

Gestión de reactivos y desechos químicos en los laboratorios de docencia de la Cátedra de Química Orgánica en la Escuela de Química

Chemical Reagent and Residue Management at The Teaching Laboratories of The Organic Chemistry Department in The Chemistry School, Universidad Nacional

Ana Cristina Benavides-Benavides
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
ana.benavides.benavides@una.cr

Xinia Vargas-González
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
xiniavargas.gonzalez@gmail.com

Carmen Mora-Aparicio
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
carmorapa@gmail.com

Ilena Vega-Gúzman
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
ilenave@gmail.com

Sandra Valdéz-Díaz
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
sanvaldiaz@yahoo.com

Recibido: 22/9/14 Aceptado: 25/8/15

Resumen: La Química Verde consiste en utilizar sustancias químicas amigables con el ambiente, buscando la reducción de los residuos y la seguridad en las diferentes actividades de donde se derivan residuos químicos. De esta manera se busca con la Química Verde dar un paso hacia la sostenibilidad y que, en consecuencia,



mediante ella se opte por una química cuyos productos y procesos busquen alcanzar un equilibrio ambientalmente vivible, socialmente viable, económicamente redituable, energéticamente deseable y éticamente aceptable. Doria y Miranda (2013). Con el fin de aplicar la Química Verde en los laboratorios de la Escuela de Química, se propone el proyecto “Gestión de Reactivos y Desechos Químicos en los Laboratorios de Docencia de la Cátedra de Química Orgánica en la Escuela de Química”, siendo esta Cátedra una de las más complejas debido a la diversidad de los cursos que se imparten y de las sustancias químicas que se utilizan en las diferentes prácticas de laboratorio y de los residuos que se generan.

El proyecto se desarrolló en cuatro etapas. La primera consistió en la realización de un diagnóstico para la identificación de los problemas que afectan el accionar de los cursos de esta Cátedra. La segunda, procuró el desarrollo de acciones y su implementación para la solución de los problemas encontrados. La tercera y cuarta etapas permitieron establecer mecanismos de coordinación con los diferentes actores involucrados en el proceso. Por último, se contempló la evaluación y el monitoreo para la concreción de los logros del proyecto. En este artículo se evidencian los principales resultados luego de la puesta en práctica del proyecto antes indicado.

Palabras clave: química verde, gestión de residuos, química orgánica.

Abstract: Green chemistry consists in using environmental- friendly chemical substances looking for a reduction of residues and safety in the different activities from which chemical residues are originated. With green chemistry we are looking for sustainability with products and processes aim at an equilibrium environmentally livable, socially viable economically profitable, energetically desirable and ethically acceptable (Doria and Miranda, 2013). With the purpose of make use of green chemistry al the teaching labs of the School of Chemistry (UNA) the project “Chemical reagent and residue management at the teaching laboratories of the organic chemistry department in the Chemistry School, Universidad Nacional” is proposed, being this Department one of the more complex due to the diversity of courses offered and the chemical substances used during the different lab activities and the residues they generate.

The project was carried out in four phases. The first one was an assessment to identify the problems in the operation of the department ’s courses. The second one tried to develop actions and their implantation to solve the problems found. The third and fourth phases established coordination mechanisms with the different persons involved in the process. Finally evaluation and control of achievements were considered. This paper shows the main results of the project.

Keywords: green chemistry, residue management, organic chemistry.

Introducción

Desde la declaración de Estocolmo en 1972, han surgido iniciativas importantes que resaltan la importancia de la inclusión en las instituciones de educación superior en el análisis y acciones para la búsqueda de la sostenibilidad del planeta tanto que se reconoce como eje de acción en las propuestas curriculares la problemática ambiental.

En este sentido, las universidades promueven el conocimiento a través de la investigación, que dé respuesta en torno a la problemática ambiental, los resultados obtenidos luego son difundidos a través de la docencia. Indica Reyes-Sánchez, 2009, en este sentido “el conocimiento que construye la ciencia se transmite a través de la enseñanza, y la enseñanza, como actividad cognitiva, se desarrolla de forma organizada a través de la educación institucionalizada en el aula escolar. Si se educa a través de la enseñanza y se enseña en la escuela, luego entonces, en la escuela se enseña la ciencia: desde el preescolar y hasta el postgrado”.

Este rol anteriormente indicado, implica una responsabilidad social que adquieren las instituciones de educación, que abarca el compromiso con el desarrollo sostenible y, en ese marco, con el medio ambiente.

Como bien lo apunta Reyes-Sánchez (2012) “resolver estos problemas complejos que el medio nos plantea para la existencia de la vida en el planeta implica la necesidad de visualizar, observar, estudiar e interpretar éstos desde todas las diferentes perspectivas de la ciencia a fin de conocerlos en toda su integridad y no en su parcialidad, para así estar en posibilidad de ofrecer alternativas de solución y avanzar hacia la construcción del desarrollo sostenible”. Conviene ahora clarificar el significado de sostenibilidad que implica la capacidad de una sociedad de satisfacer sus necesidades sin poner en peligro la capacidad de que las generaciones futuras satisfagan también sus necesidades. (Universidad de Santiago de Compostela, 2008)

Dentro de este compromiso, la Universidad Nacional de Costa Rica, elaboró su política ambiental en el año 2003, siendo este el marco de referencia que orienta hacia la necesidad de incorporar la ética de la sostenibilidad medioambiental en toda la actividad académica. Este documento refleja la firme intención respaldada por la misión, visión, principios, fines y funciones establecidos en el Estatuto Orgánico Institucional y de los esfuerzos que viene realizando consciente de su responsabilidad ambiental presente y futura y del compromiso de contribuir en el desarrollo integral, autónomo,

sostenible y equilibrado de la sociedad, en un marco de solidaridad y de armonía entre el ser humano y la naturaleza, UNA- Gaceta 7-2003.

