

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS QUÍMICOS DE LABORATORIOS

Jorge Loayza P., Marina Silva M., Hugo Galarreta D.

Facultad de Química e Ingeniería Química - Universidad Nacional Mayor de San Marcos

RESUMEN

La gestión y manejo adecuado de los residuos químicos provenientes de los laboratorios, permite el ahorro de reactivos y materiales; así como, la disminución de costos asociados al manejo y disposición final de los mismos. También previene daños a la salud de las personas que tienen que desarrollar una actividad académica en el laboratorio (profesores, asistentes y estudiantes) o una actividad profesional ligada a la prestación de servicios de análisis químicos (analistas, asistentes y personal auxiliar). El manejo responsable de los residuos químicos reducirá presentes y futuras amenazas sobre la salud y el medio ambiente; así como el deterioro de los materiales; para ello se presenta un método para la gestión ambiental de los residuos químicos de un laboratorio.

Palabras clave: Gestión de residuos, residuos químicos, residuos de laboratorios.

ABSTRACT

The suitable management and handling of the chemical wastes originating from laboratories allow the saving of reagents and materials; as well as the reduction of costs associated with their handling and final disposal. It also prevents detriment to the health of the people who have to conduct an academic activity in the laboratory (professors, assistants and students) or a professional activity related to service consulting dealing with chemical analyses (analysts, assistants and auxiliary personnel). The responsible handling of chemical wastes will reduce present and future threats to the health and the environment; as well as the deterioration of materials. Therefore, a method for environmental chemical waste management of laboratories is presented.

Keywords: Wastes management, chemical wastes, laboratories wastes.

INTRODUCCIÓN

Los residuos químicos que se generan en el trabajo realizado en un laboratorio, donde se utilizan reactivos e insumos químicos, se podrían clasificar atendiendo a diversos criterios, por ejemplo: residuos evitables (son aquellos que se pueden reducir) y residuos inevitables (son aquellos que no se pueden reducir, ya que son los residuos de rutina). Los residuos inevitables, pueden ser valorizados, tratados, desactivados y llevados a una disposición final adecuada.

A nivel de una institución debe existir un gestor de residuos o un comité gestor de residuos, quién se debe encargar de dar respuesta a estas dos preguntas fundamentales: ¿Cómo evitar la producción de residuos?, y ¿qué hacer con los residuos producidos? Para ello es necesario tener un procedimiento que debe iniciarse con la identificación de los residuos generados, para luego plantear opciones de mejora para cada una de las experiencias llevadas a cabo, si la institución es de naturaleza académica o la institución presta un servicio de análisis químico.

Para una adecuada gestión de residuos químicos de laboratorios, se deben tener en cuenta aspectos institucionales, organizativos, motivacionales, económicos, aspectos socioculturales, tecnológicos, normativos y ambientales (ver Fig. N° 1).

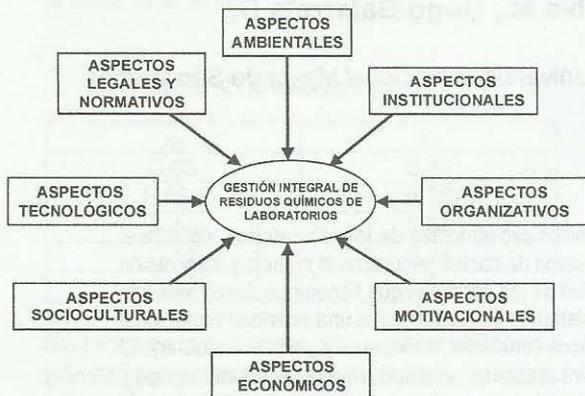


Fig. N° 1. Gestión Integral de Residuos Químicos de Laboratorios.

PASOS PARA EL MANEJO AMBIENTALMENTE ADECUADO DE LOS RESIDUOS QUÍMICOS DE LABORATORIO

Paso 1. Identificar los residuos generados en el laboratorio. El encargado de la gestión y manejo de los residuos tendrá que identificar las distintas categorías de residuos de laboratorio, entre las que se cuentan:

- Productos químicos que han caducado (por ejemplo, productos químicos que se han vencido).
- Productos químicos que no cumplen con las especificaciones al momento de usarlos (por ejemplo, reactivos que se han contaminado durante su almacenamiento).
- Productos químicos preparados inadecuadamente (por ejemplo, soluciones preparadas a concentraciones menores a las deseadas).
- Productos químicos contaminados durante su manipulación (por ejemplo, se han usado pipetas que no se han lavado adecuadamente).

