

3

**QUÍMICA VERDE: UN ENFOQUE SOSTENIBLE PARA
EL TRABAJO EXPERIMENTAL EN LABORATORIOS
DE QUÍMICA ORGÁNICA EN LA
UNIVERSIDAD DE PANAMÁ****ABDIEL E. APONTE^{1,2}, LILIA CHÉRIGO^{1,3} Y NIDIA ROMERO³**

¹ Centro de Investigaciones para el Mejoramiento de la Enseñanza
de las Ciencias Naturales (CIMECNE).

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Universidad de Panamá.

² Departamento de Química-Física.

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Universidad de Panamá.

³ Departamento de Química Orgánica.

Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología. Universidad de Panamá.

RESUMEN

Una forma eficaz de trabajar los doce principios de la Química Verde en la enseñanza de la Química es a través del trabajo de laboratorio que realizan los estudiantes. En este contexto se plantea la presente investigación, donde se incorpora un enfoque verde dentro de los Trabajos Prácticos del curso de Química Orgánica para estudiantes de Medicina. Se diseña una guía de laboratorio enfocada a redimensionar la actividad experimental bajo este enfoque de procesos limpios y con el uso de técnicas de microescala, en la Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, de la Universidad de Panamá.

Se aplicaron algunos índices de evaluación de qué tan verde es un proceso químico a través de una escala tipo Likert, para conocer el grado de acercamiento verde alcanzado por los experimentos

propuestos. En general, se categorizó la guía con 56 % de los experimentos provistos con un buen acercamiento verde.

Dentro de los aspectos mejorados, se disminuyó el consumo de reactivos, evitándose la exposición prolongada e innecesaria a estos y, por lo tanto, el riesgo de accidentes. Al incorporar los principios de la Química Verde en cada experimento, la dinámica del trabajo tradicional en el laboratorio se modificó, con una participación más activa de los estudiantes, al estar pendientes de cada paso del proceso para evaluarlo y compararlo con la métrica verde aplicada.

PALABRAS CLAVES

Química verde, indicadores verdes, trabajos prácticos

INTRODUCCIÓN

Según han mostrado numerosos estudios científicos convergentes, nos enfrentamos en la actualidad a una situación marcada por toda una serie de graves problemas socio-ambientales estrechamente relacionados. Una situación de auténtica emergencia planetaria que plantea un desafío para hacer posible incluso la continuidad de la especie humana. Este hecho ha dado lugar a numerosos llamamientos de especialistas y de organismos internacionales y, en particular, a la celebración de las llamadas Cumbres de la Tierra en Río de Janeiro, en 1992, en Johannesburgo diez años después, y en 2012, la denominada Río + 20. En ellas se reclama la participación de los educadores de todas las áreas y niveles, tanto de la educación formal como de la no reglada, para que contribuyamos a formar ciudadanos y ciudadanas conscientes de la actual situación de emergencia planetaria y preparados para participar en la necesaria toma de decisiones.

En noviembre del 2014, año en que finalizó la “Década de la Educación por un Futuro Sostenible” (2005-2014), tuvo lugar en Japón la Conferencia Mundial sobre Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS), cuyos fines fueron, además de hacer un balance de lo conseguido en la Década, aprobar un Programa de Acción Mundial para dar continuidad a los objetivos de la EDS. Se señalaba, entonces, que debemos modificar nuestro modo de pensar y de actuar como individuos y como sociedad, si queremos alcanzar, precisamente, el objetivo de la educación para el Desarrollo Sostenible.

La sustentabilidad de nuestra civilización depende de si podemos suministrar fuentes de energía, alimentos y productos químicos a la creciente población sin comprometer la salud de nuestro planeta a largo plazo. El desarrollo de las herramientas para lograr esos objetivos es un gran reto científico, tecnológico y social.

La industria química, los gobiernos, la academia y las organizaciones no gubernamentales han tomado diferentes medidas para enfrentar el reto de la interfase entre la química y la sustentabilidad. Entre ellas se encuentran la Iniciativa Global para el Cuidado Responsable del Consejo Internacional de Asociaciones Químicas, las conferencias sobre química sustentable de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y diversas leyes y convenios internacionales para la regulación de los productos y procesos químicos.

