

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA SOSTENIBLE EN LAS CARRERAS DE INGENIERÍA



Teaching sustainable chemistry in engineering careers

Beatriz Soledad-Rodríguez *

Para prevenir la contaminación ambiental, mejorar el ambiente y la calidad de vida, nace en 1990 la Química Verde. Con ella, se procura crear conciencia tanto en la comunidad científica como industrial, para proveer bienes y servicios que estén acordes al crecimiento de la población, de manera tal que no se contamine ni disminuya el bienestar social. Por esta razón, es necesario que los doce principios de la química sostenible sean incorporados en la enseñanza de la química y que sean implementados en las industrias para lograr un desarrollo sostenible. La ingeniería sostenible se ha desarrollado como una extensión de la química sostenible, con la finalidad de diseñar productos y procesos que minimicen la contaminación y las empresas que quieran ser reconocidas como líderes en un mercado más global y competitivo deben buscar aportar valor a sus inversiones y al entorno socioeconómico en el que operan, con un elevado nivel de protección ambiental.

Palabras claves: Ambiente, Química Verde, Química Sostenible, Educación, Industria.

Green Chemistry was born in 1990 in order to prevent environmental pollution, improve the environment and quality of life. It seeks to create awareness in both the scientific and industrial communities, the importance of providing goods and services that are in line with population growth, in a way that does not contaminate or diminish social welfare. Sustainable engineering has developed as an extension to sustainable chemistry, with the aim of designing products and processes that minimize pollution and companies that want to be recognized as leaders in a more global and competitive market must seek to bring value to their investments and the socio-economic environment in which they operate, with a high level of environmental protection.

Keywords: Environment, Green Chemistry, Sustainable chemistry, Education, Industry.

**Doctora en Química. Profesora titular e investigadora de la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela. Trabaja en el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería, de la Facultad de Ingeniería, en el área de la química analítica y contaminación ambiental. Ha publicado artículos en reconocidas revistas internacionales (e-mail: bsoledad@ucab.edu.ve)*

En las últimas décadas, el deterioro ambiental ha llevado a la comunidad científica a ocuparse de los problemas de contaminación y a buscar alternativas de materias primas y procesos productivos que no contaminen el ambiente. Como respuesta a la necesidad cada vez más creciente de evitar la contaminación, mejorar el medio ambiente y la calidad de vida, la Agencia de Protección del Ambiente de Estados Unidos (EPA) creó en 1990 la Química Sostenible o *Green Chemistry*¹, también llamada Química Verde.

La Química Verde es el uso de la química para la prevención de la polución mediante procesos industriales benignos, diseñados alternativamente a los existentes², y tiene como objetivo principal prevenir la contaminación en lugar de remediarla, concientizando a la comunidad científica y las industrias sobre la importancia de proveer bienes y servicios acordes con el crecimiento poblacional. Engloba distintas ramas de la ciencia y la ingeniería, tales como la microbiología, biotecnología, toxicología, química analítica, catálisis, química ambiental, ingeniería de diseño e ingeniería mecánica, entre otras.

Desde el ideal de la sostenibilidad, es indispensable la búsqueda de materias primas y procesos que sean menos contaminantes y más eficientes, así como practicar y enseñar una ciencia de forma tal que se busquen alternativas que sean factibles desde el punto de vista económico, aceptables éticamente, deseables energéticamente y que respeten el equilibrio de los ecosistemas³.

Al incluir las dimensiones social y cultural, la química verde ha sufrido una transición hacia la química sostenible

