

La Química Verde y la problemática de los residuos químicos de los laboratorios

The Green Chemistry and the Laboratories Chemical Waste's Problem

Julia Constanza Reyes-Cuellar *

Resumen

Analiza la problemática de los residuos químicos de laboratorio y se presenta un caso práctico de su manejo, enfocado en la estrategia de prevención de la contaminación, principio básico de la filosofía de la *química verde*, que encierra las actividades de administración de inventarios, modificación de procesos y administración de residuos. Se destacan como beneficios la disminución de la contaminación ambiental, la minimización de los riesgos para la salud y la seguridad del personal que se encuentra en contacto con los residuos químicos, la formación de una cultura de trabajo en el laboratorio y de una ambiental en la comunidad participante y la obtención de utilidades económicas.

Palabras clave

Química verde, Prevención de contaminación, Residuos químicos peligrosos, Laboratorio químico.

* Docente UPTC. creyes@tunja.uptc.edu.co



Abstract

A technical alternative for hazardous waste management in the laboratory operation, focused on a contamination prevention's strategy, basic principle of the Green Chemistry philosophy, that comprises the inventory administration activities, the processes' modification and the waste managing activities. The outstanding beneficial results are: The minimization of the environmental contamination, the protection of human health from hazards, the maintenance of an industrial safety standards, the savings of institutional resources, the creation of laboratory and environmental culture and the economic profits.

Key words

Green Chemistry, Contamination Prevention, Hazardous Chemical Waste, Chemical Laboratory.

1. Introducción

El progreso y la calidad de vida que se disfrutan en el presente se han logrado, en parte, por el avance de la industria química, que tiene una producción anual cercana a los 400 millones de toneladas de sustancias químicas (Lonngren, 1992). Estas son usadas como materia prima en los procesos industriales, para ser transformadas en productos útiles, y en procesos analíticos de laboratorio. Actividades generadoras de materiales de desecho que se descargan como residuos sólidos, emisiones atmosféricas o vertimientos líquidos, los cuales, en diversos grados, representan una amenaza potencial a la salud, afectan el equilibrio natural del medio ambiente, demandan una inversión para su control e, incluso, en algunos casos se consideran como valiosa materia prima desaprovechada. Por consiguiente, se requieren soluciones adecuadas para su prevención, manejo y disposición, como la estrategia de la *química verde*, filosofía que se presenta en este artículo y se aplica en un caso práctico.

Hoy día se conocen bien los peligros de sanidad asociados con la exposición puntual a la mayoría de las sustancias químicas, razón por la cual, desde la perspectiva práctica, se aplica la definición de residuo peligroso, que contempla el impacto al medio ambiente, cuando se descarga en este, y su clasificación de acuerdo con la peligrosidad que exhibe para la salud de las personas.

Conforme a la Organización Mundial de la Salud, un residuo es peligroso cuando presenta determinadas características físicas, químicas o biológicas que exigen un manejo y disposición especiales que eviten riesgos potenciales para la salud humana o reduzcan efectos adversos al medio ambiente. Se utiliza como criterio de peligrosidad que el residuo contenga compuestos químicos que se encuentran referenciados en listas, o presente características tales como toxicidad, reactividad, corrosividad, inflamabilidad y combustibilidad (Freeman, 1998; Avellaneda, 2002).

Un caso especial de generadores de residuos peligrosos corresponde a las instituciones que tienen laboratorio analítico, espacio definido como “un lugar de trabajo en el que se emplean cantidades relativamente pequeñas de productos químicos, cuya base no es la producción” (National Research Council, 1995). Comprende: instalaciones para enseñanza, ensayos químicos, pruebas clínicas, control de calidad y desarrollo de áreas médicas y de ingeniería, que emplean cientos de productos químicos en pequeñas cantidades y producen residuos que pueden llegar a ser muy complejos y originan un problema cuyas soluciones varían considerablemente con respecto al sector industrial, donde se aplican programas orientados principalmente hacia “tratamiento en el punto final de descarga” (Freeman, 1998).