Uno de los conceptos más atractivos en química para lograr la sustentabilidad es la Química Verde o sostenible, cuyo objetivo es la utilización de un grupo de principios que reducen o eliminan el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicaciones de productos químicos, lo que en muchos casos implica el rediseño de los productos y procesos utilizados. (Doria Serrano, 2009).

La Química Verde cuenta con doce principios, originalmente definidos por Anastas y Warner (1998) que se han aplicado en el desarrollo de una amplia gama de productos y procesos cuyo objetivo ha sido minimizar los riesgos a la salud y al medio ambiente, reducir la generación de desechos y prevenir la contaminación.

PRINCIPIOS DE QUÍMICA VERDE	
N°	PRINCIPIO
1	Prevenir la generación de residuos.
2	Economía de los átomos.
3	Síntesis químicas menos peligrosas (tóxicos).
4	Diseño de productos químicos seguros.
5	Empleo de disolventes seguros.
6	Empleo de disolventes seguros.
7	Empleo de materias primas provenientes de recursos renovables.
8	Reducción de productos derivados.
9	Uso de procesos católicos homogéneos, heterogéneos y microheterogéneos.
10	Diseño para la degradación.
11	Análisis de contaminantes en tiempo real.
12	Minimización de riesgos de accidentes químicos.

La Química Verde presenta una nueva filosofía y establece estándares altos para llevar a cabo la investigación y producción de sustancias y procesos químicos, maximizando sus beneficios y minimizando los efectos secundarios que pueden ser dañinos al ser humano y al medio ambiente. A pesar de los éxitos alcanzados durante los últimos 15 años, la disciplina está en sus inicios y aún quedan muchos retos que deben enfrentarse en laboratorios de investigación y desarrollo de institutos, universidades e industrias, por lo que los químicos deben poner en juego sus conocimientos y creatividad.

Con la finalidad de contribuir al cambio educativo que favorezca la búsqueda cotidiana de la sostenibilidad y teniendo en consideración los 12 principios de la Química Verde, las diferentes áreas en las que ésta aplica y la necesidad de implementar todo un enfoque dentro de la Química, tanto a nivel industrial como en los laboratorios de investigación y docencia, se han propuesto escalas para evaluar qué tanto acercamiento verde tiene un método experimental, desde el ámbito educativo. Para realizar esta labor y avanzar en el sentido antes indicado, se ha propuesto el empleo de una herramienta metodológica mixta: cualitativa, mediante un código de color y semicuantitativa, a través del uso de una escala numérica tipo Likert, que permite evaluar qué tan verde es un proceso, con fundamento en los 12 principios de la Química Verde. (Morales y col., 2011; F; Fernández y col., 2013).

En la implementación de una estrategia limpia o verde, la educación debe ser un componente fundamental y esto significa modificar la forma en la que se consideran las interacciones entre las actividades del hombre/medio ambiente, concatenadas con las actividades de laboratorio que son el centro de la formación a nivel superior. En el currículo de la química implica cambiar la forma de pensar y actuar de los docentes para educar, en una química socialmente responsable, a los futuros profesionales de este campo del conocimiento y disciplinas afines.

PARTE EXPERIMENTAL

El proyecto se desarrolló mediante etapas sucesivas:

- a) Diagnóstico: aplicación de una encuesta a los estudiantes al inicio del semestre, sobre aspectos generales del trabajo en el laboratorio de química.
- b) Desarrollo e implementación de una guía con prácticas verdes: experimentos de laboratorio rediseñados, que se incorporaron y validaron durante el semestre con el grupo experimental.

- c) Análisis de las prácticas tradicionales del curso de Química Orgánica: se discutió el impacto ambiental y los riesgos asociados con cada uno de los reactivos utilizados en las actividades de laboratorio, en el transcurso de un semestre, las cantidades empleadas y su disposición final.
- d) Análisis de las prácticas experimentales con enfoque Verde: se clasificaron las sustancias empleadas, de acuerdo a las normas internacionales vigentes y se ponderaron índices cualitativos y semi-cuantitativos que evalúen el acercamiento verde de un desarrollo experimental (Fernández, 2013).
- e) Valoración de los efectos producidos a partir del cambio de reactivos y el uso de las técnicas de microescala en el laboratorio de Química Orgánica: se aplicó un cuestionario al finalizar la implementación del enfoque de QV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Diagnóstico

Con el objetivo de identificar en qué condiciones se encuentran los laboratorios de química, cómo se trabaja y el conocimiento que tienen los estudiantes sobre normas de seguridad, se realizó una encuesta sobre aspectos generales del trabajo en el laboratorio de química, aplicada al inicio del semestre a estudiantes de Medicina. En el cuadro N° 1 se puede visualizar las preguntas realizadas y sus respectivas ponderaciones por parte de los estudiantes.

