

# Una fundamentación para la incorporación de la química verde en los currículos de química orgánica

Daniela Soledad Mansilla, Gisela Celeste Muscia y Esteban Ariel Ugliarolo\*

## ABSTRACT (Foundations for Considering Green Chemistry in Organic Chemistry Curriculum)

Green Chemistry proposes the design of products and processes that reduce or eliminate the use or generation of hazardous substances. This new philosophy seeks to train the next generation of scientists in the methodologies, techniques and principles that are central to the area. The Green Chemistry must be involved into the currículo as an integral part of the chemistry courses of the Pharmacy and Biochemistry careers, at the University of Buenos Aires. In order to determine whether students have knowledge about Sustainable Chemistry they were questioned, with appropriate inquiries, on the target discipline. Almost all students are not related with the Green Chemistry principles; thus, taking into account the obtained results it must be highlighted the necessity to lead into the Green Chemistry Protocol in the curricula of common chemistry courses. The introduction in the currículo of concepts related to the discipline is made possible since small changes could be made in the practical work. As a specific example referred to the oxidation of cyclohexanol to cyclohexanone using a methodology and reagents that present multiple advantages compared to traditional technique.

**KEYWORDS:** university, green chemistry, university currículo, lab work, cyclohexanol oxidation

## Resumen

La Química Verde plantea el diseño de productos o procesos que reducen o eliminan el uso o la producción de sustancias peligrosas. Es necesario capacitar a la próxima generación de científicos en las metodologías, técnicas y principios que son requeridos por esta nueva filosofía. No cabe duda que se deben incluir los principios, formas de pensamientos y de trabajo de la Química Verde en los planes de estudios, a efecto de lograr que esta nueva disciplina sea una parte integral de los diferentes cursos de química de las carreras de Farmacia y Bioquímica de las universidades latinoamericanas. En nuestro ámbito, con el objetivo de determinar si los alumnos poseen conocimiento acerca de términos relacionados con la Química Sostenible hemos realizado una encuesta a estudiantes universitarios que se encontraban cursando la materia Química Orgánica. Casi la totalidad de los alumnos no están familiarizados con la Química Verde. La introducción de conceptos relacionados con esta disciplina dentro de la currícula es un hecho factible, dado que podrían realizarse pequeñas modificaciones en los trabajos prácticos que permitirían su introducción. Como ejemplo puntual se menciona la oxidación de ciclohexanol a ciclohexanona empleando una metodología y reactivos que presenta múltiples ventajas con respecto a la técnica tradicional.

**Palabras clave:** universidad, química verde, currículo universitario, trabajo de laboratorio, oxidación ciclohexanol

## Introducción

La Química Verde plantea el diseño de productos o procesos que reducen ó eliminan el uso o la producción de sustancias peligrosas (Anastas, Heine & Williamson, 2000). Esta nueva filosofía trata de prevenir la contaminación al ofrecer alter-

nativas de mayor compatibilidad ambiental, comparadas con los productos o procesos disponibles actualmente, cuya peligrosidad es mayor y que son usados tanto por el consumidor como en aplicaciones ambientales (Li & Anastas, 2012).

Con el desarrollo de la Química Verde se plantea la necesidad de capacitar a la próxima generación de científicos en las metodologías, técnicas y principios que son fundamentales para dicha área (Garritz, 2009).

A nivel mundial el Green Chemistry Institute, fundado a mediados de la década de los noventa, agrupa a 20 países con la misión de "promover la investigación en Química Verde, la educación y la divulgación" sirviendo de impulso

\* Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Correos electrónicos: eugliarolo@hotmail.com; celgim@yahoo.com.ar; mansillad@gmail.com

Fecha de recepción: 17 de noviembre de 2012.

Fecha de aceptación: 26 de agosto de 2013.

para la implementación de la Química Verde y los principios de ingeniería en todos los aspectos de la química a nivel internacional (Anastas & Kirchhoff, 2002).