-
1. Aportes de la Química al Mejoramiento de la Calidad de Vida. UNESCO, Montevideo, 2012 (□)
 2. Contreras, R. *Rev. Inv.* 2012, 23-24, 42-45. (□)
 3. Reyes-Sánchez, L. *Educ. Quím.* 2012, 23 (2), 222-229. (□)

o sustentable⁴, y es importante que en la enseñanza de la química se incluya la educación ambiental. En los países desarrollados, como por ejemplo Estados Unidos, Canadá y Reino Unido, la Química Sostenible ha tenido un gran avance a nivel académico, industrial y gubernamental. Sin embargo, no ha ocurrido esto en los países en vías de desarrollo, por lo cual es de gran importancia que se incorporen medidas de prevención y desarrollo sostenible en dichos países con la finalidad de evitar los impactos negativos que la industria química pueda ejercer sobre el ambiente y la salud. Es importante señalar que en la Ciencia de la Sostenibilidad, además de las contribuciones de diversas ramas de la ciencia, se encuentran las de la Química Verde y las de la Educación Química para la sostenibilidad⁵. La Química Sostenible se ha desarrollado aceleradamente y se fundamenta en principios que mejoran los procesos tanto desde el punto de vista ambiental como económico.



Figura 1. Los doce principios de la química verde.

PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA SOSTENIBLE

A continuación, se presentan los doce principios de la Química Verde desarrollados por Anastas y Warner⁶, para que sirvieran como guía para la síntesis y aplicación de productos y procesos químicos que redujeran, o eliminaran, el uso y producción de materiales dañinos al ambiente (un resumen de estos principios se presenta en la **Figura 1**):

1. Prevención en la generación de residuos.
2. Métodos de síntesis que deben incorporar al máximo, en el producto final, todos los materiales usados.
3. Síntesis química menos peligrosa empleando sustancias no tóxicas o de baja toxicidad.
4. Diseño de productos químicos más seguros con mínima toxicidad.
5. Minimización del empleo de disolventes y productos auxiliares.
6. Diseño para la Eficiencia Energética.
7. Uso de materias primas renovables.
8. Reducir la formación de derivados.
9. Empleo de catalizadores lo más selectivos posibles.
10. Diseño de productos químicos para que se degraden al final de su vida útil.
11. Control en tiempo real de compuestos contaminantes
12. Química inherentemente más segura para la prevención de accidentes

A nivel mundial han surgido numerosos estudios y programas con la finalidad de promover la Química Verde y sus principios.^{7, 8} A continuación se mencionan algunos de ellos que se consideran representativos. En Japón, por ejemplo, el Instituto de Innovación Química es el encargado de realizar las actividades de investigación y desarrollo de la Química Verde y Sostenible, así como de organizar las actividades internacionales, el intercambio de información y las diferentes propuestas de financiamiento; en los Estados Unidos, la EPA es la encargada de apoyar la investigación básica en Química Verde y el Instituto de Química Verde de la Sociedad Americana de Química (ACS) reconoce las contribuciones sobresalientes en esa área; en España, existe la Red Española de Química Sostenible (REDQS) y la Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible (Suschem-España) que se encargan de promover la investigación y la transferencia de tecnología en el área de Química Verde; en el Reino Unido, la *Royal Society of Chemistry* ubicada en la Universidad de York es la encargada de facilitar la educación, capacitación y práctica de la Química Verde en el entorno académico y en la industria; en la Unión Europea la Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea, creada en 1973 y encargada de proteger, conservar y mejorar el medio ambiente de esta región, entrega desde 1987 los *Premios europeos de negocios para el medio ambiente*, EBAE, con objeto de reconocer y promover la innovación en materia de sustentabilidad; de forma similar pero en Australia, el Real Instituto Australiano

4. Sanabria, S y Mora, W. *Revista EDUCyT*. 2015. 10, 1-8 (□)

5. Vilches, A y Gil, D. *Educ. Quím.* 2013 24 (2), 199-206. (□)

6. Anastas, P., y Warner, J., *Green Chemistry: Theory and Practice*, London, England, Ed. Oxford University Press, 2000. (□)

7. Cabildo, M. y col.: *Procesos orgánicos de bajo impacto ambiental. Química verde*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED Ediciones, España. 2012. (□)

8. Sierra, A. y col. *RIDE*. 2014, 5 (9). 1-16. (□)

de Química (RACI) inauguró en 1999 un premio anual conocido como *Green Chemistry Challenge Award*; finalmente, en México el *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACYT) se encarga de apoyar a las universidades a través de proyectos de sostenibilidad generados por iniciativa de los investigadores.