Podemos destacar del cuadro N° 1 que todos los estudiantes encuestados están al tanto de la presencia de cámara de extracción, extintores y de un lugar para guardar los útiles escolares. Cada uno de estos elementos es indispensable para el trabajo seguro en un laboratorio de química, por lo que se infiere, a partir de las respuestas ofrecidas, que los estudiantes de medicina cuentan con la información sobre los equipos necesarios para trabajar con seguridad, haciéndose necesario explorar si saben para y por qué utilizar la cámara de extracción y los extintores.

Por otra parte, más de la mitad de los estudiantes encuestados no sabe si los laboratorios cuentan con un sistema de alarma y botiquín para emergencias, en caso de riesgos o peligros mientras se está trabajando. Un 24 % de los estudiantes desconoce las normas de actuación frente a una emergencia, lo cual indicaría falta de información previa, específicamente cuando cursa química general.

Resultan de especial interés los aspectos antes señalados, porque de ocurrir un accidente, algunos de los estudiantes no tendrían idea de cómo actuar, aumentando el riesgo para el resto del grupo.

De manera general podemos indicar que la valoración de los encuestados con respecto al cumplimiento de las normas personales para trabajar en el laboratorio oscila entre 92 y 100 %, correspondiendo éstas, respectivamente, a la utilización de gafas de seguridad y bata, lavarse las manos al concluir el laboratorio y no consumir alimentos dentro del laboratorio.

Otros aspectos positivos a resaltar sobre las normas de seguridad que se mantienen en el laboratorio de química orgánica es la señalización que recuerda las buenas prácticas en el laboratorio, se cuenta con dos puertas que permanecen abiertas durante la realización de los experimentos y el laboratorio tiene una buena ventilación, que favorece la renovación del aire interior.

Cuadro N° 1
Distribución porcentual de las respuestas a las interrogantes
de la encuesta diagnóstica

Preguntas	Sí	No	No se
¿El laboratorio de química posee un sistema de alarma?	17,7 %	29 %	53,3 %
¿El laboratorio cuenta, mínimo, con dos puertas?	54,8 %	41,9 %	1,6 %
¿En el laboratorio hay señalizaciones para recordar normas y cuidados al realizar los experimentos?	96,8 %	3,2 %	
¿El laboratorio cuenta con una cámara de extracción?	100 %		
¿Cuenta el laboratorio con un extintor?	100 %		
¿El laboratorio está ventilado?	88,7 %	11,3 %	
¿Se dispone de un lugar específico para guardar el material escolar?	100 %		
¿Existe un botiquín equipado en el laboratorio?	29 %	9,7 %	61,3 %
¿Te han informado sobre las normas de actuación ante una emergencia?	74,2 %	24,2 %	1,6 %
¿Se trabaja siempre con puertas cerradas?	19,4 %	75,8 %	6,5 %
¿Te pones la bata al entrar?	100 %		
¿Lees las guías de los experimentos?	98,4 %	1,6 %	
¿Alguna vez has consumido alimentos en el laboratorio?	3.2 %	93,5 %	
¿Utilizas gafas protectoras durante algunos procesos?	91.9 %	4,8 %	

b) Desarrollo e implementación de una guía con prácticas verdes

En esta etapa del proyecto se realizó una búsqueda exhaustiva de experimentos con enfoque verde en bases de datos. La selección de las prácticas se fundamentó en su mayoría a la disponibilidad de los reactivos en el Departamento de Química Orgánica y de acuerdo a los principios de la Química Verde. A continuación, se enlistan los doce experimentos seleccionados:

Experimento#	Título
1	Fuerzas intermoleculares.
2	Análisis químico cualitativo - detección de N, S, Cl, Br, I
3	Construcción de modelos moleculares.
4	Obtención de acetileno y comprobación de sus propiedades.
5	Identificación y clasificación de alcoholes.
6	Identificación de cetonas y aldehídos.
7	Síntesis de aspirina.
8	Ácidos carboxílicos y algunos de sus derivados.
9	Aislamiento y caracterización de proteínas.
10	Yodación aromática electrofílica.
11	Condensación aldólica cruzada sin solventes.
12	Reacción de esterificación por irradiación con microondas.