Esta política ambiental institucional, consta de 12 principios, a saber:

1. Formar profesionales con una clara conciencia y responsabilidad ambiental que se refleje en su desempeño profesional.
2. Promover actividades académicas que fortalezcan una cultura ambiental de excelencia.
3. Ejecutar todas las actividades académicas, administrativas y de servicios en general, bajo principios que aseguren que éstas sean cada vez más amigables con el ambiente.
4. Realizar sus actividades de modo que se prevengan el derrame y emisiones de productos peligrosos, para proporcionar condiciones de salud adecuadas a la comunidad universitaria, población cercana y el ambiente en general.
5. Utilizar la energía racionalmente mediante prácticas de reducción.
6. Realizar sus actividades de modo que se disminuya el desperdicio y contaminación del recurso hídrico para contribuir a su conservación.
7. Realizar un manejo adecuado de sus residuos utilizando principalmente un criterio de prevención y minimización.
8. Contribuir a la conservación de los recursos forestales del país.
9. Contribuir a disminuir la contaminación atmosférica.
10. Realizar sus actividades de modo que se prevenga la contaminación del suelo. Y se contribuya a su conservación.
11. Cumplir gradualmente con la legislación ambiental nacional pertinente (vertido y re-uso de aguas residuales, residuos peligrosos, uso de agroquímicos, entre otros).
12. Procurar las condiciones de higiene y seguridad adecuadas para la salud de la comunidad universitaria.

Los principios antes indicados, aunados a alternativas para crear una Química que busque acercarse a la sostenibilidad, mediante la práctica de procesos amigables con el ambiente y económicamente redituables, es la que corresponde a la Química Verde, planteamiento hecho por Anastas y Warner en 1998. La Química Verde o Química Sostenible es un área multidisciplinaria de la Química que propone prevenir la contaminación desde su origen mediante el diseño, o rediseño, de procesos que minimicen

el uso o producción de sustancias peligrosas, en contraposición a la práctica industrial de desarrollar sistemas de protección y tratamiento de este tipo de sustancias una vez generadas. El concepto de Química Verde también incluye la optimización del consumo energético, el uso de fuentes renovables para la producción de energía y productos químicos y la economía atómica para minimizar la producción de residuos. En términos generales se denomina Química Verde “a la utilización de compuestos químicos o procesos que sean amigables con el medio ambiente y cuyo uso resulte en una reducción de residuos, procesos de producción más seguros, y reducir (o mejor aún eliminar) la contaminación y el daño ambiental. La Química Verde, fomenta la innovación y promueve la creación de productos que sean sostenibles tanto desde el punto de vista económico como el ambiental” (EPA, 2008).

En el artículo titulado *¿Qué tan verde es un experimento?* elaborado por Morales, Martínez, Reyes, Martín, Arroyo, Obaya y Miranda se indican los principios que fundamentan el método de prevención de contaminantes con una explicación adaptada a partir de los principios elaborados por Anastas y Warner, 1998.

Los 12 Principios de la Química Verde son:

1. **Prevención:** es mejor prevenir la generación de un residuo, que tratarlo o eliminarlo después de haberlo generado.
2. **Economía atómica:** los métodos de síntesis deberán diseñarse de tal forma que se incorporen al máximo, en el producto final, to-dos los sustratos usados durante el proceso.
3. **Síntesis químicas menos peligrosas:** los métodos de síntesis deberán ser diseñados para utilizar y generar sustancias que presenten baja o nula toxicidad, tanto para el ser humano, como para el ambiente.
4. **Diseño de químicos seguros:** los productos químicos se diseñarán de manera que mantengan su eficacia y baja toxicidad.
5. **Uso de disolventes seguros o auxiliares:** evitar el empleo de sustancias auxiliares como disolventes, reactivos de separación, etc., y en el caso de que se empleen, éstos deberán ser lo más inocuos posible.
6. **Diseño de la eficiencia energética:** los requerimientos energéticos en un proceso químico se catalogan por su impacto económico y al medio ambiente; por lo tanto, se sugiere llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura y presión ambiente.

7. **Uso de materias primas renovables:** la materia prima debe ser preferiblemente renovable en lugar de agotable, siempre que sea técnica y económicamente viable.
8. **Reducir derivados:** evitar el uso de grupos de bloqueo, de protección-desprotección o la modificación temporal de los procesos fisicoquímicos, su empleo requiere reactivos adicionales y genera residuos.
9. **Catalisis:** considerar el empleo de catalizadores, lo más selectivos posible, de preferencia de origen natural.
10. **Diseñar sustancias biodegradables:** los productos deberán ser diseñados de tal manera que al final de su vida útil no persistan en el ambiente.
11. **Análisis en tiempo real para prevenir la contaminación:** las metodologías analíticas necesarias serán desarrolladas en el momento del proceso, lo que permitirá un seguimiento y control en tiempo real del proceso, previo a la formación de sustancias peligrosas.
12. **Químicos seguros para prevenir accidentes:** las sustancias y la forma de una sustancia usada en un proceso químico deberá ser elegida para reducir el riesgo de accidentes químicos, incluyendo las emanaciones, explosiones e incendio. La implementación de los conceptos anteriores obliga a revisar con cuidado los cursos de laboratorio que imparte la Escuela de Química, son muchos los casos en que en las prácticas de laboratorio que se ejecutan, generan residuos sólidos y líquidos que contaminan el ambiente, por lo que resulta necesario transitar a la búsqueda de la sostenibilidad, aunque ello implique la elaboración de nuevas prácticas de laboratorio, en donde se consideren procedimientos alternativos más verdes que evidencien los conceptos tratados en los cursos teóricos. Esta nueva visión preventiva permitió revisar los procedimientos y sustituirlos por otros que son menos contaminantes o al menos reducir la cantidad de los reactivos empleados y de los productos generados.

Dada la condición anterior es necesario que las prácticas de laboratorio que se diseñan, tengan un acercamiento cada vez más verde, de manera que, en todo laboratorio que maneje sustancias químicas se cuente con un programa capaz de reducir los riesgos presentes en el uso y manipulación de las sustancias químicas. Cada una de las acciones debe potenciar el desarrollo de procedimientos experimentales que prevengan la cantidad, el tipo y la peligrosidad de los residuos generados.