Los laboratorios han establecido programas de manejo ambiental para controlar la generación de residuos peligrosos y garantizar que no representen riesgo para el



medioambiente, como el ejecutado por la Universidad de Minnesota (USA), donde los residuos contaminados con compuestos químicos son seleccionados previamente, se transforman por medio del reciclaje y se recuperan para su reutilización y revalorización, o se destruyen y se confinan en condiciones técnicas y ambientales satisfactorias y seguras. Sin embargo, en los países en desarrollo, la falta de claridad en las políticas de manejo ambiental y la carencia de entidades de servicio especializado en el tratamiento y disposición de residuos peligrosos, excepto los residuos hospitalarios, han promovido que los residuos químicos generados se eliminen ya sea por vertimiento al desagüe o arrojados a la basura, se recolecten indiscriminadamente en recipientes inadecuados o sin su debida clasificación (Cáceres, 1985; Avellaneda, 2002; Montes, 2004). Esta actividad ignora las características de peligrosidad y resulta frecuentemente en la mezcla aleatoria de los residuos, que pueden reaccionar para transformarse en compuestos aún más tóxicos y peligrosos (Residuo No Peligroso + Residuo Peligroso = Residuo Peligroso).

La *química verde*, filosofía de prevención de la contaminación causada por el empleo de sustancias químicas, promueve la utilización de materiales, procesos y métodos que eliminen o reduzcan el uso de reactivos químicos peligrosos en el mismo punto de generación, por lo que disminuye el impacto ambiental, conserva los recursos naturales y protege la salud de la población (Anastas & Warner, 1998). Esta estrategia se ha aplicado en la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga desde el año 2000, con resultados beneficiosos representados en la disminución de la contaminación ambiental, la minimización de riesgos, la formación de una cultura de trabajo de laboratorio y la reducción de costos en esta área.

2. Marco teórico

2.1 Clasificación de los residuos peligrosos

La definición, categorización y clasificación de los residuos puede enfocarse desde diversos ángulos, siendo referencia obligada la Environmental Protection Agency (EPA), con normas equivalentes en el contexto europeo, según el Catálogo de Residuos Europeos (EWC): directivas 75/442/EEC y 91/689/EEC, 94/31/EC y la regulación 93/259/EEC (Scadplus, 2003).

En Colombia, el Decreto 2811 de 1974, o Código de Recursos Naturales, enmarca la gestión de los residuos y les confiere importancia para la conservación del medioambiente, y regula tanto los residuos peligrosos, con la normatividad que se extiende desde la Resolución 2309 de 1986 hasta el Decreto 1443 de 2004, e incluye el Decreto 1713 de 2002 y la Resolución 1164 de 2002, como los vertimientos a fuentes hídricas, conforme al Decreto 1594 de 1984 (Montes, 2004; CECODES, 2005).

2.1.1 Definición y categorización de residuos peligrosos. Residuo peligroso, en términos generales, es cualquier desecho o combinación de desechos que tiene un peligro sustancial, presente o futuro, para la vida humana, animal o vegetal, y el cual no puede ser manejado o dispuesto sin precauciones especiales (Salcedo, 1998). La EPA ha establecido cinco categorías de peligrosidad para los residuos (Miller, 1993):

- Categoría I: Tipos específicos de residuos de fuentes no específicas.
- Categoría II: Tipos específicos de residuos de fuentes específicas.
- Categoría III: Sustancias específicas identificadas como residuos peligrosos agudos que son productos químicos comerciales descartados, contenedores de residuos y residuos derramados.
- Categoría IV: Sustancias específicas identificadas como residuos peligrosos que son productos químicos comerciales descartados, contenedores de residuos y residuos derramados.
- Categoría V: Residuos característicos, que no están específicamente identificados, pero que poseen propiedades de toxicidad, reactividad, corrosividad, inflamabilidad o combustibilidad.

Los listados de residuos peligrosos por fuentes generadoras, categorías I y II, y por sustancias específicas, categorías III y IV, proporcionan un manejo eficiente y seguro de estos materiales y no incluyen los residuos domésticos, que representan menos del 1% del total de los residuos peligrosos generados (Haas y Vamos, 1995).