- Muestras enviadas por los proveedores (por ejemplo, los nuevos proveedores envían muestras para ser probadas en el laboratorio, que finalmente no van a ser utilizadas).
- Productos químicos excedentes debido a compras no planificadas (por ejemplo, se compraron reactivos en una cantidad mayor a la utilizada normalmente en las experiencias de laboratorio).
- Productos químicos que pertenecen a proyectos finalizados (situación análoga a la anterior, pero en relación a proyectos de laboratorio).
- Productos químicos que eran utilizados por investigadores, que ya no trabajan en el laboratorio.
- Otros.

Paso 2. Identificar los residuos de rutina.

El encargado de la gestión y el manejo de los residuos deberá identificar aquellos residuos denominados de «rutina», que son los compuestos químicos que se generan en *procesos repetitivos*, entre los que se encuentran:

- Reactivos químicos usados en prácticas (experiencias) de laboratorio
- Reactivos químicos utilizados en la investigación y desarrollo
- Reactivos químicos para el control de calidad.
- Reactivos químicos usados en la calibración de equipos.
- Reactivos químicos usados en pruebas ambientales.
- Solventes resultantes de las operaciones de limpieza.
- Otros.

Paso 3. Implementación de buenos procedimientos en el laboratorio (BPL).

Los buenos procedimientos de laboratorio son un conjunto de «prácticas» el personal que haga uso del laboratorio, siempre debe tener en cuenta:

- **Mejores hábitos operativos (buenos procedimientos en el laboratorio - BPL).** Conjunto de procesos y procedimientos que el personal que labora en un laboratorio o los usuarios del mismo deben cumplir, no sólo para obtener un buen resultado de la actividad realizada, sino para generar menos residuos. Estas BPL también permiten evitar la adquisición de enfermedades ocupacionales.
- **Uso de etiquetas con la información básica (incluyendo pictogramas).** Muchas veces los errores que se comenten al preparar o almacenar reactivos son el resultado de no tomar en cuenta las especificaciones que deben ser incluidas en las etiquetas de los diversos preparados.
- **Sustitución de reactivos químicos peligrosos.** Deberá buscarse sustitutos a los reactivos catalogados como peligrosos, ya que cuando estos se transformen en residuos, serán también residuos peligrosos. Es importante conocer las propiedades que hacen de un residuo un compuesto peligroso.
- **Adecuado mantenimiento de equipos y sustitución de materiales defectuosos.** Si no se hace un adecuado mantenimiento a los equipos estos pueden operar en forma deficiente, generando productos indeseados que se transforman en residuos. Esto también se aplica a materiales defectuosos que pueden generar fugas y provocar reacciones indeseadas, generando residuos químicos.
- **Reducción de la escala en que se usan los reactivos.** En muchos casos se preparan reactivos en exceso, que pueden resultar sobrantes luego del periodo de practicas considerado, otros pueden caducar y otros pueden contaminarse durante el uso, lo cual genera residuos.

Paso 4. Evaluación de procesos y procedimientos. La evaluación debe incluir no sólo los procesos realizados en cada experiencia

de laboratorio (etapas a realizar para cumplir con los objetivos de las prácticas) sino también los procedimientos internos del laboratorio (por ejemplo, solicitud de reactivos, disposición de un residuo, etc.).

Dicha evaluación debe incluir la revisión de los registros de compra con el fin de determinar el balance de materia real de todos los reactivos químicos, que no sólo comprende la compra de nuevos productos químicos, sino también un balance de los servicios externos de disposición y un esfuerzo interno de reciclado y recuperación.

Es importante contar con registros (datos), de por lo menos un semestre anterior, este debe ser el resultado del trabajo del responsable de la gestión o de un comité de seguridad, si fuera el caso.

Para la evaluación se pueden utilizar dos modalidades, personal del propio laboratorio o personal de otros laboratorios de la institución, los cual tiene ventajas y desventajas:

- Mientras que el personal interno suele estar más familiarizado con los procesos y procedimientos específicos.
- Personal de otro laboratorio puede detectar los problemas y sugerir soluciones, partiendo de su experiencia anterior.