Para la gestión se aplicará el modelo de cono que incluye: evitar, reducir, reciclar, tratar y eliminar los desechos químicos que dañan la salud y el ambiente.

Metodología

En una primera etapa se elaboró un instrumento de diagnóstico, se validó y aplicó a los profesores de la Cátedra de Química Orgánica. Posteriormente se sistematizó la información. Una segunda etapa consistió en la realización de acciones que respondan a la resolución de los problemas encontrados. En esta etapa se trabajó en la recopilación y elaboración de las hojas de seguridad de los reactivos que se utilizan en los laboratorios de docencia de la Cátedra de Química Orgánica. Estas hojas se elaboraron con un formato que permite que esta información sea además un instrumento didáctico, para la totalidad de los cursos de laboratorio de la Cátedra de Química Orgánica. Además se trabajó en la realización de un inventario sobre los diferentes residuos que se generan en los laboratorios para su mejor disposición. El inventario se realizó a través de una cuantificación rigurosa de los residuos que se generan y el aporte de cada una de las sustancias en la totalidad del residuo. El inventario es un insumo importante para la definición de las familias para la segregación de los residuos, los protocolos de tratamiento, el costo de tratamiento y las posibilidades de almacenamiento transitorio en la Escuela de Química. En la segunda etapa se elaboran protocolos que incluyen las medidas adecuadas para la disposición de residuos en los laboratorios de docencia. Los protocolos de manejo se incluirán en cada una de las prácticas de laboratorio para que el estudiante y profesores atiendan las indicaciones del caso. Se hace aquí un esfuerzo en la elaboración de prácticas de laboratorio que generen desechos de menor impacto al ambiente, para ello se revisaron en forma exhaustiva las prácticas de laboratorio de cada uno de los cursos pertenecientes a la Cátedra de Química Orgánica y en conjunto con los miembros de esta Cátedra se propusieron prácticas nuevas o modificadas que impacten lo menos posible el ambiente. Estas prácticas se validaron y posteriormente se sistematizaron en un documento.

Una tercera etapa procuró establecer mecanismos de coordinación entre funcionarios y estudiantes involucrados en el manejo y disposición de reactivos y desechos. Se realizaron talleres de capacitación y coordinación dirigidos a los profesores de la Cátedra de Química Orgánica, asistentes, personal administrativo de los laboratorios como preparadores de reactivos y funcionarios que atienden la ventanilla y el equipo de proyecto.

En una última etapa se realizaron evaluaciones que permitieron valorar el avance del proyecto y los resultados obtenidos.

Principales resultados a partir de la puesta en ejecución del Proyecto.

1. *Elaboración de una etiqueta para el manejo de residuos.*

A partir de la experiencia del grupo de investigadores en coordinación con la Regencia Universitaria, se elaboró una etiqueta para la separación y almacenamiento de los residuos generados. Es importante indicar que esta etiqueta reúne ventajas como las siguientes: Se indica con claridad el ente generador, el desecho claramente identificado de acuerdo con la familia de desechos establecida, los pictogramas considerando el residuo generado.

Etiqueta de desechos - Universidad Nacional

Generador	
Responsable:	PROGERE
Teléfono:	22774389
Laboratorio	

Desechos	
Grupo-clasificación	1. Bases Inorgánicas
Contenido	Hidróxido de sodio y de potasio
Código	
Inicio – acumulación	
Final-acumulación	
Observaciones	



**Simbología
Naciones Unidas**



**Simbología
Unión Europea**



**Simbología
Global Armonizada**

Características: TÓXICO; la inhalación, ingestión o contacto del material con la piel, puede causar lesiones severas o la muerte. El fuego puede producir gases irritantes, corrosivos y/o tóxicos

Incendio: Usar polvo químico seco, CO₂, rocío de agua o espuma resistente al alcohol. No introducir agua en los contenedores. SIEMPRE manténgase alejado de tanques envueltos en fuego.

Derrame o fuga: ELIMINAR todas las fuentes de ignición (no fumar, no usar bengalas, chispas o llamas en el área de peligro). No tocar los contenedores dañados o el material derramado, a menos que esté usando la ropa protectora adecuada. Detenga la fuga, en caso de poder hacerlo sin riesgo. Absorber con tierra seca, arena u otro material absorbente no combustible y transferirlo a contenedores.

Primeros auxilios: Mueva a la víctima a donde se respire aire fresco. Llamar a los servicios médicos de emergencia. Enjuagar inmediatamente la piel o los ojos con agua corriente por lo menos durante 20 minutos. Mantener a la víctima en reposo y con temperatura corporal normal.



Figura 1. Etiqueta para el manejo de los residuos.

2. *Documento de prácticas para los cursos de Química Orgánica de servicio.*

El documento de prácticas de laboratorio con un enfoque de Química Verde, contempla veinte prácticas para los cursos de Química Orgánica de servicio. Como principios fundamentales en la realización de estas prácticas experimentales se consideran:

- El desarrollo de experiencias de laboratorio en temas fundamentales para la comprensión del contenido químico.
- El énfasis en el desarrollo de destrezas experimentales por parte de los estudiantes.

- La utilización de sustancias inocuas.
- La utilización de disoluciones con bajas concentraciones.
- La utilización de mínimas cantidades de sólidos y líquidos de los reactivos químicos.
- La incorporación de preguntas que obliguen a la reflexión por parte del estudiante en relación con aspectos específicos en los procedimientos de las prácticas de laboratorio
- El favorecer la producción de productos químicos sencillos, que motiven al estudiante al conocimiento químico, de manera que le permita relacionar los contenidos académicos con aspectos prácticos y cotidianos.

3. *Elaboración de protocolos de seguridad.*

Los protocolos de seguridad elaborados identifican los desechos que se generan en cada una de las prácticas de laboratorio y la forma como deben ser desechados de acuerdo con las familias de residuos producto de la clasificación de los mismos. Otro aspecto importante que se anota son las instrucciones según las distintas partes de la práctica, con el fin de que los profesores y preparadores de reactivos, consideren detalles de las prácticas que no pueden ser colocadas en los libros de laboratorio de los diferentes cursos.