2.1.2 Clasificación de residuos químicos por características de peligrosidad. Los residuos peligrosos característicos de la categoría V presentan propiedades que perjudican la salud por su toxicidad, o afectan la seguridad, en relación con: su reactividad, corrosividad, combustibilidad o inflamabilidad (Freeman, 1998), clasificación que se aplica en Colombia (Minambiente, 1998; Salcedo; 1998):

- Residuos que presentan característica de toxicidad: tienen propiedades tóxicas, agudas o crónicas, ecotoxicidad por persistencia ambiental o bioacumulación.
- Residuos que presentan característica de inflamabilidad: pueden arder en condiciones existentes en el ambiente.
- Residuos que presentan característica de corrosividad: pueden propiciar procesos corrosivos de los materiales con los que entre en contacto.
- Residuos que presentan característica de reactividad: químicamente son inestables, potencialmente explosivos o pueden reaccionar violentamente en las condiciones ambientales.
- Residuos que presentan característica de combustibilidad: contiene sustancias, elementos o compuestos que, al combinarse con el oxígeno en condiciones existentes en el ambiente, puede generar energía en forma de calor y luz, dióxido de carbono y agua.



2.2 Problemática de los residuos peligrosos generados en el laboratorio

Occupational Safety and Health Administration (OSHA) define un laboratorio como: “un lugar de trabajo en el que se emplean cantidades relativamente pequeñas de productos químicos, cuya base no es la producción” (National Research Council, 1995). Comprende instalaciones para enseñanza, ensayos químicos, pruebas clínicas, control de calidad y desarrollo de áreas médicas y de ingeniería. Las operaciones de laboratorio originan residuos que provienen de los desechos de procesos de rutina y de los reactivos químicos descartados, los cuales integran hasta un 50% del total, y demandan, además del costo de adquisición, una inversión para su tratamiento. Estos se desechan porque caducaron, no cumplen especificaciones o se contaminaron durante su manejo, o son muestras inservibles, sobrantes de soluciones preparadas, excedentes existentes por la compra excesiva, o se adquirieron para proyectos cancelados e investigadores que ya no trabajan en el laboratorio (Freeman, 1998).

El daño que estas sustancias pueden causar a la salud humana depende, en primera instancia, de su grado de toxicidad, de los volúmenes generados y de su capacidad de persistencia para alcanzar concentraciones suficientes que causen efectos nocivos, y respecto al impacto ambiental, puede ejercer un efecto contaminante en el suelo, agua superficial y agua subterránea, que conduce a los fenómenos de: salinización, lluvia ácida, eutroficación, cambios en el clima, el paisaje y los ecosistemas (Bedient, Rifai y Newell, 1994).

En los países en desarrollo, la evaluación del manejo de los residuos peligrosos permite la identificación de maneras de disposición que impactan el medioambiente y actúan como un riesgo potencial para la salud y seguridad de la comunidad (Cáceres, 1985; Avellaneda, 2002):

- Se eliminan por vertimiento al desagüe, se arrojan a la basura, se abandonan en zonas poco vigiladas o se entierran sin control.
- Se recolectan indiscriminadamente en recipientes inadecuados, sin su debida clasificación; actividad que ignora las características de peligrosidad y resulta frecuentemente en la mezcla aleatoria de los residuos, que pueden reaccionar para transformarse en compuestos aún más tóxicos y peligrosos (Residuo No Peligroso + Residuo Peligroso = Residuo Peligroso), con acumulación temporal o permanente en forma inadecuada en el lugar de origen (Haas y Vamos, 1995).
- Se disponen en los rellenos sanitarios municipales sin un manejo especial.
- Se reutilizan los contenedores de productos químicos peligrosos.

Además de las características mencionadas, se han descrito los inconvenientes relacionados con el manejo inadecuado de los residuos en el laboratorio. En cuanto a: saturación de espacio de almacenamiento, seguridad industrial, contaminación de personal externo y

problemática organizacional, por la carencia en los laboratorios de protocolos y procedimientos para la prevención, minimización, clasificación, almacenamiento correcto, tratamiento y disposición final de residuos químicos (Correa, Kopytko y Reyes, 2000; Kopytko, Reyes y Santoyo, 2001; Reyes y Bonnet, 2002).

2.3 Química amiga del medioambiente

La *química verde* es una filosofía de trabajo adoptada por las instituciones que utilizan reactivos químicos, pretende disminuir el impacto de los materiales químicos en el medioambiente y se sustenta en doce principios que, aplicados correctamente, reducen significativamente los residuos generados en actividades que usan reactivos químicos, mediante la eliminación o limitación del uso de reactivos químicos peligrosos y cambios apropiados en los procesos (Anastas y Warner, 1998).