Independientemente de quién realice la evaluación, ésta deberá incluir los siguientes aspectos (cada uno de los cuales representa una oportunidad importante de mejora y prevención de la contaminación):

- Relación de cada uno de los reactivos químicos individuales, incluyendo cantidades.
- Departamento o persona que adquirió el reactivo químico.
- El uso a que se destinará el reactivo químico: enseñanza, investigación, producción, limpieza, etc.
- Porcentaje del reactivo químico que se desecha con el tiempo.
- La escala de los procesos o procedimientos de rutina, considerando la

cantidad más pequeña que proporcionará resultados satisfactorios.

- Una descripción del almacenamiento de los reactivos químicos.
- Una evaluación de los posibles sustitutos para todos aquellos procesos de rutina que podrían generar menos residuos peligrosos.
- Un estudio de los procedimientos de compra, en especial de aquellos departamentos y personas que generan los mayores volúmenes de residuos provenientes de reactivos que no son utilizados.
- Un análisis del sistema de inventario por departamento, con la finalidad de integrarlo a un sistema central que tenga en cuenta el abastecimiento de cualquier producto químico específico.
- Una consideración de la posible recuperación o neutralización de los residuos.
- Verificación de los procesos de limpieza y mantenimiento.

Paso 5. Oportunidades de mejora. El personal que trabaja en el laboratorio puede detectar oportunidades de mejora en donde se identifique un problema, a su vez estas oportunidades de mejora pueden tener diversas opciones, este es un proceso de mejoramiento continuo. Estas opciones de mejora se pueden consignar en unas fichas creadas para tal fin. Como ejemplo se citan dos opciones de mejora para el caso de laboratorios donde se realizan actividades académicas. En el Cuadro N° 1 se muestra el caso de una experiencia del curso de Laboratorio de Química General I y en el Cuadro N° 2, el caso de una experiencia del curso de Laboratorio de Quí-

mica Inorgánica, impartidos en la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Las opciones de mejora se pueden categorizar en:

1. Valorización de los residuos, lo cual implica reaprovecharlos, previa segregación en el lugar de generación. El reaprovechamiento puede ser vía:
 - Reciclaje (por ejemplo, en el caso de un papel indicador).
 - Reutilización (por ejemplo, un solvente, previa destilación).
 - Recuperación (por ejemplo, un precipitado, luego del lavado).
2. Tratamiento de los residuos químicos, con la finalidad de transformarlos en productos menos peligrosos o en un estado tal que puedan ser fácilmente dispuestos al ambiente. El tratamiento de los residuos es en la mayoría de los casos un proceso similar a una práctica de laboratorio o a una etapa en el método para la realización de un análisis químico.

El tratamiento toma distintos nombres, dependiendo del objetivo específico del que se trate. Por ejemplo, si su objetivo es disminuir la reactividad del residuo, este se conoce como desactivación. Así, si el objetivo es modificar el pH, se le denomina neutralización.
3. Encapsulamiento o vitrificación, que consiste en inertizar el residuo químico, con la finalidad de que no migre al ambiente, para luego ir a disposición final en un depósito de seguridad (o relleno sanitario especial).

Cuadro N° 1. Ahorro de reactivos y minimización de residuos.

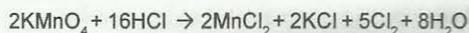
<p>CURSO O LABORATORIO: Laboratorio de Química General I.</p> <p>TÍTULO DE LA PRÁCTICA: Introducción experimental al sistema periódico.</p> <p>PROBLEMA IDENTIFICADO (OPORTUNIDAD DE MEJORA): Uso de reactivo en exceso para demostrar la propiedad anfótera del aluminio.</p> <p>ORIGEN DEL PROBLEMA: No se han revisado las proporciones indicadas en la Guía de Prácticas.</p> <p>SOLUCIÓN (OPCIÓN DE MEJORA): Utilizar sólo 3 mL de HCl y 3 mL de NaOH.</p> <p>TIPO DE OPCIÓN DE MEJORA: Ahorro de reactivos y minimización de residuos.</p> <p>INDICADOR: mL de reactivo / grupo de trabajo.</p> <p>ANTES: Adicionar al primer tubo 5 mL de HCl 2,0 N y adicionar al segundo tubo 5 mL de NaOH 2,0 N.</p> <p>DESPUÉS: Adicionar al primer tubo 3 mL de HCl 2,0 N y adicionar al segundo tubo 3 mL de NaOH 2,0 N.</p> <p>REDUCCIÓN: HCl: 2 mL/grupo. Semestralmente: 2 mL / grupo x 44 grupos / semestre = 88 mL NaOH: 2 mL / grupo. Semestralmente: 2 mL / grupo x 44 grupos / semestre = 88 mL.</p> <p>PORCENTAJE DE REDUCCIÓN: Solución HCl 2,0 N: 40% / semestre Solución NaOH 2,0 N: 40% / semestre.</p> <p>VIABILIDAD TÉCNICA: Con la opción introducida los resultados de la experiencia no sufren cambios, ya que se consigue el objetivo usando menos reactivos y generando menos residuos.</p> <p>REQUERIMIENTOS PARA IMPLEMENTAR LA OPCIÓN DE MEJORA: Ninguno.</p>
--

Opción sugerida por: Hugo Galarreta.