Podemos destacar que se incorporaron nuevos procedimientos y contenidos, como el de fuerza intermolecular, condensación aldólica cruzada sin solventes y reacción de esterificación por irradiación con microondas. También, se ajustaron algunos temas con reactivos verdes como el caso del experimento de análisis químico cualitativo en el que se cambió el uso de sodio metálico por carbonato de sodio con zinc. El experimento para la obtención de acetileno se realizó a microescala, mediante el uso de jeringas. Otros experimentos cualitativos de identificación (experimentos 5 y 6), también se ajustaron a microescala.

c) Análisis de las prácticas convencionales del curso de Química Orgánica

Con el objetivo de evaluar de manera cualitativa el impacto ambiental y los riesgos asociados con cada uno de los reactivos utilizados en las actividades de laboratorio, en el transcurso de un semestre. Se clasificaron las sustancias empleadas, de acuerdo a las normas internacionales vigentes y se ponderaron a través de índices que evalúen el acercamiento verde de un desarrollo experimental.

Para visualizar el cambio efectuado en las prácticas experimentales del curso de química orgánica se compararon los solventes empleados, estudiándose los volúmenes respectivos que se consumían durante el semestre en la guía de experimentos tradicional y en la nueva guía con el enfoque de la Química Verde. El empleo de solventes orgánicos implica un problema de contaminación ambiental y riesgo para la salud. Sin olvidar el alto costo económico que tiene la institución en su adquisición. Es por ello que importa elaborar guías de laboratorios donde se empleen volúmenes pequeños de solventes orgánicos. Podemos resaltar que con la guía de experimentos provista del enfoque de la Química Verde se reduce hasta un 96 % el volumen utilizado de acetona, 93 % de formaldehído, 90 % de metanol y 40 % de etanol. Por otra parte, se evidenció la disminución de sólidos orgánicos en las nuevas prácticas con enfoque verde, con respecto a la guía tradicional.

d) Análisis de las prácticas experimentales con enfoque verde

Cabe resaltar que con la guía de experimentos dotada del enfoque de la Química Verde se logran desarrollar las mismas competencias que con la guía tradicional, y otras habilidades y destrezas como trabajar a microescala.

Para valorar qué tan amigable con el ambiente es el experimento desarrollado, se utilizó una escala de colores, empleando los principios de la Química Verde (Cuadro N° 2).

Cuadro N° 2
Escala de colores para análisis y evaluación de un experimento

	(10)	Totalmente verde
	(9)	Gran acercamiento verde
	(8)	Muy buen acercamiento verde
	(7)	Buen acercamiento verde
	(6)	Ligero acercamiento verde
	(5)	Transición café a verde
	(4)	Ligeramente café
	(3)	Medianamente café
	(2)	Muy café
	(1)	Totalmente café

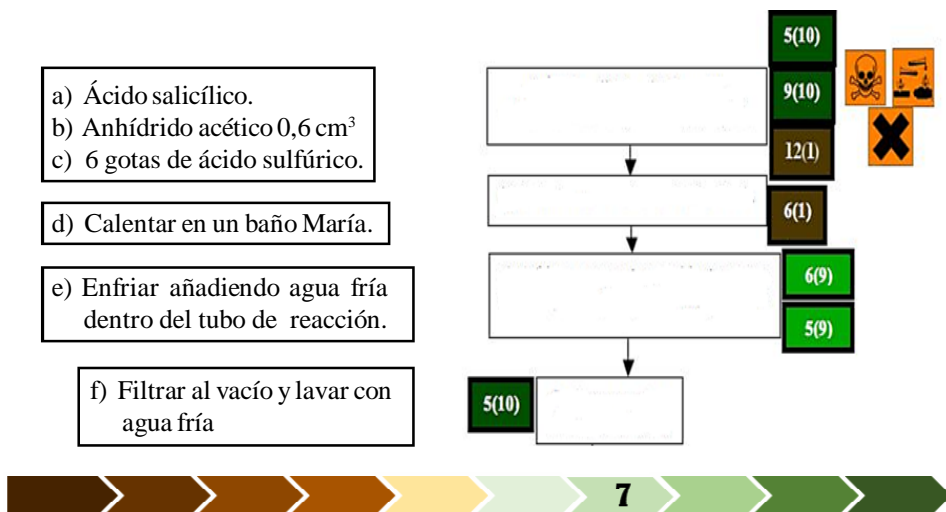
Adaptado de **Educ. quím.**, 22(3), 240-248, 2011.