En los últimos años se hizo imperativa la incorporación de la Química Verde a las actividades químicas tanto industriales como académicas (Collins, 1995; Terrence, 1995). Para que se adopten y practiquen métodos de esta disciplina en el ámbito académico es necesario que los profesionales reciban una educación formal sobre este tema. En los Estados Unidos para cumplir con esta meta la EPA creó el Programa de Química Verde que apoya una gran variedad de esfuerzos educativos, los cuales incluyen el desarrollo de materiales y cursos para la capacitación de profesionales químicos en la industria y para la enseñanza de estudiantes universitarios (Anastas, 2012); el representante más importante en dicha iniciativa es la American Chemical Society. Por otra parte, el Consorzio Interuniversitario Nazionale "La Chimica per l'Ambiente" (INCA, <http://www.unive.it/inca>), constituido por 30 universidades italianas, también promueve el rol de la química en la prevención de problemas de impacto ambiental, tanto a nivel universitario como elemental. Recientemente, las sociedades químicas de Alemania, Reino Unido (<http://www.rsc.org>) y Japón (<http://www.gscn.net/indexE.html>) han asumido papeles de liderazgo en la promoción de la educación Química Verde en sus propios países. Las iniciativas educativas incluyen libros de texto (Tundo, Persa & Zecchini, 2007; Ahluwalia & Kidwai, 2004; Lancaster, 2002; Tundo & Anastas, Tundo & Anastas, 2000), estudios de caso (Cann & Connelly, 2000), realización de experimentos de laboratorio, formación de organizaciones de estudiantes, cursos de formación docente, desarrollo de simposios educativos y talleres. No cabe duda que es necesario incluir la filosofía de la Química Verde en los planes de estudios de las carreras relacionadas con la Química. González y Valea (2009) expresan que una de las implicancias de esta nueva disciplina, que tendrá impacto sobre el currículo, es el desarrollo de experimentos de laboratorio, adecuados al nivel educativo del estudiante, para ilustrar los principios de la Química Sostenible. Es posible que los estudiantes de química de todos los niveles pueden ser incluidos sin problemas en la práctica de la Química Sostenible. Al respecto, los educadores deberían adquirir las herramientas adecuadas, la capacitación y los materiales para integrar apropiadamente la Química Verde en el currículo de las carreras de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires. Según (Anastas & Kirchhoff, 2002) los pasos importantes que deben adoptarse para avanzar con los pilares de esta nueva disciplina en el plan de estudio son los siguientes:

- El reconocimiento sistemático de peligro/toxicidad como una propiedad física/química de la estructura molecular que puede ser diseñada y manipulada.
- El desarrollo y la utilización de los experimentos de trabajos prácticos para poner de manifiesto los principios de la Química Verde.
- La incorporación de ecuaciones balanceadas en los libros

de química orgánica sumado a la utilización del concepto de "economía atómica".

- La introducción de los conceptos básicos de la toxicología química.
- La incorporación de temas de Química Verde en los exámenes de certificación profesional.
- Poner al alcance de los profesores material de referencia para la incorporación de la Química Verde en los cursos existentes.
- Educar a los legisladores y responsables de la educación sobre los beneficios de la Química Verde.

Es muy importante lograr que la Química Verde sea una parte integral del curso de química en el currículo de las carreras de Farmacia y Bioquímica ya que nuestros estudiantes se convertirán en potenciales investigadores químicos, responsables políticos, profesionales de la salud o líderes empresariales. Es imprescindible que estén preparados para ver que la química no solo puede mejorar o solucionar problemas de contaminación sino que se puede prevenir la misma con el fin de mejorar el entorno natural en el que vivimos generando una mayor conciencia ambiental.

La Química, como disciplina científica, abre continuamente nuevas etapas de producción de conocimientos, como la Química Sostenible con enormes potencialidades para el cuidado del medioambiente (nuevas fuentes de energía, nuevos materiales, entre otras). Es importante resaltar que no es necesario plantear un curso dedicado a la Química Verde dado que su aplicación en todos los ámbitos da cuenta de que esta disciplina emergente impregna todas las áreas de la química. Cabe destacar que al momento los egresados de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires, no tienen la posibilidad de estar informados sobre esta área tan desarrollada. La contradicción entre la ausencia de los contenidos en el currículo y la importancia a nivel mundial de esta nueva rama de la química hace imperioso replantearse qué, para qué, para quiénes y cómo enseñar química, a las nuevas generaciones de estudiantes sobre una base de sostenibilidad.

### Metodología

Con el objetivo de determinar el porcentaje de alumnos con nivel de conocimiento acerca de la Química Verde o Sostenible se realizó una encuesta (cuadro 1) a estudiantes universitarios que se encontraban cursando la materia Química Orgánica II del segundo año de las carreras de Farmacia y Bioquímica de la Universidad de Buenos Aires.