El primer principio es la *prevención*; significa que es mejor evitar la generación del residuo que tratar de disminuir su peligrosidad e invertir en la disposición final adecuada.

El segundo principio, *economía*, se refiere al diseño de métodos de síntesis o procedimientos que maximicen el aprovechamiento de la materia prima usada durante el proceso, para su incorporación en el producto final de la síntesis.

El tercer principio, *síntesis química menos peligrosa*, promueve el uso de reactivos químicos y la obtención de sustancias que poseen menor o ninguna característica de toxicidad para los seres vivos y el medioambiente.

El cuarto principio, *diseño de productos químicos seguros*, conecta el cumplimiento de la función específica de los productos químicos producidos con la minimización de su toxicidad, cumpliendo el sexto principio.

El quinto principio, *sustancias auxiliares y solventes seguros*, promueve la utilización de solventes, soportes, reactivos de separación, activadores inocuos o su eliminación del proceso, en lo posible.

El sexto principio, *diseño para eficiencia energética*, procura la síntesis a temperatura y presión ambiente, para minimizar su impacto económico y ambiental.

El séptimo principio, *uso de materia prima renovable*, apoya la utilización de insumos que sean renovables, siempre y cuando sea recomendable técnica y económicamente, en lugar del agotamiento de materias no renovables.

El octavo y el noveno principio corresponden a la *reducción de derivados* y la *aplicación de catalizadores*.



El décimo, sobre *productos químicos degradables*, conduce al desarrollo de sustancias con propiedades que permitan su fragmentación final por el proceso natural de degradación, que origina compuestos inocuos no persistentes en el medioambiente, observando el principio siguiente, de *análisis en tiempo real de las sustancias peligrosas*, que monitorea y controla la contaminación y anticipa la formación de sustancias peligrosas.

Finalmente, el principio de la *química segura para prevención de accidentes*, a través de la selección de sustancias químicas apropiadas para su uso en los procesos químicos, minimiza los accidentes químicos potenciales, como explosiones, fuego y descargas al medioambiente.

3. Estado del arte

3.1 Estrategias globales de manejo de residuos químicos

La actividad de manejo, tratamiento y disposición de los residuos químicos actuales exige en cada institución una solución adecuada, que comprenda la determinación del tipo y las cantidades de químicos peligrosos presentes en el residuo (fuente), la localización de individuos o ecosistemas que puedan ser perjudicados (receptor) y la identificación de los procesos de transformación y atenuación, que pueden cambiar la naturaleza y cantidad del material peligroso (Haas y Vamos, 1995), acciones que controlan la concentración de los químicos peligrosos en los receptores, sin exceder los niveles críticos, conforme a la legislación vigente en cada país.

En la práctica, después de acordarse la reducción o remoción de contaminantes de un residuo particular, se implementa una estrategia de manejo de los residuos, como la propuesta de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) —conformada por los países que producen aproximadamente el 93% de los residuos industriales totales del mundo—, que encierra los niveles estratégicos ordenados de acuerdo con su menor impacto sobre el medioambiente (Haas y Vamos, 1995; Asante y Nagy, 1998):

- Nivel 1: se evita la generación del residuo o se disminuye su volumen; esto se puede lograr modificando la operación donde se genera el residuo (prevención de contaminación/minimización inicial de residuo, procesos y equipos más eficientes).
- Nivel 2: se realiza el reciclaje o reutilización de los mismos materiales donde sea posible. Incluye el intercambio de material de un proceso donde se considera residuo a otro donde se considera materia prima.
- Nivel 3A: aquellos materiales que no pueden ser eliminados o removidos del residuo sufren un tratamiento o transformación, que se diseña para alcanzar la reducción del volumen o de la toxicidad. Las acciones consideradas pueden incluir el tratamiento del material por un número de procesos de naturaleza física o química, el reciclaje de

residuos con valor energético, la separación de materiales no ferrosos de las mezclas de residuos y la destilación y regeneración de solventes gastados.

- Nivel 3B: destrucción de los residuos por tratamiento fisicoquímico, como la neutralización por mezcla de residuos alcalinos y ácidos, biológico o incineración.
- Nivel 3C: almacenamiento permanente de residuos peligrosos en el suelo o en el mar.