Para la evaluación de los experimentos con base en la escala de colores, se hizo el diagrama de flujo de cada etapa o paso del método experimental de la práctica de laboratorio, incluyendo los respectivos pictogramas de reactivos y disolventes, así como el principio de la Química Verde que se estaba evaluando en esa etapa específica.

En el diagrama N° 1 se ejemplifica el procedimiento para la evaluación de cada experimento, lo que permitió definir qué tan verde resulta. Se elabora una tabla mostrando el orden en el cual aparecen cada uno de los pasos experimentales en el diagrama de flujo y la evaluación justificada en los principios de la Química Verde que se hace para cada paso del proceso. Se realiza la evaluación global sumando la categoría numérica de cada principio (número entre paréntesis) dividida entre el número de ellos. Finalmente se presenta al pie del diagrama de flujo experimental, el resultado en la escala tipo Likert de asignación numérica y de color correspondiente.

Diagrama N°1.

Modelo de evaluación de cuán verde es un experimento (# 7)



Evaluación del Experimento # 7: Síntesis de Aspirina

a, b y c: empleo de disolvente, con respecto al principio 5, este paso es totalmente verde (10). Empleo de catalizador (H_2SO_4), se considera válido evaluar al principio 9 como totalmente verde (10); sin embargo, dado que el catalizador es dañino, con respecto al principio 12, se califica como totalmente café (1).

d: calentamiento con respecto al principio 6 se considera totalmente café (1).

e: El enfriamiento se realiza a temperatura ambiente o mediante baño de hielo, por lo que este paso es adecuado evaluarlo con gran acercamiento verde (9) en cuanto a los principios 6 y 5.

f: Para la filtración y lavado del compuesto de interés se emplea agua, disolvente considerado verde por excelencia; sin embargo, se deben considerar los residuos generados. En consecuencia, este paso es conveniente calificarlo como totalmente verde (10) con relación al principio 5.

En el cuadro N° 3 se coloca el promedio de la valoración para cada experimento, de acuerdo a la interpretación de los principios por parte de los estudiantes. Los experimentos del 10 al 12 se incorporaron después de la participación de los estudiantes en la validación de los experimentos.

Cuadro N° 3

Promedio de la valoración de los experimentos con enfoque verde

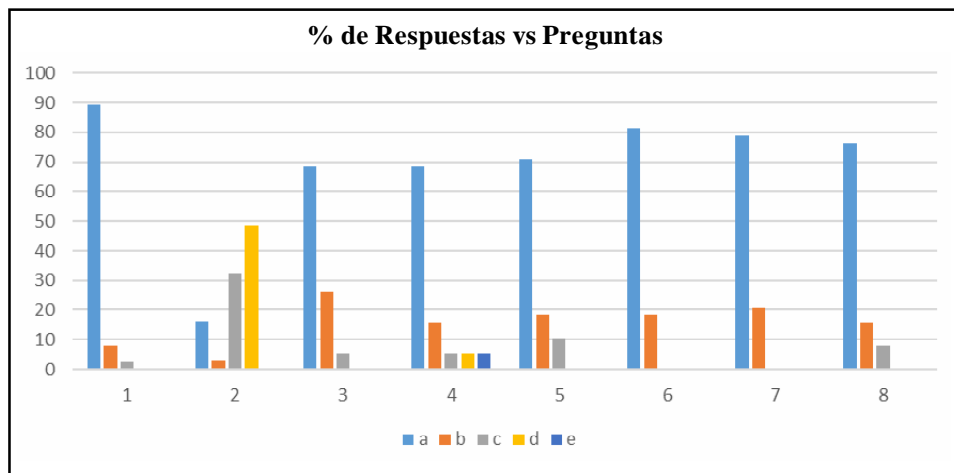
Experimento No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Valoración Promedio	8.2	5.6	10	6.5	5.6	5.7	7.3	5.7	6.1

