

# Gestión de Residuos en los Laboratorios de Química

## Management of Wastes in the Chemistry Laboratories

Jorge Eduardo Loayza Pérez

Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Dirección: C. U. Pabellón de Química. Oficina N° 222. Av. Venezuela s/n. Lima 1.

### Resumen

Las instituciones educativas y las empresas de servicios que cuenten con laboratorios de química o afines, para realizar experiencias de laboratorio o análisis químicos como parte de los servicios prestados a terceros, requieren al igual que las empresas productivas, de una gestión y un adecuado manejo de sus residuos químicos.

Para ello, deben elaborar y aplicar un Plan de Manejo de Residuos Químicos de Laboratorio y dependiendo del tamaño de la institución (u organización) deberán contar con un sistema de información conocido como Bolsa de Residuos Químicos (BRQ) para el reaprovechamiento de sus residuos generados. Si los residuos no pueden ser reaprovechados, deberán realizar un tratamiento de los mismos con la finalidad de desactivarlos para su disposición final.

No se debe olvidar que los costos asociados al manejo de los productos químicos tienen que incluir los costos de gestión y manejo de los residuos.

**Palabras clave:** laboratorio químico, residuos químicos, gestión de residuos, bolsa de residuos químicos.

### Abstract

The educative institutions and the companies of services that count on compatible laboratories of chemistry, in order to bring chemical experiences of laboratory or analyses as a part of a service to third, require, like the productive companies, of an appropriate management and handling of their chemical wastes.

For that purpose, they must elaborate and apply a Plan of Handling of Chemical Wastes of Laboratory and, depending on the institution or organization size, they will need to have an information system known as Bag of Chemical Wastes (BCW), in order to recycle its wastes. If the wastes cannot be recycled, they will have to treat them with the purpose of deactivating them for its final disposition. The costs associated to the handling of chemical agents have to include those of management and handling of wastes.

**Key words:** chemical laboratory, chemical waste, management of wastes, bag of chemical wastes.

### 1. Introducción

Un laboratorio químico (o un laboratorio de química) es una instalación en la cual se manejan una gran diversidad de reactivos químicos pero en pequeñas cantidades, cuya función no es la producción, y esto marca la diferencia con instalaciones que manejan reactivos químicos en grandes cantidades pero menos diversos, las empresas industriales.

La función que cumple un laboratorio químico depende de la naturaleza de la institución en la que se encuentre. En el caso de una institución educativa, un laboratorio sirve para demostrar las propiedades de determinadas sustancias y compuestos, comprobar alguna ley; así como entrenar a los futuros profesionales y técnicos en el manejo y aplicación de las técnicas más comunes usadas en los laboratorios. Los laboratorios químicos también se utilizan para la investigación y desarrollo de nuevos productos, para la investigación básica o aplicada. En el área de los servicios, en los laboratorios químicos se realizan ensayos para el control de calidad de materias primas y productos terminados, para el análisis de aire, agua y suelos, y para determinar la composición o pureza de determinados materiales. En las industrias que utilizan

---

e-mail: jeloayzap@yahoo.es

procesos químicos, los laboratorios sirven para el control de la materia prima e insumos, de los productos en proceso; así como de los productos y subproductos finales.

En todos estos laboratorios químicos se generan residuos que es necesario gestionar, para lo cual es necesario identificar opciones para la minimización de los residuos o alternativas para su reaprovechamiento (reuso –reutilización–, reciclaje o recuperación de un agente activo), tratamiento o disposición final.

Es importante que en las guías de prácticas de laboratorio, en los procedimientos de análisis, en los reportes de investigación o en determinados protocolos de análisis, se indique la gestión y el manejo de los residuos que se hubieran generado como resultado de la experiencia realizada, ya que estas consideraciones formarán parte de la calidad de los mismos. Por ejemplo, una práctica de laboratorio para que sea catalogada como de “calidad” deberá necesariamente indicar la forma de gestionar adecuadamente (ambientalmente) los residuos producidos como parte del proceso utilizado; igualmente esto debería considerarse en un trabajo de investigación, catalogado como publicable.

