

## Química verde: Un nuevo enfoque para las actividades experimentales de química

**Rosangel Osorio y Anunziata Di Salvo**

*Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Núcleo Maracay.*

*E-mail: rosangel\_200573@hotmail.com; aedisalvo@hotmail.com*

### Resumen

Mucho se ha discutido en relación al impacto que la actividad humana, a través de la ciencia y la tecnología, ha ejercido sobre el medio ambiente, generando problemas de dimensiones globales. Sin embargo, en el propio desarrollo de la ciencia, han aparecido propuestas dirigidas a minimizar el impacto de esta actividad, tal es el caso de la Química Verde o Química Sustentable. Ésta se ocupa del diseño de productos o procesos químicos que reducen o eliminan el uso y producción de sustancias peligrosas para el medio ambiente y la salud humana, haciendo un uso sostenible de los recursos. Esta iniciativa debe ser incorporada en el ámbito educativo, puesto que es éste el escenario propicio para llegar a las sociedades y sensibilizar a los ciudadanos ante la problemática ambiental. En este contexto se sitúo la presente investigación, enmarcada en la modalidad de proyecto especial, sustentada como investigación documental y de campo; cuyo propósito fue diseñar una propuesta dirigida a redimensionar la actividad experimental de química bajo el enfoque de la química verde, en la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (Maracay-Venezuela). El diagnóstico realizado permitió establecer la necesidad de formular una propuesta dirigida a incorporar los principios de la Química Verde en la formación del docente en química, a fin de mejorar la seguridad, reducir el uso de energía, hacer uso de las sustancias auxiliares y ofrecer una plataforma de discusión sobre la toxicidad, manipulación de los desechos y los efectos que éstos tienen sobre la salud humana y el ambiente

**Palabras clave:** Química verde, ambiente, educación, seguridad química.

# Green Chemistry: A New Approach to the Experimental Activities of Chemistry

## Abstract

---

There has been so much discussion in relation to the potential impact on the environment of human activity through science and technology, whose effect has brought problems of global dimensions. However, in the own development of science, there have appeared proposals to minimize the impact of this activity; this is the case of Green Chemistry or Sustainable Chemistry. The object of Green Chemistry is to design chemical products or processes that reduce or eliminate the use and production of substances hazardous to the environment and human health, making sustainable the using of resources. This initiative must be incorporated into the educational sphere, as this is the favorable scenario to reach societies, and thus sensitize people to environmental problems. In this context, the present investigation, framed in the form of a feasible project, is based on documentary and field research. Its purpose was to design a proposal to downsize the experimental chemical activity under the focus of Green Chemistry in the “Universidad Pedagógica Experimental Libertador”, campus Maracay-Venezuela. The diagnosis of this proposal made it possible to establish the need to formulate a proposal in order to incorporate the principles of Green Chemistry in teacher training. Its purpose is to improve security, reduce energy use, make use of ancillary substances and offer a platform for discussion on the toxicity, handling of waste and the impact they have on human health and the environment.

**Key words:** Green chemistry, environment, education, chemical safety.

## Introducción

El hombre desde siempre ha interactuado constantemente con la naturaleza adaptándola a sus necesidades, y en ese proceso de adaptación, ha generado desequilibrios ocasionando o contribuyendo al deterioro ambiental. No obstante, en los últimos años se ha evidenciado un despliegue de medidas preventivas para detener ese proceso destructivo, medidas que si bien están dirigidas hacia el sector productivo, también llevan implícitas la necesidad de una preparación científica y una toma de conciencia del ser humano por los problemas ambientales. Es en este escenario en el cual, 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, con el propósito de incorporar el enfoque de la

Química Verde en las actividades de laboratorio de las asignaturas Química Orgánica I y Química Orgánica II que se desarrollan en la Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Maracay, por ser ésta una estrategia limpia en pro de un impacto menos contaminante sobre el medio ambiente.

## El Contexto

El deterioro gradual y progresivo del medio ambiente, ha llevado desde hace años al diseño de políticas, normas y estrategias dirigidas a disminuir la contaminación del mismo. A partir de los estudios encargados por el club de Roma, para el año 1972 ya se situaba el problema ambiental a escala planetaria. A partir de allí, se han realizado a nivel mundial cumbres para el estudio de este problema. Organismos como la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Comisión Mundial para el Ambiente y Desarrollo (CEMAD), el Programa de las Naciones Unidas

para el Medio Ambiente (PNUMA), han coincidido en la necesidad de resguardar el medio ambiente y dirigir el esfuerzo hacia el desarrollo sustentable.