Cuadro N° 2. Reaprovechamiento de un residuo vía reutilización.

<p>CURSO O LABORATORIO: Laboratorio de Química Inorgánica.</p> <p>TÍTULO DE LA PRÁCTICA / EXPERIENCIA: Halógenos: Obtención y propiedades / Obtención de Cl₂ y agua de cloro. Nota: Esta experiencia es demostrativa.</p> <p>PROBLEMA IDENTIFICADO (OPORTUNIDAD DE MEJORA): Uso de reactivo en exceso y generación de residuos (gaseosos y líquidos).</p> <p>ORIGEN DEL PROBLEMA: No se han revisado las proporciones indicadas en la guía de prácticas y no se da un adecuado manejo al residuo.</p> <p>SOLUCIÓN (OPCIÓN DE MEJORA): Ahorro de reactivos y recuperación de un residuo gaseoso (Cl₂)</p> <p>TIPO DE OPCIÓN DE MEJORA: Reaprovechamiento de un residuo vía reutilización</p> <p>INDICADOR: mL de reactivo / grupo de trabajo.</p> <p>ANTES: Preparar: 20 mL de HCl_(c) / grupo Semestralmente: 20 mL de HCl_(c) / grupo x 15 grupos / semestre = 300 mL.</p> <p>DESPUÉS: Preparar 250 mL / semestre.</p> <p>REDUCCIÓN: 50 mL / semestre.</p> <p>PORCENTAJE DE REDUCCIÓN: Solución HCl_(c): 17%.</p>

VIABILIDAD TÉCNICA: Como resultado de la experiencia de genera cloro, que puede ser recogido en frasco especial para experiencias posteriores. Además se generan $MnCl_2$ y KCl (ver ecuación estequiométrica), que pueden ser recuperados, previa investigación.



REQUERIMIENTOS PARA IMPLEMENTAR LA OPCIÓN DE MEJORA: Frascos con tapón horadado para recoger el cloro gaseoso sobre agua. El profesor deberá controlar el uso de los reactivos para disminuir los gastos de reactivo.

Opción sugerida por: Marina Silva.

Paso 6. Gestión de residuos peligrosos.

En la **Hoja de Seguridad (MSDS)** que los proveedores ofrecen con el producto, se debería consignar la forma de eliminación. El país que más ha avanzado en este aspecto es Alemania. Se pueden identificar un conjunto de 32 formas genéricas con la finalidad de desactivar los residuos de los laboratorios (residuos especiales)¹; pero es importante tener muy en cuenta la siguiente precaución: *No intente utilizar estos procedimientos sin investigar a fondo los aspectos de seguridad y condiciones de operación para el tratamiento o desactivación, y su posterior eliminación.*

En algunos países la legislación no permite la desactivación o el tratamiento de los residuos por la empresa generadora de los mismos, teniéndose que realizar la recogida y el tratamiento por empresas especializadas en estas actividades. En otros países se acepta la recuperación, el reciclaje y la reutilización de los residuos de laboratorio.

Existen diversas formas de desactivación dependiendo de la naturaleza química del residuo; por ejemplo:

- Aldehídos: reacción con permanganato de potasio.
- Hidruros metálicos: reacción con n-butanol.

Paso 7. Elaborar un Plan de Manejo de Residuos². Para ello se tendrán en cuenta los siguientes pasos:

1. Realizar una evaluación preliminar y preparar un proyecto.
2. Explicar claramente al personal los objetivos del programa y las metas que se esperan alcanzar.
3. Efectuar la capacitación del personal técnico y del personal auxiliar.
4. Revisar todos los métodos de análisis o de las operaciones realizadas en el laboratorio (usar diagramas de flujo).
5. Revisar los materiales y equipos.
6. Identificar aquellas etapas de los procesos o las operaciones que generan residuos.
7. Evaluar periódicamente el estado y cantidad de todos los residuos generados, incluyendo aquellos reactivos sobrantes no contaminados.
8. Como resultado de la evaluación de procedimientos, procesos, materiales y equipos, es importante hacer cambios sencillos. Por ejemplo:
 - Preparar la cantidad adecuada del reactivo.
 - Utilizar etiquetas.
 - Utilizar el mismo código para los reactivos dentro de la institución con la finalidad de ubicar, centralizar o intercambiar reactivos.
 - Efectuar el reciclaje de envases.