El diseño conceptual del manejo de los residuos en el nivel de tratamiento *destrucción* comprende un conjunto de etapas por desarrollar: la primera considera unos tratamientos o combinación de estos, e incluye la disposición de los residuos finales de tratamiento, que frecuentemente son peligrosos; la siguiente consiste en el análisis detallado de los tratamientos elegibles, mediante factores como: la facilidad del proceso, los costos y su impacto ambiental. Finalmente, se implementa o no una planta de tratamiento de los residuos, no recomendable para volúmenes pequeños, por el costo de la inversión.

3.2 Tecnologías y métodos de tratamiento de residuos peligrosos

Muchas tecnologías y procesos se encuentran disponibles en la actualidad para el manejo de residuos peligrosos, sin embargo, una tecnología o proceso particular no es apropiado en general para todo tipo de residuos o para todas las condiciones existentes, depende de la concentración y cantidad de cada sustancia química componente del residuo (Nemeraw, 1991; Bedient, Rifai y Newell, 1994; Cole, 1994; Haas y Vamos, 1995; Rajeshwar e Ibáñez, 1997). A continuación se describen las cuatro categorías generales de clasificación de las técnicas y procesos de manejo de residuos, usados en países desarrollados:

- Técnicas de tratamiento físico: aplica para los constituyentes químicos que pueden tratarse a través de procesos de separación y purificación. Generalmente no se altera la composición química. Incluye tratamientos con tecnologías como filtración, centrifugación, flotación, destilación, evaporación, extracción del solvente, ósmosis inversa, intercambio iónico, adsorción, decantación y la inmovilización de constituyentes por solidificación.
- Técnicas de tratamiento químico: algunos constituyentes de interés pueden separarse o hacerse menos peligrosos por reacciones químicas, que envuelven: neutralización, precipitación-coagulación, óxido-reducción y estabilización. La adición de químicos se complementa con mezclado, floculación, coagulación y técnicas de tratamiento físico.
- Procesos de tratamiento biológico: utilizan microorganismos para degradar constituyentes químicos; los procesos biológicos transforman los materiales peligrosos y tóxicos en productos inocuos.
- Alternativas de tratamiento térmico: emplean calor para destruir o cambiar los contaminantes de interés y comprenden la incineración, conversión catalítica y la vitrificación de residuos con alto contenido orgánico.



3.3 Estrategia tradicional de manejo de residuos químicos de laboratorio

En el contexto mundial se han establecido programas de manejo ambiental en los laboratorios, que controlan la generación de residuo y manejan los compuestos químicos peligrosos presentes. Estos programas les confiere distinta composición y peligrosidad a las pequeñas cantidades obtenidas, para garantizar que no representen un riesgo para el medioambiente, la salud y la seguridad. Es el caso del programa ejecutado por algunas universidades (Minnesota University, 1999), donde los residuos contaminados con compuestos químicos, seleccionados previamente de acuerdo con su peligrosidad, se transforman por medio del reciclaje y se recuperan para su posterior reutilización y revalorización, o se destruyen y se confinan en condiciones técnicas y ambientales satisfactorias y seguras a través de entidades competentes, vigiladas por la autoridad ambiental bajo normatividad estricta (Conner, 1990; Barth, 1992; Cole, 1994).

Estos programas tradicionales dependen de los volúmenes de residuos peligrosos generados, y entre sus prácticas más importantes se pueden citar: el reciclaje y la reutilización de residuos, el intercambio de residuos y la minimización de estos, como se observa en la figura 1, que presenta los componentes básicos de un programa de manejo de residuos peligrosos, donde se destaca que la tendencia general favorece el manejo de residuos internamente, como los programas aplicados en Colombia por Fuentes y Luzz (1999), Quintero (1999) y Blanco (2005). Lo anterior, debido a que la disposición de los residuos fuera de las instalaciones suele ser muy costosa por la inversión en empaques, etiquetado, manejo y transporte, y el generador conserva la responsabilidad legal por perjuicios en el futuro, cuando la disposición externa es deficiente (Montes, 2004).

4. Prevención de la contaminación como estrategia de manejo ambiental de laboratorio

Las instituciones preocupadas por el bienestar del personal interno y externo, por el impacto de sus actividades en el medioambiente y por la mejora de la productividad desarrollan un sistema de gestión ambiental que se implementa mediante el Programa de Manejo Ambiental de cada una de sus áreas generadoras de residuos. Este consiste en la estrategia continua, y el modo de establecerla, para reducir todos los residuos que se generan en cada área de sus instalaciones. En él, el componente Plan de Acción Ambiental del área específica orienta y define por escrito la forma de poner en marcha el programa, a través de un conjunto de actividades operativas, que se presentan en la figura 2, enfocada en la estrategia de la prevención de la contaminación, principio básico de la *química verde*.