Una muestra de 97 estudiantes elegidos al azar participaron de esta investigación, de los cuales correspondían a 61 mujeres y 36 varones, de entre 21 a 24 años de edad. La muestra representó el 22,9% del total de los alumnos (N = 423) que cursaron la materia en el primer cuatrimestre del año 2012.

El grupo de estudio correspondió a tres comisiones cada una de las cuales se encontró a cargo de un docente de la materia.

**Cuadro 1. Encuesta realizada a los estudiantes.**

1. ¿Está familiarizado con el concepto de Química Verde/sostenible? Sí – No – NS/NC
2. Mencione, si es posible, alguno de los principios de la Química Verde.
3. ¿Conoce el significado de economía atómica? Sí – No – NS/NC
4. ¿Cuál de las siguientes metodologías se vinculan con la Química Verde?:
  - a. Calentamiento a reflujo.
  - b. Catalizadores biológicos.
  - c. Reactivos inorgánicos estequiométricos.
  - d. Activación de reacción mediante irradiación de microondas.
  - e. Activación de reacción mediante ultrasonido.
  - f. Empleo de solventes orgánicos.
5. ¿Considera que alguno de los trabajos de laboratorio realizados durante el transcurso de la materia contribuye al cuidado del medio ambiente? Sí – No – NS/NC

En dicha encuesta, se indagó sobre los conocimientos de los alumnos referidos a los principios de la Química Sostenible.

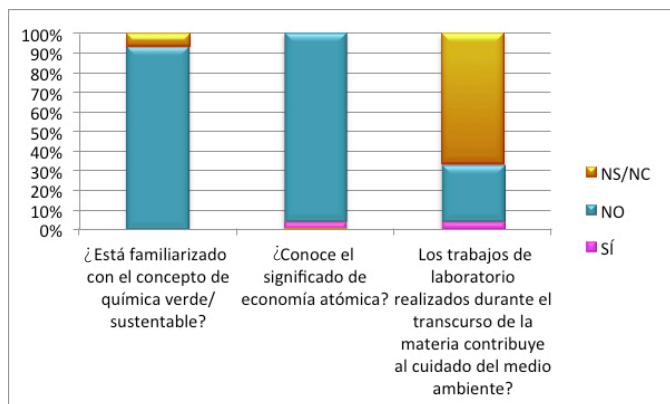
### Resultados

En la figura 1 se observa que el 93% de los alumnos que se encontraban cursando la materia no está familiarizado con el concepto de Química Verde. El 96% de los encuestados no conoce el significado de economía atómica mientras que un 67% no sabe si los trabajos prácticos realizados durante su paso por la materia cumplen con alguno de los principios de la Química Sostenible.

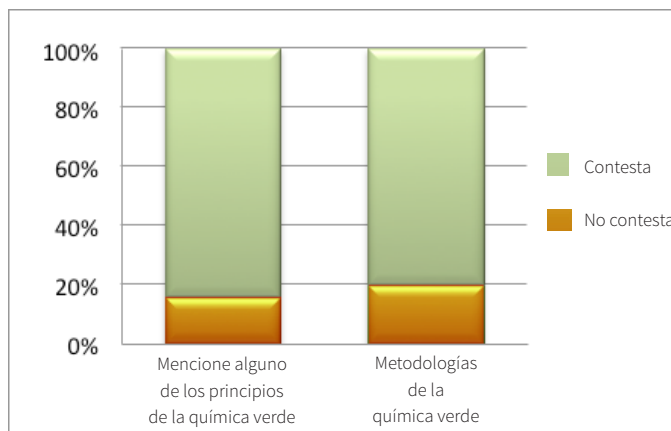
La figura 2 pone de manifiesto que el 84 % de los alumnos desconoce los principios de la Química Verde en tanto que un 80 % no puede clasificar que metodologías se vinculan con la Química Verde.

### Propuesta educativa

Consideramos que la introducción del concepto y la filosofía de la Química Verde dentro de los currículos es un tema importante, lo cual contribuiría con la “alfabetización científico-



**Figura 1.**



**Figura 2.**

ambiental”. Nuestra propuesta consiste en realizar modificaciones en los trabajos prácticos con el objetivo de que los estudiantes tomen conciencia acerca de la utilización de reactivos eco-compatibles.