EDUCACIÓN PARA LA QUÍMICA Y LA INGENIERÍA SOSTENIBLE

A lo largo de los últimos años, la Química Sostenible se ha venido conformando para proyectar el desarrollo de la Química⁹ y la aplicación de los doce principios, tanto en la industria como en la investigación. Como parte de la formación académica de los profesionales del futuro, es necesario que estos contenidos sean incorporados en la docencia de la Química. Señalan Mascarell y Vilches¹⁰ que, tanto en bachillerato como en los departamentos académicos de las escuelas de química, se observa aún la división, de hace cincuenta años, de orgánica, inorgánica, fisicoquímica, bioquímica y analítica; sin embargo, los problemas fundamentales de la humanidad no encajan ahora necesariamente con esa división¹¹. Es necesario, entonces, un cambio educativo para lograr la sostenibilidad¹² y, en algunas universidades a nivel mundial, se están efectuando evaluaciones del currículo de la carrera profesional de química para incorporar la Química Sostenible¹³.

La formación de profesionales que cuenten con las competencias necesarias para analizar, diseñar, construir y gestionar procesos de transformación de materias primas en productos, cuidando que el desarrollo de tecnología y procesos sean sostenibles y amigables con el ambiente, ya es una realidad en diversos países. Seguidamente se mencionan algunos ejemplos destacados. En México, por ejemplo, la Universidad de Guanajuato, ofrece la carrera de Ingeniería Química Sostenible, el Tecnológico de Monterrey, la carrera de Ingeniero Químico en Procesos Sostenibles y la de Ingeniero en Desarrollo Sostenible, y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo ofrece la carrera de Ingeniería en Energía y Sustentabilidad. En Ecuador, por otro lado, la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ofrece la carrera de Ingeniería Sostenible.

En España se elaboró un estudio¹⁴ en el cual se presenta un panorama general de la educación para el desarrollo de ámbito formal en las escuelas de ingeniería españolas, centrándose en la oferta de asignaturas de grado vinculadas al enfoque de Tecnología para el Desarrollo Humano y Soste-

nible (TpDH).¹ Estas materias se ubican en los ámbitos académicos de ciencia, tecnología y sociedad, desarrollo, cooperación y sostenibilidad. Los autores ofrecieron un análisis pormenorizado de la oferta de Madrid y Castilla la Mancha apoyada desde la Ingeniería Sin Fronteras, como de la Universidad Politécnica de Cataluña, donde la oferta de libre configuración se especializa hacia el campo de la cooperación y la sostenibilidad, enfatizándose en el rol de la tecnología en el desarrollo y la Educación para la Sostenibilidad.

Por otro lado, en los Estados Unidos de América, la Universidad del Estado de Arizona (*Arizona State University*), cuenta con el *Bachelor of Science in Sustainability* enfocado en áreas que incluyen la tecnología, negocios, energía, alimentación y agricultura, entre otros. También cuenta con una maestría y un doctorado en Sustentabilidad y, por ejemplo, en la Universidad de Toledo, en Ohio, se encuentra la Escuela de Química Verde e Ingeniería para mejorar la condición humana a través de la investigación, educación, y actividades que promuevan el uso seguro y sostenible así como la producción y el reciclaje de materiales químicos. En el Instituto Real de Tecnología de Melbourne (*RMIT University*), en Australia, se ofrecen las carreras de Ingeniería Ambiental y de Ingeniería en Sistemas de Sustentabilidad, con la finalidad de ayudar a disminuir el impacto del ser humano sobre el ambiente y gestionar dicho impacto de forma sostenible. Por otro lado, en la Universidad de Carleton, en Canadá, se ofrece la Ingeniería de Energía Sostenible y Renovable para el diseño, construcción, operación y la mejora de sistemas de energía sostenibles. Asimismo, en la Universidad de Alberta, también en Canadá, existen grupos de investigación donde se promueven la mejora en la eficiencia química y la sustentabilidad. Finalmente, en la Universidad de Toronto, Mississauga, se ofrecen diversas carreras relacionadas con la química y la sustentabilidad para la formación de profesionales vinculados con estas áreas de trabajo.