Del promedio de la valoración de cada experimento desarrollado en la guía con enfoque de Química verde, se puede resaltar que el 44 % de ellos fueron considerados con un ligero acercamiento verde; experimentos No. 2, 5, 6 y 8, el 33 % se valoraron entre 6,0 y 7,0 con un buen acercamiento verde y el 23 % fue evaluado con un gran acercamiento verde, experimentos 1 y 3. En cumplimiento con nuestros objetivos logramos tener una guía con 56 % de los experimentos dotados de un buen acercamiento verde, contribuyendo al cuidado de nuestro entorno inmediato.

b) Valoración de los efectos producidos a partir del cambio de reactivos y el uso de las técnicas de microescala en el laboratorio de Química Orgánica.

Se aplicó un cuestionario de ocho cuestiones (Gráfica N°1) al finalizar la implementación del enfoque de Química Verde, durante el segundo semestre de 2014.

Gráfica N°1
Preguntas de valoración del enfoque de Química Verde



- Podemos destacar que el 89 % de los estudiantes encuestados considera que **se genera contaminación mientras se realizan prácticas de laboratorio** y que este problema es importante. En este escenario, el sector educativo juega un papel importante; de modo que la educación, en todos sus niveles, no debe estar descontextualizada de la realidad del estudiante y de la sociedad misma. En este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas que generen cambios de conducta hacia el ambiente, y en tal sentido se dirige la siguiente investigación.
- Un 48 % de los estudiantes señala que **los problemas de contaminación que surgen en los laboratorios deberían ser solucionados por** la comunidad universitaria, es decir, hay una responsabilidad compartida, donde todas las instancias, administrativas, docentes y estudiantiles tienen algo que aportar en la prevención y mejoramiento de las condiciones bajo las cuales se está trabajando actualmente.

- Sobre la afirmación de que **las actividades químicas son muy contaminantes**, un 68 % de los estudiantes está de acuerdo con esta aseveración y un 26 % en desacuerdo. En general, hay una percepción negativa del uso de sustancias químicas, debido, en parte, al desconocimiento de las metodologías verdes de trabajo a nivel de la docencia.
- El 68 % de los estudiantes reconoce que **el uso de pequeñas cantidades de reactivos está relacionado con la QV** y el 16 % señala que ésta se vincula con la reducción de riesgo en el laboratorio. Estos son principios fundamentales que permiten la inclusión de aspectos ambientales durante la actividad experimental en la docencia y que todo alumno debiera conocer después de su paso por un laboratorio de química.
- Un 71 % de los estudiantes muestra una **opinión positiva frente a los temas referidos a la Química Verde que trabajaron durante el curso**, en comparación con su experiencia previa en el curso de química general. Los trabajos de laboratorio deben trascender el tradicional espacio en que los estudiantes manipulan los instrumentos y realizan montajes, para convertirse en un escenario que permita crear valores y actitudes, entre los cuales deben destacar los referidos a la conservación del entorno.
- El 82 % de los estudiantes **asocia el trabajo experimental realizado con el cuidado ambiental** que debe tenerse en todas las actividades, incluyendo las académicas. En este sentido, el proyecto busca promover la química como ciencia responsable tomando en cuenta los beneficios que ofrece la Química Verde en el laboratorio.
- El 79 % de los estudiantes encuestados señala que **se familiarizó con el concepto de Química Verde**, a raíz de su experiencia en el laboratorio de química orgánica con los fundamentos, beneficios, los doce principios y las alternativas de solventes orgánicos que ofrece este enfoque. Esto contribuye a generar una actitud positiva hacia los cambios que introduce esta nueva alternativa y promueve la necesidad de incorporar estos métodos verdes en la formación científica.
- Un 76 % de los estudiantes indica que **el enfoque de Química Verde sería apropiado para aplicarlo en todos los cursos** de Química. Las innovaciones del estudio realizado permiten inferir que la propuesta de introducir en el trabajo de laboratorio el enfoque de la Química Verde puede ser objeto de

futuros estudios, adaptaciones, evaluaciones o profundizaciones que conlleven a su implementación, divulgación y enriquecimiento.