## 2. Residuos Químicos Generados por los Laboratorios<sup>1</sup>

La gestión y el manejo de residuos químicos generados en un laboratorio de química implica una serie de acciones encaminadas a la reducción, reaprovechamiento, tratamiento y disposición final de los mismos, con la finalidad de contribuir al ahorro y conservación de los materiales, proteger la salud y preservar el ambiente.

### 2.1. Origen de los residuos generados en los laboratorios de química y afines

En los laboratorios de química y afines, se pueden encontrar residuos químicos que son el resultado de diversas acciones y operaciones, muchas de ellas inadecuadas. Entre los principales tipos de residuos y sus diversos orígenes se encuentran:

– **Reactivos que han caducado:** Son reactivos que por falta de continuidad en su aplicación o utilización van siendo relegados dentro de los almacenes, y al cabo de cierto

tiempo ya no cumplen con las especificaciones para ser utilizados en el trabajo experimental.

– **Reactivos químicos que no cumplen con las especificaciones:** En la actualidad los reactivos químicos adquiridos en empaques originales traen fecha de vencimiento o caducidad, lo que no ocurre con reactivos comprados a granel y sin proveedor conocido.

– **Reactivos químicos preparados inadecuadamente:** Es muy frecuente que en los laboratorios de instituciones educativas donde los estudiantes están en proceso de aprendizaje cometan errores en la preparación de los reactivos. Esto también ocurre con analistas experimentados que por descuido incurren en este tipo de errores, lo cual es menos frecuente.

– **Reactivos químicos contaminados durante su manipulación:** Esto ocurre también con frecuencia en instituciones educativas. Este tipo de causa de contaminación de reactivos o soluciones disminuye cuando aumenta la destreza por parte de los estudiantes.

– **Muestras no deseadas:** En algunos casos los proveedores de reactivos químicos proporcionan muestras a los laboratorios para que sean ensayadas, en caso de no utilizarlas se transforman en residuos.

– **Reactivos en exceso resultante de compras no planificadas:** La falta de coordinación entre los encargados de los laboratorios y los encargados de la logística de la institución (u organización) hace que en algunos casos se compren reactivos en exceso o que no corresponden a la calidad (o especificación técnica) requerida para el trabajo de laboratorio.

– **Reactivos que pertenecen a proyectos cancelados o concluidos:** Por causas similares a las anteriores en muchos casos quedan reactivos excedentes al concluir o cancelar un proyecto. La solución se da con la implementación de la Bolsa de Residuos Químicos (BRQ).

– **Reactivos que eran utilizados por investigadores que ya no trabajan en el laboratorio:** La movilidad de algunos investigadores y la falta de continuidad en algunos proyectos genera la acumulación de reactivos, que luego requieren de una gestión adecuada, en este caso funciona muy bien la Bolsa de Residuos Químicos.

- **Otros:** Reactivos siniestrados, por ejemplo, contaminados por derrames.

A los productos químicos anteriormente indicados se les debe adicionar los residuos denominados de rutina, que son aquellos que se generan en procesos repetitivos. Entre los principales se tienen:

- Residuos de reactivos utilizados en prácticas de laboratorio.
- Residuos de reactivos utilizados en la investigación.
- Residuos de reactivos usados para el control de calidad.
- Residuos de reactivos usados en la calibración de equipos.
- Residuos de reactivos usados en pruebas ambientales.
- Solventes resultantes de las operaciones de limpieza.

La figura 1 nos muestra algunas formas como se generan los residuos químicos en el laboratorio.