Lo anterior, refleja la preocupación que existe a nivel mundial por el problema ambiental, decretándose a partir de enero de 2005 el Decenio de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014). La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2005) es el organismo responsable de dirigir las actividades que conlleven a integrar los principios, valores y prácticas del desarrollo sostenible en todas las facetas de la educación y el aprendizaje.

Hablar de desarrollo sustentable o sostenible implica preservar el planeta para las generaciones futuras. Bien lo expresa Palo (2002: 6) al indicar que:

El desarrollo ha de cubrir de forma adecuada las necesidades humanas pero sin transgredir los límites ecológicos del planeta y que tenga en cuenta las necesidades del presente, sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para cubrir sus propias necesidades y sin incrementar las desigualdades sociales.

En este sentido Leff (1999: 15), esboza algunos elementos importantes a considerar desde el espacio académico, indicando que:

Aprender-aprender la complejidad ambiental implica una revolución del pensamiento, un cambio de mentalidad, una transformación del conocimiento y las prácticas educativas, para construir un nuevo saber y una nueva racionalidad que orienten la construcción de un mundo de sustentabilidad, de equidad, de democracia. Es un reconocimiento del mundo que habitamos.

Lo anterior se puede lograr a través de la escuela, debido a que ésta ha sido desde siempre un medio importante que la sociedad utiliza para transmitir valores de una generación a otra. En efecto, lo que se quiere es involucrar activamente al educando en la búsqueda de tales cambios, lo cual no dependerá solo del incremento de la conciencia y del desarrollo de habilidades de quienes se educan, sino también de hacer crecer las distintas dimensiones individuales (afectiva, corporal, intelectual) para que puedan incidir en las estructuras de decisiones y defensa del orden social y del tipo de relación que más desean con su entorno.

Por tal razón, es necesario incorporar en el ámbito educativo las tendencias que en materia científica y tecnológica, se han venido suscitando y que coadyuvan al desarrollo

de una conciencia ecológica. En este contexto, destaca en el área de la industria química la propuesta de cambiar la postura de controlar los riesgos y efectos derivados de la actividad científica y tecnológica. Este enfoque se ha dado a conocer como la *Química Verde*, *Química Sostenible* o *Química Limpia*, nombres que refieren una nueva manera de entender la química.

## El enfoque de la química verde

Según Cann (2001) la Química Verde surgida a principios de la década de los noventa, se ocupa del diseño de productos o procesos químicos que reducen o eliminan el uso y producción de sustancias peligrosas para el medio ambiente y la salud humana, haciendo un uso sostenible de los recursos; de modo que su objetivo principal es reducir los problemas medioambientales generados por la producción química atacando el problema de raíz: utilizando procesos químicos que no produzcan residuos. Es importante señalar que su rama de aplicación, incluye todas las transformaciones durante la manufacturación del producto final, que deberán evitar el uso o la generación de sustancias tóxicas.

Dada su relevancia, en el ámbito tecnológico, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA (2005), encargada de proteger la salud humana y salvaguardar el medio ambiente natural, el aire, el agua y la tierra diseñó un Programa de Química Verde que otorga reconocimiento y apoyo a proyectos que apliquen este enfoque. Los retos del mismo, de acuerdo a Doménech (2005) se centran en cuatro vertientes:

**Recursos:** el uso de los recursos materiales y energéticos obtenidos de fuentes renovables para la obtención de los productos químicos básicos.

**Residuos:** maximización de la eficiencia molecular durante las transformaciones, evitando, en lo posible, la obtención de subproductos y residuos, que incrementen el precio ambiental y económico del proceso.

**Reactivos:** disminución del uso de éstos mediante la utilización de catalizadores duraderos. Diseño de compuestos químicos inocuos mediante la manipulación de la estructura molecular y el conocimiento de la actividad toxicológica.

**Reacciones:** reducción del uso de disolventes utilizados y reducción de la accidentalidad durante el proceso a través de una precisa selección de tipologías de reacción y estados físicos con un menor grado de riesgo.

## El campo académico: un espacio necesario

En la implementación de una estrategia limpia o verde, la educación debe ser un componente fundamental y esto significa modificar planes de estudio pero también modificar la forma en la que se consideran las interacciones entre las actividades del hombre/naturaleza y medio ambiente/desarrollo.

Sin lugar a dudas, en este contexto la educación en el área de química pasa a tener un papel preponderante. Ante esta situación, es necesario dirigir la mirada hacia la formación que reciben los futuros docentes de esta área, puesto que su rol es esencial en la formación de ciudadanos, no solo en la construcción de conocimiento, sino para inculcar valores, enseñando actitudes y formas de proceder en la vida a través del ejercicio de su propia práctica profesional.