4. *Capacitaciones a estudiantes, funcionarios de la Carrera de Química Industrial.*

La capacitaciones a estudiantes, funcionarios de la Carrera de Química Industrial, así como de los cursos de servicio y a representantes de JICA, permitió la difusión de los productos generados en el proyecto.

5. *Diagnóstico de los principales aspectos que se requiere atender en los cursos de la Cátedra de Química Orgánica.*

El objetivo de este diagnóstico fue conocer la percepción de los funcionarios académicos y estudiantes involucrados en los laboratorios de docencia de la Cátedra de Química Orgánica de la Escuela de Química, en relación con el manejo de los reactivos y residuos. La encuesta contempló dos partes: en la primera se tomaron en cuenta aspectos relacionados con la seguridad de los laboratorios de docencia de la Cátedra de Química Orgánica y la segunda aspectos relacionados con la gestión de los residuos.

La encuesta presentó una serie de aspectos a considerar y se solicitaba a los encuestados indicar un nivel de prioridad de atención de cada uno de estos aspectos.

De manera que:

Prioridad 1= requiere atención inmediata.

Prioridad 2= requiere atención.

Prioridad 3 = no requiere atención ya que el aspecto se cumple.

N.A.= no corresponde

ASPECTO 1: SEGURIDAD EN EL LABORATORIO.

Los criterios que se sometieron a consideración son los siguientes:

1. Cuenta con equipo y material adecuado para atender una emergencia: botiquín, manta extintores, lavajos, ducha y está ubicado en un lugar e accesible.
2. Los extractores son suficientes y funcionan correctamente.
3. Existe normativa sobre seguridad en el trabajo de laboratorio, colocada en un lugar visible y conocida y analizada con los estudiantes.
4. Exige la vestimenta apropiada para el trabajo en el laboratorio.
5. Aplican las normas de seguridad para el manejo de reactivos y residuos en los laboratorios de docencia.
6. Las hojas de seguridad para las sustancias utilizadas en las prácticas de laboratorio son accesibles tanto a docentes como a los estudiantes.
7. Utiliza una etiqueta en los recipientes de reactivos y residuos que brinde la información de seguridad apropiada.
8. Conoce los protocolos para la atención de emergencias como derrames, incendios, temblores u otros.

ASPECTO II. GESTION DE RESIDUOS.

Los criterios que se sometieron a consideración son los siguientes:

1. Se cuantifican los residuos en los laboratorios de docencia.
2. Se brinda un almacenamiento primario adecuado a los residuos generados en las prácticas de laboratorio.

3. Se realiza un tratamiento primario a los residuos generados en las prácticas de laboratorio, cuando se requiere.
4. Se brinda una disposición final adecuada para los residuos generados en las prácticas de laboratorio.
5. Se cuenta con una normativa interna para la gestión de reactivos y residuos.
6. Conoce usted los subproductos químicos que se generan en las prácticas de laboratorio.
7. Utiliza usted con frecuencia las MSDS en la elaboración de la libreta.
8. Los recipientes utilizados para la recepción de residuos químicos se encuentran: presentes en el laboratorio, rotulados correctamente, en buen estado y con la tapa respectiva.
9. Durante las sesiones de laboratorio, distingue usted con claridad los residuos acuosos de los orgánicos.
10. Las estrategias utilizadas en la actualidad en el manejo de los residuos químicos son claras y suficientes.

Los resultados de la encuesta aplicada a los profesores de dos de los cursos de laboratorio de la Cátedra de Química Orgánica, a saber: Laboratorio de Biorgánica y Laboratorio de Química Orgánica Ambiental, en relación con seguridad en el laboratorio, los profesores que imparten los cursos de laboratorio de Biorgánica consideran que los aspectos que requieren mayor atención son: la normativa sobre seguridad en el trabajo de laboratorio, no se encuentra colocada en un lugar visible, por tanto no es conocida y analizada por los estudiantes. Otro aspecto que se considera de atención inmediata es el contar con las hojas de seguridad para las sustancias utilizadas en las prácticas de laboratorio y a su poca accesibilidad. Además, se hizo referencia a la necesidad de utilizar una etiqueta estandarizada para el manejo de reactivos y residuos químicos, que contenga la información de seguridad apropiada. Se evidenció la necesidad de dar mayor difusión a nivel de estudiantes y profesores de los protocolos para la atención de emergencias como derrames, incendios, temblores u otros. Las observaciones anteriormente indicadas se pueden apreciar en la figura 2.

Seguridad en el Curso de Lab Biorgánica

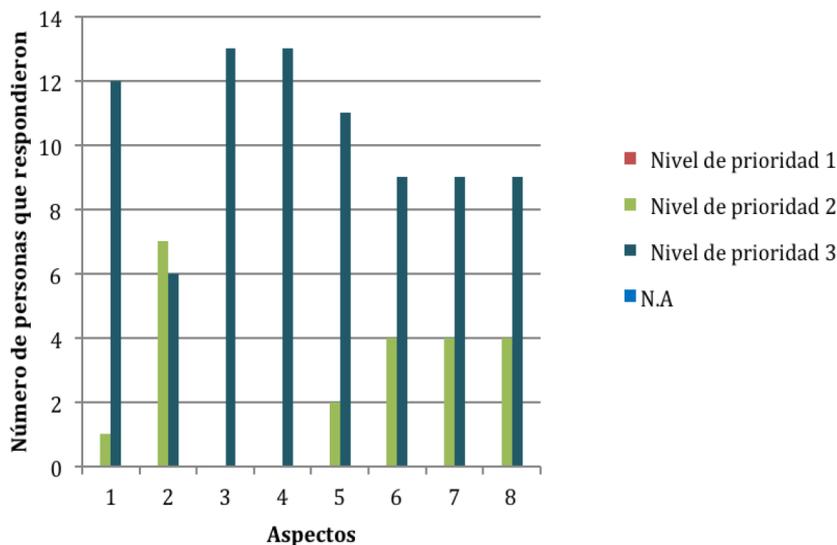


Figura 2. Resultados de la encuesta en el apartado de seguridad en el laboratorio.