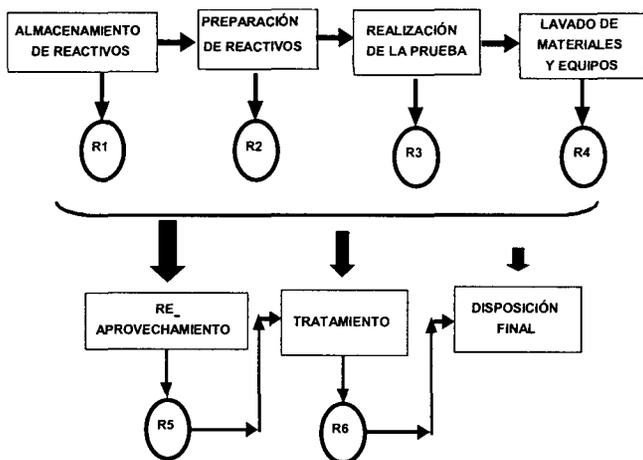


Figura N° 1. Generación de Residuos Químicos en el Laboratorio<sup>5</sup>

Donde:

- R1 = Residuos del almacenamiento (por ejemplo: reactivos que han caducado)
- R2 = Residuos de la preparación de reactivos (por ejemplo: soluciones mal preparadas)
- R3 = Residuos de la realización de la prueba (por ejemplo: formación de precipitados)
- R4 = Residuos del lavado de materiales y equipos (por ejemplo: aguas residuales)
- R5 = Residuos del reaprovechamiento (por ejemplo: papeles de filtro)
- R6 = Residuos del tratamiento (por ejemplo: formación de precipitados)

## 2.2. Sugerencias para la gestión y manejo de residuos de rutina:

Unas sugerencias básicas pueden servir de referencia para la implementación de un plan para la gestión y el manejo de los residuos químicos de laboratorios:

- **Empleo de mejores prácticas operativas (Buenas Prácticas Ambientales o BPA):** Esto implica capacitar al personal

para mejorar sus destrezas en el uso de técnicas de laboratorio.

- **Reducción de la escala o cantidad usada de reactivos en las prácticas de laboratorio:** Un principio para reducir la cantidad de residuos generados es utilizar menor cantidad de reactivos para demostrar una propiedad, ley o principio químico.
- **Rotulación o etiquetado adecuado de frascos y envases:** Olvidar rotular o etiquetar los reactivos o soluciones, o hacerlo inadecuadamente es causa frecuente de contaminación de reactivos y generación de residuos.
- **Sustitución de reactivos tóxicos por otros menos tóxicos:** Siempre que sea posible es necesario buscar un reactivo menos peligroso o menos tóxico para utilizarlo en las experiencias de laboratorio; ya que sus residuos incorporarán esta característica de peligrosidad a los mismos.
- **Mantenimiento preventivo de equipos:** Equipos defectuosos o materiales dañados pueden ser la causa de la contaminación de un reactivo o de la preparación inadecuada de una solución, lo cual generará residuos.

## 3. Plan de Manejo de Residuos Químicos de Laboratorio<sup>2</sup>

El Plan de Manejo de Residuos Químicos de Laboratorio, es un documento técnico operativo, elaborado con la finalidad de lograr una gestión ambientalmente adecuada de los residuos generados en los laboratorios químicos de una institución (u organización) (Figura 2).

Etapas básicas para la elaboración de un Plan de Manejo:

1. Realizar un inventario de los residuos químicos generados en los laboratorios con los que cuenta la institución, indicando la frecuencia de generación y la cantidad generada (calculada o estimada).
2. Identificar las áreas críticas; es decir, aquellos lugares en los cuales se pueden generar situaciones potencialmente peligrosas.
3. Revisar todos los métodos de análisis (en los laboratorios que prestan servicios de análisis químicos – laboratorios

de servicios) o el contenido de las prácticas de laboratorio (laboratorios de instituciones educativas o similares) e identificar aquellas etapas que generan residuos. Se pueden utilizar diagramas de bloques para los procedimientos a seguir en experiencias de laboratorio o en marchas analíticas, detallando los pasos que generan residuos; así como sus formas de gestión y manejo (“diagramas ecológicos”).