CONCLUSIONES

La utilización de la herramienta metodológica semicuantitativa y cualitativa mediante un código de color y basada en los 12 principios de la Química Verde expuesta en este trabajo permite reconocer cuán verde y qué tan limpio es un proceso químico dentro de un laboratorio de docencia, enmarcándolo dentro del criterio de sostenibilidad. En general, un 56 % de los experimentos realizados se categorizaron con un buen acercamiento verde.

El trabajo de los estudiantes en el laboratorio de química orgánica, aplicando sus conocimientos sobre la Química Verde para llevar los procesos a ser amigables con el medio ambiente, les proporciona un aprendizaje significativo.

El problema ambiental debido al desarrollo no sostenible debe llevar a los docentes a educar en la construcción de la sostenibilidad, con el fin de formar profesionales comprometidos con su medio y la sociedad.

SUMMARY

GREEN CHEMISTRY: A SUSTAINABLE APPROACH FOR EXPERIMENTAL WORK IN ORGANIC CHEMISTRY LABORATORIES AT THE UNIVERSITY OF PANAMA

An effective way to work the twelve principles of Green Chemistry, in the teaching of Chemistry, is through laboratory work done by students. In this context, the present research is presented, which incorporates a green approach within the practical work of the course of Organic Chemistry for medicine students.

A laboratory manual was developed to redesign the experimental activity under this approach of clean processes and with the use of microscale techniques, in the Faculty of Natural Sciences, Exact Sciences and Technology of the University of Panama.

The greenness evaluation of the experiments was carried out through the use of a Likert-type numerical scale, which allows to evaluate how green a process is, with the result that 56 % of the experiments showed a good green approach.

An efficient green chemistry approach led to the reduced consumption of reagents, avoiding the prolonged and unnecessary exposure to them and, at the same time, diminishing the risk of accidents. The general utility of this methodology, which presents significant advantages over the traditional practical works, was demonstrated not only by incorporating the principles of Green Chemistry in each experiment, but reaching a more active participation of the students, because they have to be aware of all the procedure steps in order to obtain an appropriate evaluation about the green approach of a particular experiment.

KEY WORDS: Green Chemistry, green metrics, practical works

AGRADECIMIENTO

Esta investigación se realizó gracias al apoyo de la Vicerrectoría de Investigación y Posgrado de la Universidad de Panamá, mediante la asignación de fondos al proyecto VIP-01-04-00-17-2014-10. De igual manera agradecemos al estudiante John Sánchez, de la Licenciatura en Química, por su apoyo técnico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo. 1992. Obtenido en http://www.unesco.org/education/pdf/RIO_S.PDF.
- Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Johannesburgo (Sudáfrica), 26 de agosto a 4 de septiembre de 2002. Obtenido en http://www.cinu.org.mx/prensa/eventos/unctadxi/aconf199d20&c1_sp.pdf.
- Río +20. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. Río de Janeiro (Brasil). 20 a 22 de junio de 2012. Obtenido en https://rio20.un.org/sites/rio20.un.org/files/a-conf.216-l-1_spanish.pdf.pdf.
- DORIA, Ma. del C. (2009). "Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente". **Educ. quím.**, 20, 412-420.
- ANASTAS, P.T. y WARNER, J.C. (1998). **Green Chemistry: Theory and Practice**. Oxford University Press, Oxford.
- MORALES, MARINA y col. (2011). ¿Qué tan verde es un experimento? **Educ. quím.**, 22(3), 240-248.
- FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, L., SOTO-TÉLLEZ, M. y HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, L. (2013). Uso de indicadores verdes para evaluar cuán limpio es un proceso en su síntesis tradicional vs la síntesis triboquímica y en microescala. **Av. cien. ing.**, 4(2), 79-90.

Recibido: 5 de septiembre de 2017.

Aceptado: 20 de diciembre de 2017.