La práctica educativa del docente de química, adquiere en este contexto una gran importancia, puesto que en la misma, las actividades de laboratorio juegan un papel muy significativo, sobre todo a nivel superior. Los trabajos de laboratorio deben trascender el tradicional espacio en que los estudiantes manipulan los instrumentos, realizan montajes, efectúan observaciones y las traducen en otro lenguaje; para convertirse en un escenario que permita crear valores y actitudes en los educandos de cualquier nivel educativo, entre los cuales deben destacar los referidos a la conservación del entorno.

En nuestro país, la formación de docentes en el área de química, es una responsabilidad que ostenta en primer lugar la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL), cuya misión y visión la caracteriza del resto de las universidades venezolanas. Uno de los nueve institutos pedagógicos que la conforman es el Instituto Pedagógico de Maracay, que ofrece la especialidad de Química a nivel de pregrado. Su diseño curricular contempla cuatro áreas: Química General e Inorgánica, Química Analítica, Físico-química y Química Orgánica, cada una de las cuales contempla actividades de laboratorio específicas, siendo el área de Química Orgánica, la que por su propia naturaleza utiliza el mayor número de sustancias tóxicas, como por ejemplo los solventes orgánicos, muchos de los cuales implican riesgos para la salud y para el ambiente. Y son precisamente este tipo de sustancias (por el impacto que causan al ambiente) las que constituyen un área de desarrollo de

la Química Verde, la cual entre otras cosas propone el: (a) uso de reactivos inocuos, al sustituir reactivos peligrosos por otros menos nocivos y (b) uso de disolventes alternativos a los tradicionales, sustituyendo los disolventes orgánicos volátiles utilizados actualmente por disolventes no inflamables, ni tóxicos.

Sin duda que lo anterior remite a considerar la posibilidad de incorporar en la formación de los futuros docentes de química, los adelantos científicos que permitan presentar una visión diferente de esta ciencia. En tal sentido, la presente investigación estuvo dirigida al diseño de una propuesta para el trabajo de laboratorio bajo el enfoque de la Química Verde, como una estrategia de enseñanza que permita la inclusión de aspectos ambientales, con la intención de intervenir en la formación de los futuros docentes, y proporcionar un vínculo positivo entre la química y el ambiente.

## Metodología

Por la intencionalidad del estudio, el mismo se fundamentó en un proyecto especial, el cual conlleva "... a creaciones tangibles, susceptibles de ser utilizadas como soluciones a problemas demostrados, o que respondan a necesidades e intereses de tipo cultural...", esto según la UPEL (2006:22). El estudio se sustentó en una investigación documental, a fin de profundizar en el conocimiento relativo a la temática y en un estudio de campo, a fin de conocer la problemática de una realidad y tomar los datos correspondientes a la misma. En este sentido, en la investigación se siguieron las fases de diagnóstico, estudio de factibilidad y diseño de la propuesta.

Para el diagnóstico se consideraron los resultados de las encuestas aplicadas a los estudiantes (muestra de 35, cursantes del 4<sup>to</sup> y 5<sup>to</sup> período académico), los docentes (muestra de 4, todos pertenecientes al área de química orgánica), y del análisis de las prácticas de laboratorio del área objeto de estudio. A continuación se detallan los principales resultados obtenidos:

## Resultados y Discusión

### 1. Encuesta aplicada a los estudiantes

En función a las respuestas dadas, se observa que en relación a la categoría:

Tabla 1. Resultados de la encuesta aplicada a los estudiantes.

Respuestas	Ítem por categoría				
	Clasificación de las sustancias químicas de acuerdo a las normas internacionales				
	1	2	3	4	5
	Conoce la simbología de las etiquetas de los frascos de reactivos	Conoce la clasificación de las sustancias de acuerdo a su peligrosidad	Conoce el significado de las siglas SRI	Conoce las siglas DOT	Conoce las siglas de seguridad y riesgo
% Afirmativas	83	33	0	0	14
% Negativas	17	67	100	100	86
	Impacto ambiental			Enfoque de la Química Verde	
	6	7	8	9	10
	La contaminación ambiental ha aumentado en los últimos años	La actividad química ha generado un impacto negativo en el ambiente	Las sustancias utilizadas en el laboratorio contribuyen con la contaminación del ambiente	Conoce el enfoque de la Química Verde	Considera que el uso de este enfoque en el laboratorio contribuiría a disminuir la contaminación ambiental
% Afirmativas	100	81	58	33	75
% Negativas	0	19	42	67	25