- Separar los materiales deteriorados con la finalidad de reparar aquellos que sea posible (separar el vidrio roto).
- Designar un lugar para el almacenamiento de los residuos, utilizando los recipientes colectores adecuados y rotulados: A, B, C, ..., K (o un sistema similar).
- En el caso de que no sea posible evitar la generación de residuos, deben usarse las técnicas de desactivación y eliminación disponibles o sugeridas. Usar para estos casos los reactivos residuales disponibles.
- Evaluar el desarrollo del programa y plantear las mejoras más adecuadas.
- Plantear auditorías internas o externas, si fuera el caso.

Nota: Es necesario que la institución disponga de un conjunto de políticas ambientales.

BOLSA DE RESIDUOS QUÍMICOS (BRQ)³

La Bolsa de residuos Químicos es un sistema de información entre los diversos laboratorios (o dependencias) de una institución; mediante el cual, los residuos generados por un laboratorio pueden ser utilizados por otros laboratorios o viceversa. De esta forma es posible cerrar el ciclo de un residuo químico.

El responsable de la gestión y el manejo de residuos químicos de la institución, podría encargarse también de ser el operador de la Bolsa de Residuos Químicos (BRQ).

Funciones de la BRQ

- 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 aprovecharlos.
- Establecer una base de datos.
- Identificar el uso alternativo de los residuos generados.

Ventajas de la BRQ

Entre las principales se cuentan:

- Menor consumo de reactivos.
- Reducción de los residuos que van a disposición final.
- Disminución de los costos de disposición final 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 debido a la gestión inadecuada de los residuos químicos.

Requisito fundamental para que una BRQ funcione

El requisito técnico fundamental es que, los residuos químicos no deben mezclarse, por tal motivo requieren una segregación, almacenamiento en recipientes separados y una recolección selectiva (por separado).

Otro requisito, es el compromiso de todos los que trabajan en los laboratorios de la institución, para la consolidación de una BRQ.

CONCLUSIONES

1. La identificación de la naturaleza de los residuos químicos generados en una institución que cuenta con laboratorios químicos, permitirá diseñar un adecuado plan de minimización de los mismos.

2. La minimización de residuos químicos, implicará el ahorro reactivos y otros costos asociados a su manejo, teniendo en cuenta que si se generan residuos, estos deberán ser gestionados.
3. En caso de que no se pueda reducir la cantidad de un residuo, es posible valorizarlo vía reaprovechamiento, para lo cual es importante sugerir opciones de mejora.
4. Si una institución cuenta con más de una laboratorio es posible instaurar un sistema interno de información conocido como la Bolsa de Residuos de Laboratorio (BRL), en donde el residuo de un laboratorio puede servir como reactivo de otro laboratorio, para ello se requiere mantener un registro actualizado de los residuos generados.
5. Muchas veces para desactivar un residuo químico peligroso, antes de su disposición final, se requieren materiales y reactivos adicionales, que incrementan el costo del manejo de los residuos químicos, y en algunos casos implica realizar una «experiencia adicional».
6. El ahorro también se podrá observar en: operaciones de mantenimiento de la infraestructura de los laboratorios y en el espacio destinado para el almacenamiento de los mismos.
7. En caso de que no se cuente con la tecnología para la desactivación de residuos peligrosos presentes en los laboratorios, se tendrá que contratar a un gestor autorizado según la Ley General de Residuos Sólidos y su Reglamento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barnabei Dante, Lautenschlaeger Ludwig. *Seguridad. Manual para el laboratorio*. Editor Merck KGaA. GIT VERLAG. Segunda edición actualizada. Darmstadt, 1998.
2. Loayza Jorge. *Seguridad e higiene en el manejo integral de productos químicos*. Instituto del Agua y Medio Ambiente. Separatas, febrero, 2004.
3. Loayza Jorge, *Boletín informativo sobre productos y residuos químicos N° 3*. Julio, 2005 (versión online).