En la temática sobre gestión de residuos en todos los aspectos que se mencionan, el nivel de prioridad es de 2, lo que significa la necesidad de atención en todo el proceso que involucra el debido manejo y tratamiento de los residuos. Lo anterior implica la necesidad de contar con hojas de seguridad, protocolos de manejo, prácticas con un enfoque de Química Verde, etiquetado de residuos, cuantificación de los residuos. Es evidente lo anterior en la figura 3).

Siguiendo con el análisis de los resultados de la encuesta en el curso de Orgánica Ambiental, se puede apreciar, de acuerdo con la figura 4, que es opinión de los docentes la necesidad de atención inmediata (nivel de prioridad 1) a todos los aspectos de seguridad planteados en el instrumento.

En relación con la gestión de residuos químicos, los profesores que imparten el laboratorio de Orgánica Ambiental, consideran que se debe establecer un proceso para la gestión y el tratamiento de los residuos. La figura 5 evidencia el aspecto antes señalado.

Gestión de residuos en el Curso de Lab Biorgánica

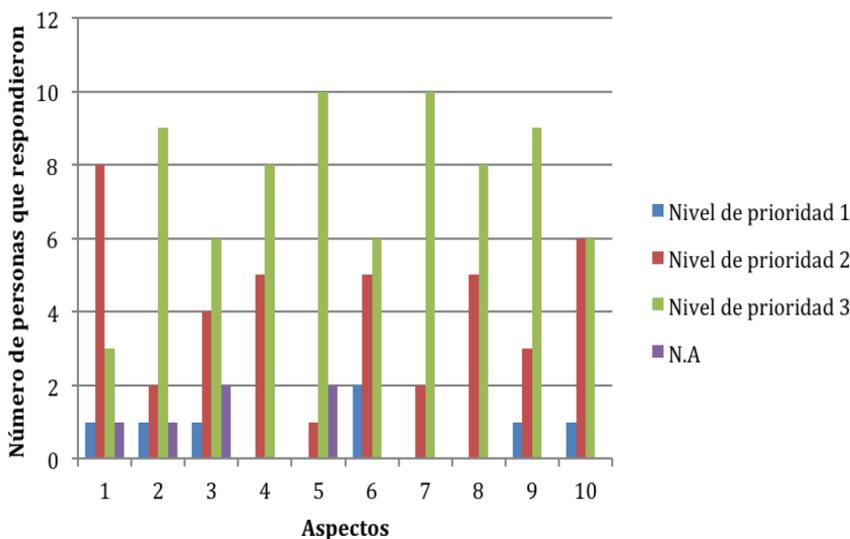


Figura 3. Resultados sobre la opinión de los docentes en lo que respecta a la gestión de residuos en los laboratorios de Biorgánica.

Seguridad en el Curso de Lab Orgánica Ambiental

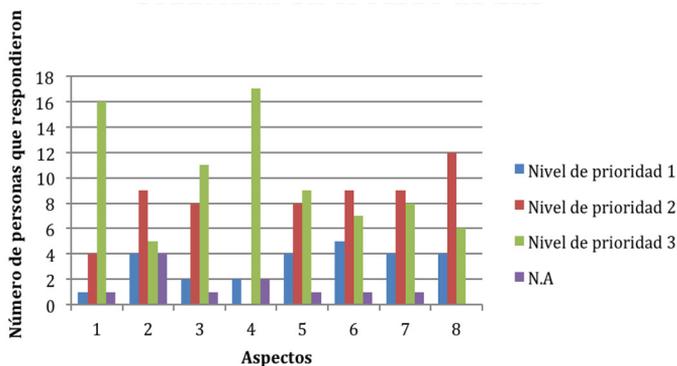


Figura 4. Resultados sobre la opinión de los docentes del curso de laboratorio de Orgánica Ambiental, en relación a la temática de seguridad en el laboratorio.

Gestión de residuos en el Curso de Lab Orgánica Ambiental

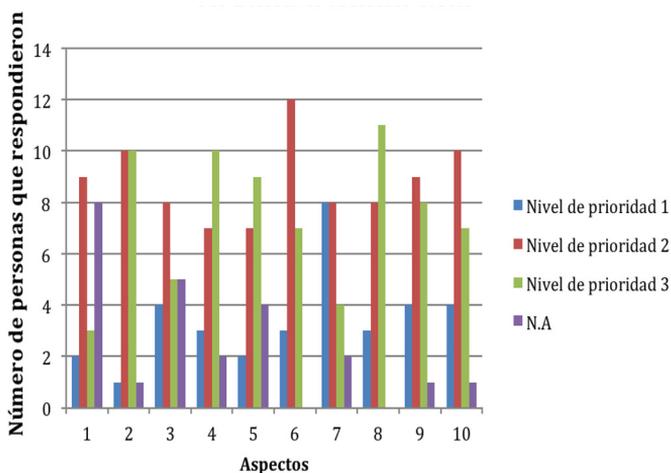


Figura 5. Resultados sobre la opinión de los docentes del curso de laboratorio de Orgánica Ambiental, en relación a la temática de gestión de residuos en el laboratorio.

En síntesis requieren de atención inmediata, los siguientes aspectos:

1. Coordinar las acciones identificadas en el diagnóstico que corresponden con las acciones que realizan la Regencia Institucional y le encargada de los laboratorios de la Escuela de Química, para la atención de los aspectos relacionados con la seguridad de los mismos e infraestructura (armarios, rejillas, etc).
2. Tratamiento de residuos químicos.
3. Necesidad de contar con estrategias para el manejo de los residuos químicos: hojas de seguridad, protocolos, inventarios y otros).