4. Revisar el estado de los materiales y equipos.
5. Elaborar un Plan de Manejo Preliminar (PMP), como resultado de la revisión y evaluación de procesos, procedimientos, materiales y equipos; incluyendo recomendaciones, tales como:
  - Preparar la cantidad mínima de los reactivos.
  - Utilizar etiquetas para rotular los envases y recipientes para el almacenamiento de reactivos.
  - Utilizar el mismo código para los reactivos dentro de una misma institución, con la finalidad de ubicar, centralizar o intercambiar reactivos (esto facilitará el intercambio de residuos en la Bolsa de Residuos Químicos BRQ).
  - Efectuar el reuso o reutilización de envases para reactivos con similares características (algunas empresas que comercializan reactivos químicos, las tapas de los recipientes indican su nivel de peligrosidad).
  - Separar los materiales deteriorados con la finalidad de reparar aquellos que sea posible (por ejemplo, separar materiales de vidrio deteriorados).
  - Designar un lugar para el almacenamiento de los residuos, utilizando los recipientes colectores adecuados y rotulados: A, B, C, ..., K (o un sistema similar). Ver Cuadro N° 1.

- En el caso de que no sea posible evitar la generación de residuos, buscar la forma de reaprovecharlos (reusarlos, reciclarlos o recuperar algún compuesto o elemento valioso del mismo). Si no fuera posible su valorización, usar técnicas de desactivación, para su disposición final ambientalmente adecuada. En este caso se puede emplear reactivos residuales (por ejemplo, soluciones ácidas o alcalinas sobrantes o preparadas en exceso).

6. Explicar claramente al personal los objetivos del plan y las metas que se esperan alcanzar; esta etapa requiere la capacitación del personal: analistas y asistentes.
7. Poner en práctica el Plan de Manejo Preliminar (PMP), con la finalidad de validar las propuestas iniciales.
8. Evaluar el plan de manejo preliminar y plantear las mejoras necesarias, las cuales luego de ser validadas formarán parte del Plan de Manejo de Residuos Químicos de Laboratorio de la institución (u organización) o Plan de manejo Definitivo (PMD).
9. Hacer el seguimiento del Plan, en esta etapa se sugiere trabajar con indicadores; por ejemplo, cantidad de residuos generados por ensayo, cantidad de agua residual por práctica de laboratorio, etc.
10. Efectuar auditorías internas, por los responsables de cada área de trabajo, para realizar las correcciones oportunas al Plan.

Cuadro N° 1. Recipientes Sugeridos para el Almacenamiento de Residuos<sup>3</sup>

LETRA	TIPO DE RESIDUO
A	Solventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que no contengan halógenos
B	Solventes orgánicos y soluciones de sustancias orgánicas que contienen halógenos
C	Residuos sólidos orgánicos de productos químicos de laboratorio.
D	Soluciones salinas (hay que ajustar el pH entre 6-8)
E	Residuos inorgánicos tóxicos, así como sales de metales pesados y sus soluciones (cerrado herméticamente).
F	Compuestos combustibles tóxicos.
G	Mercurio y residuos de sales inorgánicas de mercurio.
H	Residuos de sales metálicas regenerables (cada metal debería recogerse por separado).
I	Residuos inorgánicos sólidos.
K	Almacenamiento separado de restos de vidrio, metal o plástico.