(a) Clasificación de las sustancias químicas según las normas internacionales: los encuestados mostraron un mínimo conocimiento, por cuanto un 67% no conoce como están clasificadas las sustancias según su peligrosidad y el 100% de los encuestados no supo identificar: (a) las siglas asociadas a las precauciones referentes a las áreas de salud (S), reactividad (R) e inflamabilidad (I) (siglas SRI, según la Asociación Nacional de Protección contra Incendios de Estados Unidos [National Fire Protection Association, NFPA]), (b) las siglas correspondientes al Departamento de Transporte (DOT) y (c) el significado de las siglas de seguridad y riesgo que se debe tomar en cuenta al manipular una sustancia química.

(b) Impacto ambiental: los estudiantes encuestados reconocen la responsabilidad que la química como ciencia ha tenido en el deterioro ambiental, sin embargo, llama la atención que sólo el 58% considera que las sustancias que se usan en el laboratorio de química contribuye con la contaminación del ambiente.

(c) Enfoque de la química verde: llama la atención que a pesar de que sólo el 33% de los encuestados considera haber oído hablar del mismo, el 75% considera que el diseño de una propuesta para el laboratorio basada en este enfoque, ayudaría a disminuir la contaminación que provoca al ambiente el uso de ciertas sustancias químicas.

## 2. Encuesta aplicada a los docentes

Los principales resultados fueron:

(a) El 100% de los encuestados desconoce las precauciones que deben tomarse de acuerdo a las normas de la NFPA, así como las siglas correspondientes a la DOT.

(b) No se realiza un correcto manejo de las sustancias de desecho que se generan en las actividades de laboratorio, obteniéndose que el 58% de los encuestados indicaron que el destino final de las mismas es el desagüe.

## 3. Análisis de las prácticas del área de Química Orgánica

Se analizaron las prácticas de los cursos Química Orgánica I (14 prácticas) y Química Orgánica II (15 prácticas) a fin de clasificar las sustancias empleadas de acuerdo a las normas de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la NFPA y la DOT, disponibles en el módulo de formación en seguridad química de la Organización Internacional del Trabajo OIT (2004). Los resultados fueron:

(a) Del 23% de sustancias empleadas no se dispone de datos ambientales.

(b) El 42% de las sustancias empleadas son contaminantes tóxicos acuáticos

(c) El 17% de las sustancias son peligrosas para el medio ambiente.

(d) Sólo del 9% de ellas no se esperan que generen problemas ecológicos.

(e) El porcentaje restante corresponde a sustancias consideradas débilmente bioacumulativas, no biodegradables o de baja toxicidad para organismos terrestres y acuáticos.

(f) Según las normas de la NFPA y la DOT la mayoría de las sustancias que se utilizan se consideran peligrosas por ser éstas inflamables y en algunos casos cancerígenas como el benceno, tetracloruro de carbono, entre otros.

### La propuesta

La propuesta que tiene como fundamentación el diagnóstico efectuado, plantea considerar en las prácticas de laboratorio, dos de las vertientes que aborda la Química Verde: los residuos y las reacciones

### Objetivos de la propuesta

- Demostrar los beneficios de una metodología basada en el uso de reactivos, condiciones de reacción y producto basada en los principios de la Química Verde.
- Minimizar la pérdida de reactivos con el incremento del mejoramiento de la seguridad en el laboratorio.
- Distinguir los métodos seguros de manipulación y desecho de las sustancias químicas.
- Promover la química como ciencia responsable tomando en cuenta los beneficios que ofrece la Química Verde en el laboratorio.

### Descripción de la propuesta

La propuesta presenta: (a) actividades a desarrollar durante la ejecución de las actividades de laboratorio, especificadas en etapas de orientación, sensibilización y divulgación, (b) un módulo verde (contenido de prácticas de laboratorio), y (c) un módulo de la economía del átomo (medida de la eficacia de una reacción). A continuación una breve descripción de cada uno de ellos:

#### a) Orientación, sensibilización y divulgación:

Esta etapa se divide en dos aspectos:

**Orientación:** El propósito de esta fase es dar a conocer a través de un material bibliográfico incorporado en el manual de laboratorio de Química Orgánica I y II, los fundamentos, beneficios, los doce principios de la Química Verde, y las alternativas de solventes orgánicos que ofrece este

enfoque; con la finalidad de generar una actitud positiva hacia los cambios que introduce esta nueva alternativa y promover la necesidad de incorporar estos métodos verdes en el plan de estudio.