6. *Propuesta de prácticas nuevas*

Se realizó una revisión de los manuales de laboratorio de la Cátedra de Química Orgánica, con el fin de determinar las prácticas críticas. Para esto, se implementó una Matriz de Evaluación de Riesgo, la cual define la importancia de las prácticas en términos de peligrosidad de las sustancias químicas utilizadas, de cantidades generadas y de las concentraciones obtenidas. (González et al, 2013)

Las prácticas identificadas como críticas, se sometieron a un análisis con el propósito de eliminarlas o cambiarlas en los manuales de laboratorio vigentes,

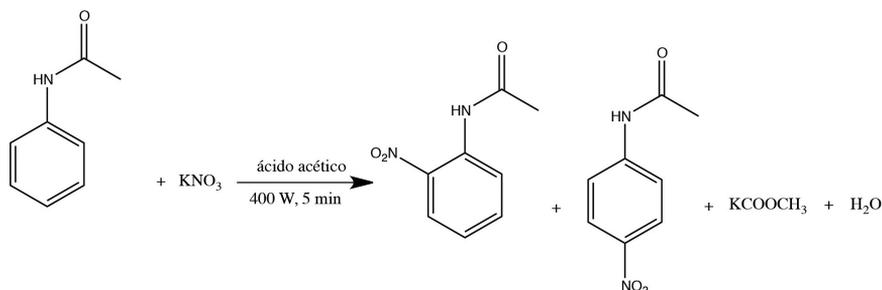
por citar ejemplos de lo anterior, se tiene que la práctica de Extracción de los Pigmentos de la Espinaca y la de Cromatografía del Achiote, del curso de Química Orgánica, se reemplazaron por la práctica de Extracción de los Componentes de un fármaco. También la síntesis de la nitroacetanilida tradicional se cambió por una síntesis verde utilizando microondas. Este cambio permitió la reducción de residuos orgánicos y el reemplazo de sustancias peligrosas, manteniendo los contenidos académicos pilares en estos temas.

Las Prácticas: *Sustitución Electrofilica Aromática: Nitración de la Acetanilida con microondas, Sustitución Electrofilica Aromática*, utilizada en los laboratorios de Química Orgánica II y Biorgánica, se clasificaron como críticas según la Matriz de Evaluación de Riesgo. Esta síntesis produce 60,6 g de orto y paranitroacetanilida, del cual se utiliza solamente 2,0 g para realizar su recrystalización con etanol y el punto de fusión de la para-nitroacetanilida aislada, por lo que se desecha el 96,7 % del producto sintetizado (mezcla de orto- y para- nitroacetanilida), generando una mayor cantidad de residuos químicos que posteriormente deben disponerse de forma especial, implicando un costo adicional por parte de la Escuela de Química y un uso desproporcionado de reactivos. La síntesis tradicional, requiere de una mezcla de ácido nítrico y de ácido sulfúrico que es muy corrosiva, implicando un riesgo potencial a la salud de los estudiantes que realizan la práctica. La mezcla ácida es adicionada utilizando un embudo de extracción al recipiente de reacción, por lo que los estudiantes durante toda la síntesis se exponen a los vapores generados. Por las desventajas mencionadas, se sustituyó la síntesis de nitración de la acetanilida por una síntesis verde, utilizando energía de microondas. El uso de microondas es uno de los métodos más convencionales que se han desarrollado en la síntesis orgánica, con el fin de que sean amigables con el ambiente y el ser humano (Yadav, U et al, 2012; Miranda, 2010). Esta síntesis mostró resultados reproducibles en un horno de microondas fijado en 400 W durante 5 minutos.

Si se compara el tiempo de reacción de la práctica convencional, que normalmente se realizaba en 35 minutos, con la nueva propuesta, se obtuvo una reducción significativa, ya que esta se realiza en 5 minutos. Dicha disminución es una de las ventajas que presenta la síntesis asistida por microondas. (Miranda, 2010). Otra ventaja en este tipo de síntesis, es que se evita el uso de volúmenes grandes de disolventes y de reactivos. Por ejemplo, en la síntesis desarrollada, se utilizó 1,4 g de acetanilida, obteniendo una disminución del 80% respecto a la síntesis convencional, además se requiere de 5 mL de ácido acético, el cual es un disolvente con la propiedad de adsorber efectivamente la radiación de microondas (Yadav, U et al, 2012).

En la práctica se utilizan como agentes nitrantes el nitrato de potasio y el nitrato de cobre II, los subproductos generados fueron el acetato de cobre y el acetate de potasio; y la mezcla de productos de orto- y para- nitroacetanilida (ver reacciones 1 y 2). Por extracción con acetato de etilo y concentración de la fase orgánica en un rotavapor, se obtuvo un sólido de color amarillo pálido que corresponde a la mezcla de orto- y para- nitroacetanilida.

Reacción 1:



Reacción 2:

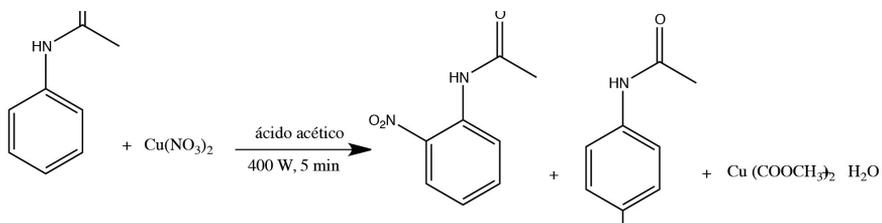


Figura 6. Reacciones que describen la sustitución electrofílica aromática, mediante la nitración de la acetanilida empleando como fuente energética microondas. El ión nitronio (electrófilo que participa en la reacción) es generado a partir de KNO₃ (reacción 1) o bien mediante el uso de Cu(NO₃)₂ (reacción 2), y no de la mezcla HNO₃-H₂SO₄ que se emplea clásicamente.

De ambos agentes nitrantes, se eligió el nitrato de potasio, ya que al disponerse el residuo de acetato de cobre, el cobre II puede cambiar su estado de oxidación transformándose a Cu VI, el cual representa grandes riesgos a la salud así como al medioambiente. Por el contrario, el potasio puede disponerse más fácilmente. (MSDS Cu(NO₃)₂, MSDS KNO₃)

La mezcla de orto y para-nitroacetanilida, producto de la reacción 1, se recrystalizó con etanol caliente y posteriormente se determinó el punto de fusión de la para-nitroacetanilida purificada, obteniendo un valor experimental de 213,5 °C, con un 0 % de error, ya que el valor teórico es de 213 a 215 °C. (MSDS p-nitroacetanilida).