Como se puede inferir de esta breve recopilación de información, el desarrollo de programas de formación en el área de la química sostenible y de la ingeniería sostenible es

1 Cabe señalar que la TpDH nace de la necesidad de replantearse el papel del factor tecnológico en función del objetivo de favorecer e impulsar el desarrollo humano y de la constatación de que los adelantos en el desarrollo humano y la erradicación de la pobreza logrados en el siglo XX fueron debidos en gran medida a adelantos tecnológicos¹⁵.

9. Calvo-Flores, F.G. y Dobado, J.A. *An. Quím* **2008**, *104* (3), 205-210. (□)

10. Mascarell, L y Vilches, A. *Enseñanza de las Ciencias*, **2016**, *34* (2), 25-42. (□)

11. Amador-Belloda, C. *Educ. quím.* **2013**, *24* (2), 193-198. (□)

12. Doria, M y Miranda, R. *Educ. quím.* **2013**, *24* (núm. extraord. 1), 94-95. (□)

13. Lozano, R y Watson, M. *Educ. quím.* **2013**, *24*(2), 184-192. (□)

14. Martínez, J., Manjarrés, A y Pérez, A.: Formación universitaria en tecnología para el desarrollo humano y sostenible. Propuestas y referencias en España. Congreso Universidad y Cooperación al Desarrollo. Madrid, **2016**.

15. PNUD. "Informe sobre Desarrollo Humano 2001. Poner el adelan-

un área que se está trabajando ampliamente a nivel mundial.

LA IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS EN TIEMPO REAL DE RESIDUOS EN LA QUÍMICA VERDE

Para prevenir la contaminación, según los principios de la Química Verde, es necesario efectuar los análisis en tiempo real y, para ello, es necesario desarrollar metodologías para el monitoreo y control de sustancias peligrosas. Una forma de efectuar estos análisis es mediante sensores químicos; en estos casos, el monitoreo permite optimizar el uso eficiente de los reactivos así como determinar la composición de los residuos y efluentes. En una revisión efectuada por Brett sobre nuevas estrategias de monitoreo,¹⁶ el autor hace hincapié en las metodologías de flujo e inyección continua y en línea, y los requisitos necesarios para que los sensores sean exitosos, prestando especial atención al empleo del flujo electroquímico y de los sensores de inyección por lotes que, a menudo, pueden usarse sin pretratamiento de muestras externas.

Más de 80% del tiempo de análisis se dedica a la recolección y la preparación de muestras, por lo que la preparación de estas es una parte crítica del proceso analítico. Tradicionalmente, la extracción líquido-líquido se desarrolló y se empleó para detectar compuestos desconocidos en general; sin embargo, debido a su simplicidad y economía en términos de tiempo y uso de disolventes, la extracción en fase sólida (SPE) se está volviendo muy popular como una alternativa de análisis¹⁷.

Un caso de interés es el de los residuos de hormonas esteroides, los cuales se han convertido en motivo de preocupación dado que pueden afectar la actividad biológica de diversos organismos y son un riesgo potencial, tanto para la vida silvestre como para los seres humanos, a través del consumo de agua o alimentos contaminados. Para analizar muestras con bajos niveles de concentración, se requieren pasos previos de extracción y limpieza. En los últimos años, se ha hecho un gran esfuerzo para desarrollar nuevas metodologías analíticas, como las técnicas de micro-extracción, que reducen la contaminación ambiental. Los investigadores han modificado antiguos métodos de análisis para incorporar el uso de productos químicos menos peligrosos o cantidades más pequeñas de ellos, pudiéndose realizar análisis directos con equipos miniaturizados y cantidades reducidas de disolventes, lo cual está en sintonía con los objetivos principales de la química verde¹⁸.