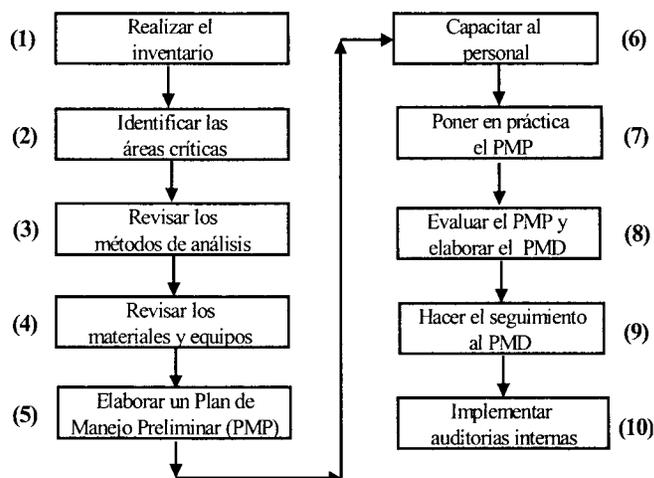


Figura N° 2. Diagrama de Flujo para la Implementación de un Plan de Manejo de Residuos Químicos en un Laboratorio

## 4. Bolsa de Residuos Químicos (BRQ)<sup>2</sup>

Es un sistema de información entre los diversos laboratorios de una institución (u organización); mediante el cual los residuos generados por un laboratorio pueden ser utilizados por otros laboratorios y viceversa; de esta forma es posible cerrar el ciclo de un residuo químico.

El responsable de la gestión y el manejo de residuos de la institución, podría encargarse también de ser el operador de la bolsa de residuos químicos.

### 4.1. Funciones de la Bolsa de Residuos Químicos

Entre las principales funciones de la BRQ, se tienen:

- Difundir información sobre la disponibilidad de residuos de laboratorio dentro de las diferentes dependencias de la institución.
- Establecer vínculos entre las dependencias generadoras de residuos y las dependencias interesadas en reaprovecharlos.
- Establecer una base de datos de los residuos de rutina.
- Identificar el uso alternativo de los residuos generados.

### 4.2. Ventajas de la Bolsa de Residuos Químicos

Las ventajas son tanto para la institución (u organización) como para la salud de los involucrados en el trabajo de laboratorio; así como para el medio ambiente. Entre las principales ventajas se tienen:

- Menor consumo de reactivos.
- Reducción de los residuos que van a disposición final.
- Disminución de los costos de disposición de los residuos.
- Diseño de nuevos métodos para el reaprovechamiento de los residuos.
- Protección de la salud del personal y de la comunidad; así como, la reducción de la contaminación ambiental ocasionada por la gestión inadecuada de los residuos químicos.

### 4.3. Requisitos para que una Bolsa de Residuos Químicos funcione

Los requisitos se basan en la existencia de lineamientos de política ambiental de la institución, que supongan la existencia de un Plan de Manejo de Residuos Químicos, destacando:

- El compromiso de todos agentes involucrados en el trabajo con reactivos químicos y con los residuos químicos, para cumplir con lo estipulado en las políticas ambientales y en el plan de manejo.
- Los residuos de laboratorio no deben mezclarse, por tal motivo requieren una segregación y una recolección selectiva (por separado).

## 5. El Costo Real de un Reactivo y de un Residuo Químico<sup>4</sup>

Desde el punto de vista económico, un reactivo químico tiene un costo para el laboratorio (o la institución), que en realidad es mayor que el precio (**P**) pagado al proveedor. Esto debe ser evaluado por los encargados de administrar los productos y residuos químicos, ya que el producto químico tiene un "ciclo de vida" dentro de la institución, desde que es adquirido, lo cual implica una serie de costos. Los principales costos a considerar son:

- Costos de almacenamiento (**Ca**),
- Costos de mantenimiento (**Cm**),
- Costos de distribución interna (**Cd**),
- Costos de disposición final (en caso de caducidad) (**Cdf**),
- Costos de tratamiento (cuando se ha convertido en residuo) (**Ct**).