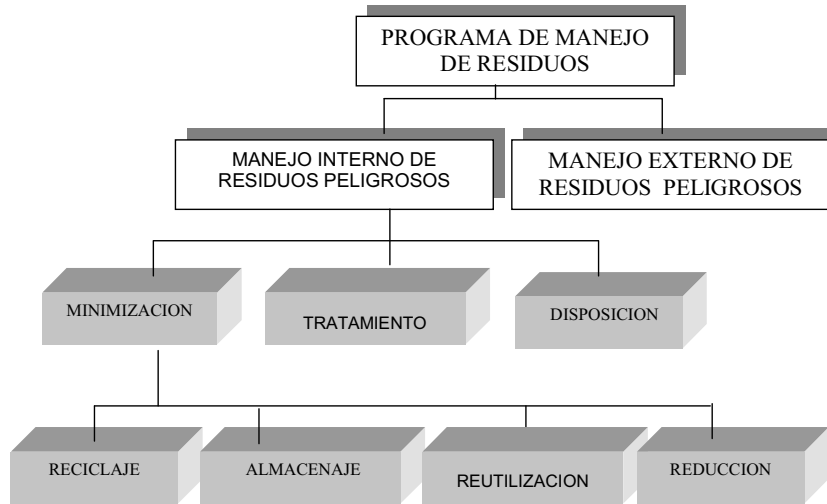


Figura 1. Componentes básicos del programa de manejo de residuos

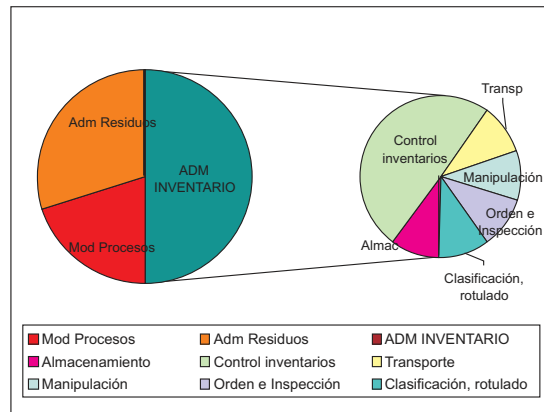


Figura 2. Actividades principales de prevención de la contaminación.



Como se mencionó, frecuentemente los residuos generados en el laboratorio provienen, hasta un 50%, de los reactivos químicos en desuso, por lo tanto demandan, además del costo de adquisición, una inversión para su tratamiento, y se considera como la primera actividad principal: la administración de inventario, que encierra el control adecuado sobre las materias primas y las muestras y el manejo de estos. Esta opera mediante la evaluación de los factores de almacenamiento de reactivos químicos, su transporte dentro de las instalaciones, su manipulación, el orden y la inspección periódica de las instalaciones, y la clasificación y rotulado tanto de sustancias químicas preparadas como de muestras.

La segunda actividad principal es la modificación de procesos, que comprende cambios en procedimientos, sustitución de reactivos químicos peligrosos y cambios en los equipos, mejora en el manejo de material, recolección y manejo de material derramado.

La tercera actividad se denomina la administración de residuos y se define por los factores de manejo, tratamiento y disposición de los residuos químicos peligrosos o no.

El complemento del Plan de Acción Ambiental considera la respuesta a emergencias, que contiene: Plan de evacuación, Plan de contingencia contra derrames e incendios y los simulacros.

4.1 Caso práctico: Plan de acción ambiental de laboratorio soportado en el primer principio de la *química verde*

La Universidad Pontificia Bolivariana, sede Bucaramanga, a partir de 1999 se trasladó a sus instalaciones campestres, donde se realizan las prácticas de laboratorios de química para los estudiantes de ingeniería. Para el tratamiento de sus efluentes, la institución maneja una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales bajo principios biológicos, razón por la cual no puede verter contaminantes químicos en ella. Como solución, se implementó un plan de acción ambiental para laboratorios, que se inició en el año 2000, en el que se combina la estrategia tradicional de “tratamiento en el punto final de descarga” y la estrategia de “prevención de la contaminación”, primer principio de la *química verde* (Reyes et al., 2003). El primer paso para la prevención de la contaminación comprendió la evaluación de las emisiones en las operaciones del laboratorio, incluyendo la determinación del balance de masa real de todos los productos químicos mediante la valoración de los aspectos de la tabla 1, seguido de los tratamientos en el punto final de descarga, tabla 2.