Durante el transcurso del dictado de la materia, una de las prácticas desarrollada por los alumnos consiste en la oxidación de ciclohexanol utilizando dicromato de potasio en medio ácido como agente oxidante (Bell *et al.*, 1997). Dicha reacción presenta una baja eficiencia atómica con lo cual se genera una cantidad de residuos contaminantes (sales de cromo trivalente, solventes, ácidos). Como ruta alternativa para la obtención de ciclohexanona planteamos la oxidación empleando una mezcla de permanganato de potasio y sulfato de cobre en condiciones libre de solvente, bajo calentamiento a reflujo durante 1 hora (Shaabani & Lee, 2001).

### Discusión

Dado el auge que ha tenido en los últimos tiempos la filosofía de la Química Verde consideramos de suma importancia la necesidad de incorporar y aplicar esta nueva corriente en la formación de futuros profesionales.

El reemplazo de la técnica de oxidación convencional, empleada hasta el momento, por esta nueva metodología presenta ventajas entre las que se pueden mencionar: disminución de los residuos generados, baja toxicidad, fácil manipulación de los reactivos, menor tiempo de reacción y mayor rendimiento de ciclohexanona. Esta modificación permitiría introducir el concepto y la filosofía de la Química Verde en los currículos de las carreras de Farmacia y Bioquímica sin alterar los contenidos mínimos de las materias de Química Orgánica.

Como se ve reflejado en los resultados obtenidos en la encuesta los alumnos del segundo año de las carreras de Farmacia y Bioquímica desconocen el concepto de Química Verde, sus principios y que metodologías o sustancias químicas se vinculan con el cuidado del medioambiente. Desde nuestro rol de docentes consideramos importante un cambio de mentalidad en los estudiantes como ciudadanos responsables y futuros científicos.

## Bibliografía

- Ahluwalia, V.K. & Kidwai, M., *New trends in Green Chemistry*. India: Anamaya Publishers, 2004.
- Anastas, P. T., Fundamental changes to EPA's research enterprises: The Path Forward, *Environmental Science and Technology*, **46**(2), 580-586, 2012.
- Anastas, P. T.; Heine, L. G.; Williamson, T. C., Green Chemical Syntheses and Processes: Introduction. In: Anastas, P. T.; Heine, L. G.; Williamson, T. C. (eds.), *Green Chemical Syntheses and Processes*. Washington, DC: American Chemical Society, Chapter 1, 2000.
- Anastas, P. T. & Kirchhoff, M. M. Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry, *Acc. Chem. Res.* **35**, 686-694, 2002.
- Bell, C.E., Clark, K., Taber, D., Rodig, R. Organic Chemistry Laboratory, Standard and Microscale Experiments, Saunders College Publishing: Fort Worth, Chapter 21, 1997.
- Cann M. C. & Connelly M. E., Real-world cases in green chemistry. USA: American Chemical Society, Environmental Protection Agency, 2000.
- Collins T. J., Introducing Green Chemistry in Teaching and Research, *Journal of Chemical Education*, **72**, 965-966, 1995.
- Garriz, A., Química Verde y reducción de riesgos, *Educación Química*, **20**(4), 394-397, 2009.
- González M. L.; Valea, A., El compromiso de enseñar química con criterios de sostenibilidad: la Química Verde, *Educación Química*, **2**, 48-52, 2009.
- Lancaster, M., *Green Chemistry. An introductory text*. Green Chemistry Network. Royal Society of Chemistry Publishing, 2002.
- Li, C. J.; Anastas, P. T., Green Chemistry: Present and Future, *Chemical Society Review*, **41**(4), 1413-1414, 2012.
- Shaabani, A. and D.G. Lee, "Solvent free permanganate oxidations", *Tetrahedron Lett.*, **42**, 5833, 2001.
- Tundo, P.; Perosa, A.; Zecchini, F., *Methods and Reagents for Green Chemistry*. Wiley & Sons Inc., New Jersey, 2007.
- Terrence, C. J., Introducing Green Chemistry in Teaching and Research, *Journal of Chemical Education*, **72**(11), 965, 1995.
- Tundo P. & Anastas P. T., *Green chemistry: challenging perspectives*. Oxford University Press, 2000. 269 pp. Reseña consultada por última vez el 30/11/2013 en la URL [http://books.google.com.ar/books/about/Green\\_chemistry.html?hl=es&id=mrhTAAAAMAAJ](http://books.google.com.ar/books/about/Green_chemistry.html?hl=es&id=mrhTAAAAMAAJ)
- Shaabani, A.; Lee, D.G., Solvent free permanganate oxidations, *Tetrahedron Letters*, **42**, 5833, 2001.