Teniendo en cuenta los costos anteriores, el costo real (**Cr**) de un reactivo químico será:

$$Cr = P + Ca + Cm + Cd + Cdf + Ct$$

Por lo tanto, si se quiere disminuir el costo que para una institución implica el manejo de un producto químico, se deberá tener en cuenta que para tomar una decisión sobre la cantidad a comprar, puede rastrearse un producto químico desde su adquisición hasta su utilización en el laboratorio. El problema que se observa con mayor frecuencia es el almacenamiento descentralizado (en laboratorios individuales o almacenes por área); este sistema produce excedentes de productos químicos en un área física de la institución (laboratorio), que podrían utilizarse en otra.

## 6. Desactivación de Residuos de Laboratorio<sup>3</sup>

La desactivación de residuos de laboratorio, clasificados como peligrosos, es una alternativa de gestión que en muchos

casos requiere de procedimientos, materiales y reactivos similares a los utilizados en una práctica de laboratorio o en un análisis químico.

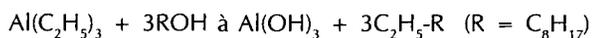
Como ejemplo, se presentan los siguiente casos:

#### a. Alquilos de aluminio:

Los alquilos de aluminio son extremadamente sensibles al aire y a la hidrólisis; por tal motivo para su desactivación se diluyen con un solvente inerte, (por ejemplo, bencina de petróleo) bajo gas inerte y se trata, gota a gota, con 1-octanol. Al finalizar la reacción se añade agua, al comienzo, gota a gota.

Para el manejo seguro de estos compuestos se recomienda utilizar la jeringa para alquilos de aluminio.

Ejemplo:



**Materiales y equipos:** Matraz de dos bocas, refrigerador con serpentín metálico y salida de gas a través de un tubo de goma, directamente al canal de la ventilación, bureta con compensación de presión, agitador magnético. Realizar la desactivación bajo campana de ventilación con frente protector cerrado.

**Equipo de Protección Personal (EPP):** Guantes, lentes de seguridad y mandil de algodón.

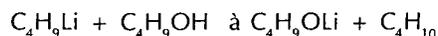
#### b. Compuestos organo-metálicos

Los compuestos organo-metálicos disueltos generalmente en solventes orgánicos, sensibles a la hidrólisis, se gotean cuidadosamente, bajo agitación constante en 1-butanol en una campana extractora, detrás de una pantalla protectora.

Los gases inflamables que se producen, se pasan por medio de un tubo de goma directamente al canal de ventilación técnicamente diseñado. Después de finalizada la generación de gases, se sigue agitando durante una hora más y posteriormente se añade un exceso de agua.

La fase orgánica se recolecta en el recipiente colector A (para residuos orgánicos). La fase inorgánica se recolecta en el recipiente colector D (para residuos inorgánicos).

Ejemplo:



**Materiales y equipos:** Matraz de dos bocas, agitador magnético, bureta, refrigerante con serpentín metálico, campana extractora con frente de seguridad cerrado.

**Equipos de Protección Personal (EPP):** Usar lentes, guantes y mandil de algodón.

## 7. Sugerencias Generales para Minimizar la Cantidad y la Peligrosidad de Residuos Químicos<sup>5</sup>

Los usuarios de productos químicos deberían procurar establecer procedimientos para ayudar a controlar la generación de residuos químicos:

- **Adquirir material no tóxico** o el menos tóxico, para el uso en el laboratorio;
- **Usar productos compatibles.** Por ejemplo, utilizar uno o el mínimo número de solventes como para que el laboratorio (o laboratorios) aumente la posibilidad de reaprovechar los residuos generados (vía recuperación).
- **Comprar sólo lo necesario.** Un sobre stock significa, tanto la disponibilidad de un elevado capital; así como pérdidas por derrames o acumulación de reactivos no utilizados.
- **Tratar de adquirir materiales en contenedores adecuados** (del tamaño y la cantidad requerida).
- **Promover el uso en conjunto** de los productos químicos o el intercambio de los mismos entre usuarios comunes (BRQ).
- **Evitar comprar productos químicos que tengan una limitada vida segura.** Tales productos químicos deberían sólo ser ordenados para satisfacer una necesidad específica en el momento indicado.
- **Mantener un inventario dinámico para los materiales en stock.**

## 8. Simulación de Experimentos de Química<sup>7</sup>

Gracias a los adelantos y mejoras en la capacidad (memoria), velocidad y software disponible especializado, es posible la simulación de experimentos. En el futuro esto contribuirá a lograr una disminución considerable en la generación de contaminación en muchos laboratorios.