Tabla 1. Factores valorados y resultado de la prevención de la contaminación.

Aspecto	Resultado
Lista de productos químicos individuales	188 productos químicos y características de peligrosidad.
Persona que adquirió el producto químico y el uso al que se destina.	44 de prácticas de cada laboratorio químico y comunidad participante.
Descripción del almacenamiento de los productos químicos.	Política de clasificación de reactivos en el almacén principal.
El porcentaje del producto químico que se desecha con el tiempo.	Identificación de productos en desuso, contaminados y caducos.
El porcentaje del reactivo químico preparado remanente de los procesos.	Protocolo de preparación de soluciones diluidas.
Verificación de los procedimientos	Protocolo de análisis de las prácticas y de sustitución de sustancias peligrosas.
Verificación de los procedimientos de limpieza y mantenimiento.	Protocolo de lavado de material y de disposición de contenedores vacíos.

Fuente: Modificado de Reyes *et al.* (2003)

Tabla 2. Resultados de tratamiento en el punto final de descarga.

Actividad	Resultado
Residuos antiguos identificados.	Tratamiento en PTARI.
Segregación en la fuente de residuos.	Protocolos de segregación.
Aplicación de tratamientos fisicoquímicos a residuos químicos.	Selección técnico/económica, y de menor impacto ambiental.
Manejo de Residuos y disposición final.	Reutilización, reciclaje en otras prácticas, vertido cuando se ha eliminado su peligrosidad y cementación para residuos peligrosos. Protocolos de manejo de residuos para cada práctica de laboratorio.

Fuente: Modificado de Reyes *et al.* (2003)

Los resultados obtenidos permitieron establecer la administración de residuos mediante el tratamiento adecuado y la disposición final que se presenta en la figura 3, donde se aprecia que se almacenan sustancias. Comprende un 10% de sustancias puras sin uso inmediato y un 5% de sustancias tóxicas sin tratamiento (80 g), que se sustituyeron como materia prima en los procesos de laboratorio.

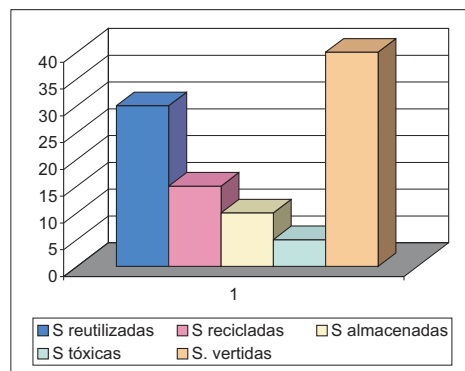


Figura 3. Disposición final de residuos después de tratamiento

Fuente: Reyes *et al* (2003).

5. Conclusiones

El desarrollo de las actividades y los aspectos de interés mencionados, componentes del Plan de acción ambiental para laboratorio, bajo la estrategia de prevención de la contaminación, permitió la obtención de beneficios en cuanto a: creación de una cultura de organización y administración de laboratorio con minimización de los riesgos para la salud y seguridad del personal que se encuentra en contacto con reactivos y residuos químicos; contribución a la formación ambiental de la comunidad participante, responsable de la segregación correcta, que permite cumplir la legislación ambiental nacional, y ahorro en un 30% en la adquisición de reactivos químicos para los laboratorios de química por el reciclaje, sustancias de reúso y el uso de productos de tratamiento de los residuos en otras prácticas de laboratorio, resultados que se pueden establecer en otras instituciones educativas.

Agradecimientos

La autora expresa sus agradecimientos a los investigadores y coinvestigadores del proyecto: Sandra Correa, María Kopytko, Claudia Santoyo, Claudia Quintero, Jairo Bonnet y Julieth Rivera, y especialmente su gratitud con el ingeniero Pablo Londoño (q.e.p.d.).