Otro ejemplo importante es el de los plaguicidas, los cuales se encuentran entre los contaminantes ambientales más peligrosos debido a su estabilidad, movilidad y efectos a largo plazo sobre los organismos vivos. En este caso, es fundamental vigilar sus residuos utilizando todos los métodos analíticos disponibles. Sin embargo, el análisis de muestras ambientales es muy difícil pues los procesos involucrados en la preparación de la muestra son laboriosos y requieren mucho tiempo. Hasta la fecha, ha sido una práctica habitual el uso de grandes cantidades de disolventes orgánicos en el proceso de preparación de la muestra, pero como muchos de estos disolventes son peligrosos, las técnicas sin disolventes, o con una mínima cantidad de estos, se están volviendo populares lo cual es una clara aplicación de los principios de la Química Verde a la preparación de muestras¹⁹.

APLICACIONES DE LA QUÍMICA SOSTENIBLE EN INGENIERÍA

La máxima optimización del uso de las materias primas para disminuir la generación de desechos se conoce como Economía Atómica, que incluye factores como la cantidad de residuo producido en un proceso, la eficacia atómica, el rendimiento de masa efectivo y la productividad de la masa. Uno de los primeros logros de la química verde en la ingeniería fue en la reducción de la cantidad de residuos generados en la obtención industrial del ibuprofeno^{1, 20}, **Figura 2**. En el proceso productivo, que constaba de seis etapas, se generaba una alta cantidad de residuos, siendo la economía atómica (relación porcentual entre la masa del producto deseado entre la masa del reactivo) de 40 %. La compañía *BHC Company*, desarrolló un proceso en menos etapas, disminuyendo considerablemente la cantidad generada de residuos y dando una economía atómica de 77 %.

Desde mediados del siglo XX hasta ahora, se han suscitado cambios en los procesos productivos buscando un menor impacto sobre el ambiente¹⁷. La Química Sostenible está presente en los procedimientos de fabricación, pues un proceso de manufactura ideal es aquel que es sencillo, requiere de un paso, es seguro, usa recursos renovables, es ambientalmente aceptable, tiene rendimiento total, produce cero desperdicios, tiene alta economía atómica y consiste en simples pasos de separación²¹. Los procesos industriales sostenibles son utilizados en las plantas industriales para elaborar productos químicos y deben incorporar en su diseño etapas que sean eficientes, que generen menos residuos y desechos, que no contaminen al ambiente y utilicen sustan-

to tecnológico al servicio del desarrollo humano." 2001 (□)

16. Brett, C. *Pure and applied Chemistry*. 2007, 79 (11), 1969-1980. (□)

17. Plotka-Wasylyk J. y col. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2015, 73, 19-38. (□)

18. Aufartová J. y col. *Anal. Chim. Acta*, 2011, 704, (1-2), 33-46. (□)

19. Stocka, J. y col. *Int. J. Mol. Sci.*, 2011, 12 (11), 7785-7805. (□)

20. Pájaro, N y Olivero, J. *Cienc. Ing. Neogranad.* 2011, 21 (2), 169-182 (□)

21. Doble, M y Kruthiventi, A. *Green Chemistry and Engineering*. Academic Press. 2007 (□)



Figura 2. Frasco con pastillas del medicamento ibuprofeno, uno de los más usados en el mundo como analgésico. En 1997 *BHC Company* reportó un proceso de síntesis que contenía muchos menos pasos y menor número de reactivos involucrados lo que le valió a la empresa productora un premio por ser un ejemplo de aplicación de los principios de la química verde. (imagen: dominio público)

cias inocuas, que sean seguras, tanto para los trabajadores como para las comunidades y ecosistemas, y que contribuyan al desarrollo sostenible, garantizando el uso eficiente de los recursos naturales y propiciando el empleo de recursos renovables²².

UN NUEVO PARADIGMA, LA INGENIERÍA VERDE

La Ingeniería Verde, o Ingeniería Sostenible, fue desarrollada como una extensión de la química verde, y se entiende como el diseño, la comercialización y el uso de procesos y productos, técnica y económicamente viables, a la vez que se minimiza la generación de contaminación de origen y el riesgo para la salud y el ambiente²³. Los doce principios de la ingeniería sostenible se presentan a continuación:

