla en reposo, en posición semiincorporado, dar respiración artificial.
Contacto en la piel	Quitar las ropas contaminadas, lavar la piel con abundante agua o bañar a la víctima.
Contacto en los ojos	Enjuagar con abundante agua durante varios minutos. Quitar lentes de contacto si se puede hacer con facilidad.
<b>En todos los casos se debe de obtener atención médica inmediata</b>	

## **SECCIÓN VIII INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME**

Avisar al Jefe del laboratorio. No fumar, no provocar chispas o flamas en el área de peligro. Si es posible juntar la sustancia derramada e introducirla en un recipiente adecuado. Eliminar los remanentes con agua abundante. Siempre utilizar el EPP. Evacuar el área

## **SECCIÓN IX PROTECCIÓN ESPECIAL**

El equipo debe prevenir cualquier posibilidad de contacto por salpicadura del producto con los ojos y la piel. Esto incluye anteojos de seguridad, guantes, mandil y respirador para polvos, ropa impermeable y resistente.

## **SECCIÓN X INFORMACIÓN PARA TRASPORTARLO**

Siempre debe ser transportado en su contenedor y con mucho cuidado para evitar cualquier emergencia. Usar equipo de protección, evitar la inhalación y contacto, evitar la exposición prolongada

## **SECCIÓN XI INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

Muy corrosiva (cáustica) a tejidos animales y vegetales. Debe de prestarse atención especial cualquier contacto con los organismos acuáticos. Para el tratamiento de residuos: agregar agua, ajustar el pH a 7, verter por el drenaje.

## **SECCIÓN XII PRECAUCIONES ESPECIALES**

No transportar junto con alimentos. El almacén se debe de mantener seco y el recipiente bien cerrado. Se recomiendan los contenedores de PVC o Polietileno de alta densidad (PEAD) para un adecuado almacenamiento. En presencia de humedad corroe el aluminio.

Perry, 1992; Budavary, 1996; NOM-010-STPS-1999 (DOF, 13/03/2000); NOM-018-STPS-2000 (DOG, 27/10/2000); MTAS, 1994; Hawley, 1993