Se pueden encontrar muchas empresas que ofrecen simulación de experimentos de química, se presenta como ejemplo el Chemlab. El ChemLab es un programa de simulación interactiva de un Laboratorio de Química. Los procedimientos y equipos de laboratorio ampliamente utilizados, se emplean para simular las distintas etapas involucradas en la realización de un experimento químico. El equipamiento de laboratorio incluye: vasos de precipitado, embudos Büchner, mecheros Bunsen, buretas, matraces Erlenmeyer, cápsulas de evaporación, probetas graduadas, tubos de ensayo, lunas de vidrio-reloj, calorímetro y otros.

Los procedimientos de laboratorio incluidos son: titulación, decantación, filtración, calentamiento, dispositivos para baños de agua fría y caliente, mezcla, medición de temperatura y masa, uso de un indicador, medición de pH, recolección de gases, y otros.

ChemLab permite a los usuarios realizar rápidamente un experimento de laboratorio de química, mientras se enfatiza en forma crítica los principios y técnicas de la química experimental. Con este programa es posible hacer educación a distancia, demostraciones, simular experimentos peligrosos de laboratorio o experimentos costosos o aquellos que requieran una gran cantidad de tiempo.

## 9. Diagrama Ecológico para la Realización de un Experimento de Laboratorio<sup>8</sup>

El Diagrama Ecológico es el conjunto ordenado y coordinado de todas las etapas que involucra la realización de un experimento de laboratorio (o práctica de laboratorio de química), es análogo al diagrama de bloques de un proceso químico industrial.

El diagrama ecológico incluye las etapas de preparación de los materiales y acondicionamiento de equipos, la etapa de reacción química, la separación o purificación de los productos resultantes y el manejo de los residuos generados en la práctica (o experiencia de laboratorio).

Este tipo de diagrama, dependiendo de la experiencia puede complementar la Guía de Laboratorio o hacerla más reducida, ya que gráficamente el estudiante o el analista (en el caso de corresponder a una rutina de análisis en la prestación de un servicio) puede visualizar claramente lo que debe hacer. Un aspecto importante es que este tipo de diagrama, ayuda a tener presente los residuos y no ocultarlos, ya que también estos son «productos» generados como consecuencia de la actividad experimental.

A continuación se presenta un ejemplo adaptado de Zumalacárregui<sup>8</sup>, para la elaboración de un Diagrama Ecológico, el cual podrá considerarse como una alternativa para la gestión adecuada de los residuos generados en un laboratorio de una institución educativa de nivel superior, aplicada a la obtención del 1-bromo butano. Este caso puede servir como ejemplo para cualquier experiencia de laboratorio.

### Obtención de 1-bromobutano

#### Etapa I: Identificación de los reactivos y productos según sus propiedades

- 1) 1-butanol (etiqueta roja)
- 2)  $H_2SO_4$  (etiqueta blanca)
- 3) NaBr (etiqueta verde)
- 4) 1-bromo butano (etiqueta roja y azul)

En este caso las etiquetas permite la identificación de las propiedades de cada uno de los reactivos utilizados:

- Tóxicos: *etiqueta azul*
- Inflamables: *etiqueta roja*
- Oxidantes: *etiqueta amarilla*
- Corrosivos: *etiqueta blanca*
- Sin problemas: *etiqueta verde*

#### Etapa II: Almacenamiento de los reactivos según su peligrosidad y su incompatibilidad química

Los reactivos químicos utilizados en esta práctica de laboratorio deben estar colocados en estantes diferentes dadas sus propiedades.