**Sensibilización y Divulgación:** En esta fase se mantendrá una plataforma de discusión del impacto ambiental y los riesgos asociados con cada uno de los reactivos utilizados en las actividades de laboratorio, en el transcurso de un período académico. Además de revisar los efectos que tienen éstos sobre la salud humana. Esta evaluación del impacto estará orientada por las normativas de las organizaciones NFPA y DOT.

#### b) Módulo Verde

Consiste en la incorporación de prácticas verdes en las actividades experimentales de química orgánica, entre éstas se tienen:

- La oxidación de alcoholes usando el peróxido de hidrógeno como solvente.
- La síntesis del ácido adípico.
- La síntesis de la aspirina usando la irradiación del microondas.
- La reducción de una cetona por el boro hidrato de sodio y la levadura de Baker's.

#### c) Módulo de la Economía del Átomo

Este módulo muestra una explicación bien detallada de la economía del átomo y la economía experimental del átomo en las diferentes reacciones orgánicas, tales como la reacción de sustitución, eliminación, adición y de reagrupamiento. Estas reacciones tradicionalmente se enfocan hacia el cálculo del rendimiento y el módulo da a conocer una segunda forma de medir su eficacia, considerando los átomos usados o no de los reactivos, de acuerdo a lo que plantea Cann y Connelly (2000) y Parent (2006). Quizás la mejor medida de la eficacia de una reacción sea considerar a la vez tanto la economía del átomo como el rendimiento mediante el cálculo de *rendimiento porcentual X economía experimental del átomo* (PE.EAE). Por supuesto, para valorar la conveniencia de una reacción para el medio ambiente no sólo se debería considerar la eficacia de la misma, sino otros factores como la toxicidad, el uso de sustancias auxiliares, los requerimientos energéticos, el origen de la materia prima y los catalizadores frente a los reactivos estequiométricos.

### Consideraciones finales

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 conlleve a su implementación, divulgación y enriquecimiento o en dado caso que pudiera ser un modelo generador de ideas para investigaciones futuras.

Además, se debe diseñar un material educativo en el cual se clasifiquen las sustancias de uso frecuente en el laboratorio de acuerdo a las normas de la EPA, NFPA y la DOT.

Así mismo, se deben realizar talleres de divulgación sobre el enfoque de la química verde.

## Referencias

- EPA (2005). The Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program. (Documento en Línea) Disponible: [http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/docs/nomination\\_package\\_for\\_2006\\_awards.pdf](http://www.epa.gov/greenchemistry/pubs/docs/nomination_package_for_2006_awards.pdf) (consulta: 2006, enero 24).
- CANN, Michael (2001). **Haciendo Verde el Plan de Estudios de la Química**. (Libro en línea) Disponible: <http://academic.scranton.edu/faculty/CANNM1/introspan.html> (consulta: 2005, octubre 24).
- CANN, Michael y MARC Connelly (2000). **Real World Cases in Green Chemistry**. Washington: American Chemical Society. pp. 1-74.
- DOMÉNECH, Xavier (2005). **Ecotropia** (Libro en línea) Disponible: <http://www.ecotropia.com/d1020504> (Consulta: 2005, mayo 7).
- LEFF, Enrique (1999). **La complejidad ambiental**. México: Siglo XXI. p. 314.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (2004). Módulos de Formación en Seguridad Química. (Documento en línea) Disponible: <http://www.ilo.org/public/spanish/protection/safework/cis/products/safetytm/index.htm> (consulta: 2006, agosto 16).
- PALO, José (2002). Educación y desarrollo sostenible. **Revista de la Organización de Estados Iberoamericanos**. (Transcripción en línea) Disponible: <http://www.campus-oei.org/valores/palos2.htm> (consulta: 2006, enero 12).
- PARENT, Kathryn (2006). Cleaning With Atom Economy. (Documento en Línea) [http://portal.acs.org/portal/fileFetch/C/CTP\\_005634/pdf/CTP\\_005634.pdf](http://portal.acs.org/portal/fileFetch/C/CTP_005634/pdf/CTP_005634.pdf), American Chemical Society, (Consulta: 2006, junio 23).
- UNESCO (2005). **Comisión Internacional sobre la educación para el siglo XXI**. Madrid: Santillana. Ediciones UNESCO.
- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA EXPERIMENTAL LIBERTADOR (2006). **Manual de Trabajos de Grado de Especialización, Maestría y Tesis Doctorales**. Caracas: FE-DEUPEL, p. 238.