La síntesis de microondas validada, se puso a prueba con un grupo piloto de laboratorio, para compararla con la síntesis tradicional. La relación en la reducción de desechos se muestra en el figura 7. Aquí se compara, por medio de barras, el volumen de desechos líquidos generados en la práctica verde propuesta y la tradicional. Dicha gráfica señala una disminución significativa, que corresponde a un 98,8 % en mililitros, demostrando otra de las ventajas que presenta esta síntesis y el cumplimiento del principio de la Química Verde de evitar o reducir la producción de residuos.

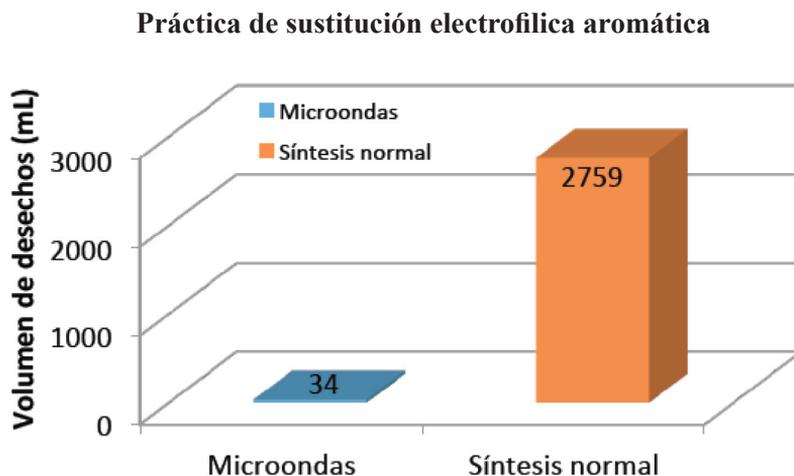


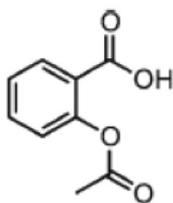
Figura 7. Comparación de volumen de desechos entre la práctica tradicional y la propuesta utilizando microondas para la Sustitución Electrofílica Aromática de la Nitroacetanilida.

Práctica de Extracción de los Componentes de un Fármaco.

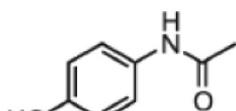
En los laboratorios de Biorgánica y Química Orgánica I, se realizan dos prácticas calificadas como críticas: la Extracción de los Pigmentos de la Espinaca y la Cromatografía de los Pigmentos del Achiote. Ambos ensayos fueron reemplazados por la Extracción de los componentes activos

(cafeína, acetaminofén y aspirina) de una mezcla de fármacos (mezcla de Cafiaspirina® y paracetamol) (Kevin D, 2011).

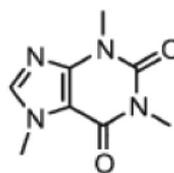
En las prácticas tradicionales las sustancias nocivas como el metanol, ciclohexano y el cloroformo, se utilizaban como disolventes, estos se sustituyeron por disolventes acuosos como el fosfato ácido de potasio, cloruro de sodio e hidróxido de sodio. (Kevin D, 2011).



Aspirina



Acetaminofén



Cafeína

Figura 8. Componentes activos de una mezcla de fármacos (Cafiaspirina® y paracetamol).

En la extracción de los componentes de una mezcla de fármacos, los desechos de los disolventes acuosos solo requieren previa neutralización para su disposición final. En el caso del éter etílico, que es el único disolvente orgánico utilizado, fue evaporado con el fin de concentrar y separar el último componente activo de la mezcla, por lo que no se generan desechos.

En el figura 9 se muestra la comparación de las prácticas convencionales y la propuesta, en términos de generación de desechos líquidos. Tanto en la etapa de extracción como en la de cromatografía, se observa una reducción de desechos de un 60% y de un 32%, respectivamente. Este resultado indica el cumplimiento de dos de los principios de la Química Verde: la disminución de los desechos generados y la sustitución de disolventes contaminantes por disolventes acuosos. (Anastas, P; Eghbali, N. 2010)

La cromatografía de capa fina (ccf) realizada a los componentes del fármaco (figura 9), genera 50 mL de residuos de disolventes orgánicos (hexano y el éter etílico), sin embargo la práctica tradicional generaba 155 mL de una mezcla de éter de petróleo, ciclohexano, cloroformo y acetona. Estos disolventes orgánicos presentan un mayor grado de peligrosidad para el ambiente y la salud de los estudiantes.

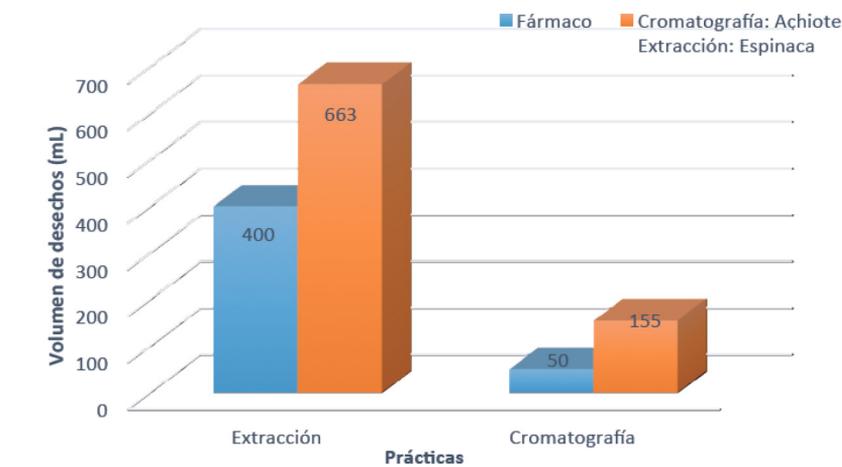


Figura 9. Desechos generados (mL) en dos grupos de laboratorios piloto en la práctica de extracción y cromatografía tradicional (Extracción de los Pigmentos de la Espinaca y Cromatografía de los colorantes del Achiote) y la propuesta verde (Extracción y cromatografía de los Componentes de un Fármaco).