#### Etapa III: Clasificación y tratamiento de residuos químicos

**R1:** HBr (g) se disuelve en agua para ser reutilizado.

**R2:** Disolución de NaBr, se determina su concentración por valoración con  $\text{AgNO}_3$ , pudiendo emplearse en otras prácticas de laboratorio..

**R3:** Aguas de lavado conteniendo sales y reactivos que no reaccionaron pueden ser vertidos sin tratamiento.

**R4:**  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  hidratado, se recristaliza y se seca para ser reutilizado.

**R5:** Los residuos de 1- bromobutano con impurezas deben ser incinerados. Tratamiento B.

#### Nota:

Otros residuos de NaBr,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , deben ser neutralizados y enterrados. Tratamiento C

**Tratamiento A:** Neutralización y arrastre

**Tratamiento B:** Combustión y evaporación

**Tratamiento C:** Neutralización y enterrado

**Tratamiento D:** Disolventes

#### Etapa IV: Manipulación de productos químicos

La manipulación de los productos químicos, debido a las características de los mismos deberán ser trabajados bajo campana extractora de gases.

#### Etapa V: Elaboración y análisis del diagrama ecológico

La figura N°3 muestra el Diagrama Ecológico para la obtención de 1 - bromobutano

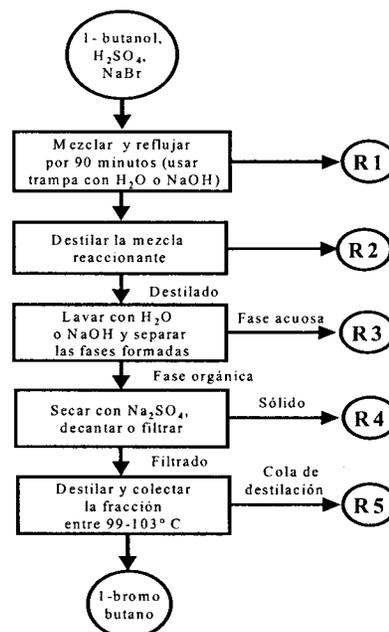


Figura N° 3. Diagrama Ecológico para la Obtención de 1-bromobutano

## 10. Referencias

1. Loayza, J., Boletín Electrónico Informativo sobre Productos y Residuos Químicos N° 1. Estudio de Investigación: Gestión y manejo de residuos de laboratorios químicos. Lima. Mayo. 2005.
2. Loayza, J., Boletín Electrónico Informativo sobre Productos y Residuos Químicos N° 3. Estudio de Investigación: Gestión y manejo de residuos de laboratorios químicos. Lima. Julio. 2005.
3. Bernabei, D., Lautenschlaegen L., Seguridad. Manual para el Laboratorio. Segunda Edición. Editado por Merck. Darmstadt. 1998. p. 185.
4. Loayza J., Boletín Electrónico Informativo sobre Productos y Residuos Químicos N° 5. Estudio de Investigación: Gestión y manejo de residuos de laboratorios químicos. Lima. Setiembre. 2005.
5. Martínez J. y colaboradores. Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos. Fundamentos. Tomo I. Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe. Montevideo. 2005.
6. Reglamento de Residuos Peligrosos. Proyecto FONDEF D97F1066. Universidad de Concepción, Chile. 1998.
7. Model Science. Simulador de experimentos. Versión para Windows 95/98/ME/XP/NT/2000 (ChemLab v2.3a). Dirección en línea: <http://modelsience.com/software.html>.
8. Zumalacárregui de Cárdenas, B., Mondeja González, D., Problema medioambiental en laboratorios químicos: *trabajo para su solución*. Facultad de Ingeniería Química. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría", Ciudad Habana, Cuba. ISPJAE, 2001.