Bibliografía

- ANASTAS, P.T y J.C. Warner (1998): *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press.
- AVELLANEDA, A. (2002): *Gestión Ambiental y Planificación del Desarrollo*. Bogotá: ECOE Ediciones.

- ASANTE, D. & I. Nagy (1998): *International trade in hazardous waste*. Londres: E&FN Spont.
- BARTH, E. J. (1992): *Asphalt Science and Technology*. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- BEDIENT, P.; H. Rifai & C. Newell (1994): *Ground Water Contamination*. Prentice Hall, Englewood.
- BLANCO, L. (2005): *Programa de gestión ambiental de laboratorios de la Universidad Nacional*. Conferencia, febrero, Tunja.
- CÁCERES, R. (1985): *Tratamiento de desechos tóxicos*. Gestión Ambiental. Madrid: Pedervera.
- CECODES (2005): *Legislación colombiana* (online). Bogotá (citado noviembre 2 de 2005). Disponible en: www.cecodes.org.co/boletin/40/cecodes/legislación.
- COLE, G. (1994): *Assessment and remediation of petroleum contaminated Sites*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- CONNER, J. R. (1990): *Chemical Fixation and solidification of hazardous waste*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- CORREA, S.; M. Kopytko y J. Reyes (2000): "Plan de manejo para disposición de los residuos de los laboratorios de química general de la Universidad Pontificia Bolivariana". *Boletín Científico UPB* 2(3): 21-24.
- FREEMAN, H. (1998): *Manual de prevención de la contaminación industrial*. New York: McGraw-Hill.
- FUENTES, S. y C. Luz (1999): *Tratamiento de desechos químicos inorgánicos del área de química analítica del ICP*. Bucaramanga, 131. Tesis. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ciencias, Escuela de Química.
- HAAS, C. y R. Vamos (1995): *Hazardous and Industrial Waste Treatment*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- KOPYTKO, M.; J. Reyes y C. Santoyo (2001): "Plan de manejo para disposición de los residuos de los laboratorios de fisicoquímica de la Universidad Pontificia Bolivariana". *Boletín Científico UPB* 3(1): 17-19.
- LONNGREN, R. (1992): *International Approaches to Chemicals Control*. Kemi, Estocolmo.
- MILLER, S. (1993): "Where All those EPA lists come from". *Environmental Science Technology* 27(9): 2302.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (1998): *LEY 430 1998*. Bogotá: República de Colombia, MinAmbiente.
- MINNESOTA UNIVERSITY (1999): *Environmental Health and Safety Procedures for chemical waste disposal (USA)*, University of Minnesota. EHS Department (online), Minneapolis (citado agosto 13 de 1999). No disponible.
- MONTES, C. [ed.] (2004): *Evaluación y perspectivas del Código Nacional de Recursos Naturales de Colombia en sus 30 años de vigencia*. Universidad Externado de Colombia. Bogotá: Panamericana, Formas e Impresos.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1995): *Prudent Practices in the Laboratory. Committee on Prudent practices for handling, storage, and disposal of chemicals in laboratories*. Washington D. C.: National Academy Press.
- NEMERAW, N. (1991): *Liquid Waste of Industry Theories Practices and Treatment*. Ed. Addison Wesley Publishing Company, Menlo Park.
- QUINTERO, C. (1999): *Clasificación de Residuos Químicos Peligrosos*, Bucaramanga, 89. Tesis, Especialización en Ingeniería Ambiental, Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería



Físicoquímica, Escuela de Ingeniería Química.

RAJESHWAR, K. & J. Ibáñez. 1997. *Environmental Electrochemistry*. San Diego: Academic Press.

REYES, J. y J. Bonnet (2002): *Plan de manejo para disposición de los residuos de los laboratorios de química sanitaria y ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana*, Bucaramanga, 72. Informe de Investigación UPB, Facultad de Ingeniería y Ciencias. Departamento de Ciencias.

_____ *et al.* (2003): *Resultados consolidados investigación plan de manejo para disposición de residuos químicos de laboratorio*. Ponencia presentada en la VI Semana de Investigaciones, UPB, Bucaramanga.

SALCEDO, J. (1998): *Gestión de Residuos*. UIS. Bucaramanga.

SCADPLUS (2005): *Activities of European Union: Legislation. Controlled management of hazardous waste*. (online), Ginebra, (citado noviembre 2 de 2005). Disponible en: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/en/s06017.htm>.