La práctica de Extracción y Cromatografía de los Componentes de un Fármaco, además de cumplir con principios de la Química Verde, anteriormente mencionados, permitió incluir los conceptos pilares que son evaluados por los docentes en las prácticas críticas, que corresponden a la técnica de extracción líquido-líquido y a la cromatografía de capa fina.

Conclusiones

Del instrumento del diagnóstico, aplicado a los profesores que integran la Cátedra de Química Orgánica, se deriva la necesidad de reforzar en los laboratorios algunos equipos necesarios para garantizar la seguridad de los estudiantes, además de dar a conocer en la población estudiantil, la normativa sobre seguridad para el trabajo experimental. Es relevante la necesidad de contar con hojas de seguridad de las sustancias químicas utilizadas en las prácticas de laboratorio, así como el correcto etiquetado de los recipientes, sean estos de reactivos o residuos químicos. Se evidencia en el diagnóstico la necesidad de dar a los residuos químicos el almacenamiento, tratamiento y disposición final correctos.

La cuantificación permitió la revisión detallada de los manuales de laboratorio, procurando para cada práctica identificar la naturaleza y cantidad de los reactivos que se utilizan. Lo anterior permitió revisar la clasificación de los residuos químicos que se producen en los laboratorios de docencia. Esta clasificación permite la segregación de los residuos para su posterior tratamiento.

El diseño de prácticas nuevas y la revisión de las prácticas existentes permitió la minimización de los residuos generados de los laboratorios correspondientes a esta Cátedra y por lo tanto un menor costo en la compra de reactivos en la Escuela de Química, una mejor calidad de la docencia que se imparte, producto de esta revisión minuciosa a cada una de las prácticas que se plantean como nuevas y un menor impacto al ambiente.

Adicional a esto, para estos residuos que se generan se elaboró un protocolo de gestión de desechos que incluye, la correcta clasificación del residuo generado, el pretratamiento correspondiente, la disposición final o recuperación si fuese pertinente.

Para la buena gestión de reactivos y residuos se requiere de la participación de todos los involucrados y el compromiso para el desarrollo de las acciones y esto demanda un cambio cultural que transita por cada una de las acciones que realizan los involucrados.

A pesar de que el proyecto no tenía como objetivo incorporar el tratamiento de los residuos químicos como una acción concreta, si se elaboraron los protocolos correspondientes para el manejo de sustancias químicas así como una propuesta de tratamiento para los residuos que se generan.

Se pusieron en práctica mecanismos biológicos para el control selectivo de la movilidad de los contaminantes metálicos en el medio ambiente. Esta actividad no pudo ser continuada debido a que no se disponía de las muestras necesarias para continuar con los ensayos.

Recomendaciones:

Dada la trascendencia de los productos generados en este proyecto tales como la etiqueta de residuos, hojas de seguridad, protocolos en el manejo de residuos, prácticas de laboratorio verdes, entre otros, se recomienda su inmediata puesta en práctica tanto en la Escuela de Química como a nivel institucional.

Es imperativo el continuar trabajando en esta línea de proyectos con miras a que la universidad sea ejemplo en la minimización de desechos peligrosos a nivel nacional y mundial.

Referencias

- Anastas, P. y Eghbali, N. (2010). Green Chemistry: Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, 39. doi: 10.1039/B918763B
- Andraos, J. y Dicks, A. (2012). Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*, 13. doi: 10.1039/C1RP90065J
- Doria, M. y Miranda, R. (2013). Química Verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química *Educación química.*, 24 (E1), 94-95. Recuperado de <http://revistas.unam.mx/index.php/req/article/viewFile/36887/33395>
- Morales, M., Martínez, J., Reyes-Sánchez, L., Martín, O., Arroyo, G., Obaya, A. y Miranda, R. (2011) ¿Qué tan verde es un experimento? *Educación Química*, 22 (3), 240-248. Recuperado de http://www.quimicageneralpapimeunam.org.mx/ Acceso_alumnos_archivos/Que_tan_verde_es_un_experimento.pdf
- Kevin D. (2011). Revell Separation of the Components of a Commercial Analgesic Tablet: A Two-Week Sequence Comparing Purification by Two-Base Extraction and Column Chromatography. *Journal of Chemical Education*, 88, 1413–141. doi: 10.1021/ed101195v
- MSDS, (s.f.). *Nitrato de potasio*. [En línea] Recuperado de: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/101a200/nspn0184.pdf> [Último acceso 5 Sep. 2013].
- MSDS, (s. f.). *Nitrato de cobre (II)*. [En línea] Recuperado de <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927142> [Último acceso 5 Sep. 2013]
- MSDS, (s.f.). *P-nitroacetanilida*. [En línea] Recuperado de <http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9927142> [Último acceso 5 Sep. 2013].
- Reyes-Sánchez, L. (2012). Aporte de la Química Verde a la construcción de una ciencia socialmente responsable. *Educación química*, 23 (2), 222-229. Recuperado de <http://www.educacionquimica.info/include/downloadfile.php?pdf=pdf1311.pdf>

Rodríguez, J., González, A., Mora, C. y Solís, C. Control Banding para desechos: una matriz para la comparación rápida y simple del impacto sobre el ambiente de los desechos que contienen sustancias químicas. *Revista Uniciencia*, 27 (1), 140-155. Recuperado de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/4947/4741>

Universidad de Santiago de Compostela. (2008). *Conocimiento al Servicio de la Sociedad. Compromiso con el desarrollo sostenible Memoria de Responsabilidad Social 2006-2007 de la Universidad de Santiago de Compostela*.

UNA-GACETA. (23 de mayo del 2003). Políticas ambientales de la UNA. *UNA-GACETA* 7-2003.

Yadav, U., Mande, H. y Ghalsasi, P. (2012). Nitration of Phenols Using Cu (NO₃)₂: Green Chemistry Laboratory Experiment. *Journal of Chemical Education*, 89. doi: 10.1021/ed100957v