1. Los diseñadores deben esforzarse por asegurar que todas las entradas y salidas de materia y energía

2. Es mejor prevenir la contaminación que tratar o limpiar el residuo ya producido.
3. Las operaciones de separación y purificación deberían diseñarse para minimizar el consumo de energía y el uso de materiales.
4. Los productos, los procesos y los sistemas deberían diseñarse para la maximización de la eficiencia en el uso de materia, energía y espacio.
5. Los productos, procesos y sistemas deberían estar orientados hacia la "producción bajo demanda" más que hacia el "agotamiento de la alimentación".
6. La entropía y la complejidad inherentes deben ser consideradas como una inversión al elegir entre reutilizar un material, reciclarlo o rechazarlo.
7. Diseñar para la durabilidad, no para la inmortalidad.
8. Satisfacer la necesidad, minimizar el exceso.
9. Minimizar la diversidad de materiales.
10. Cerrar los ciclos de materia y energía del proceso tanto como sea posible.
11. Diseñar para la reutilización de componentes tras el final de la vida útil del producto.
12. Las entradas de materia y energía deberían ser renovables.

El objetivo de la Ingeniería verde es apoyar a la sustentabilidad mediante el empleo de soluciones tecnológicas para resolver los problemas de suministro. Señala Mudler²⁴ que los ingenieros son los arquitectos del futuro y su participación en el desarrollo sostenible es buena tanto para los ingenieros que deseen ampliar sus perspectivas como para el desarrollo sostenible.

Dentro de la Ingeniería Industrial, el diseño y desarrollo de productos sostenibles ha adquirido gran importancia al incrementarse el nivel de exigencia del mercado en aspectos innovadores, funcionales, estéticos y, sobre todo, respetuosos con el ambiente²⁵. La ecoinnovación es la innovación trasladada a términos ecológicos, e incluye la reducción del impacto ambiental, optimizando el uso de los recursos naturales y la energía, mejorando el bienestar humano y posibilitando la ejecución económica de los proyectos con nuevas tecnologías y técnicas sostenibles. Para conseguir este objetivo, es importante llevar a cabo un proceso de diseño y desarrollo innovador, que englobe los requisitos de sostenibilidad para que el producto y el sistema asociado a su ciclo de vida sean ecoeficientes. El ciclo de vida de los productos planteado por el paradigma "de la cuna a la cuna" (C2C) plantea actividades tales como la producción, el transporte, la distribución, el uso y servicio, para ligar el fin de vida con la extracción de la materia prima. Desde esta perspectiva, se ve al producto como un ser vivo, y la ecología industrial se orienta a transformar un

22. Loayza, J. y Silva, V. *Ind. Data*. **2013**, *16*(1),108-117 (□)

23. Gómez Cívicos, J.I. *Ing. Quím.* **2008**, *458*, 168-175. (□)

24. Mudler, K. *Desarrollo sostenible para Ingenieros*. Ediciones UPC: Barcelona, **2007**. (□)

25. Aguayo-González, F. y Lama-Ruiz, J., *DYNÁ*, **2011**, *86*(2), 199-211. (□)

26. Rodríguez, F y Fernández, G. *Rev. Ing. Constr.* **2010**, *25* (2), 147-160. (□)

sistema industrial en analogía a un ecosistema natural, por lo que la estructura lineal convencional del sistema industrial se transforma en un ciclo cerrado de materia, que implica un uso eficiente de la energía, la reducción del consumo material en productos, servicios y procesos productivos, y el evitar usar sustancias peligrosas. El genoma es el conjunto de genes contenidos en los cromosomas y puede interpretarse como la totalidad del material genético que posee un organismo; continuando con la analogía de ver al producto como un ser vivo, el modelo genómico de ecodiseño (MGE2) propuesto por los autores es una metodología para la concepción de productos que satisfagan las necesidades individuales y colectivas, bajo el nuevo paradigma de la ecoefectividad o "de la cuna a la cuna", posibilitando el diseño de productos ecocompatibles y se integra en el marco de las normas ISO de análisis de ciclo de vida, ecodiseño y ecoetiquetado.

En un estudio efectuado sobre los nuevos objetivos en los proyectos de construcción en Ingeniería Sostenible, Rodríguez y Fernández²⁶ señalan que la cantidad de residuos generados por el sector de la construcción, así como la cantidad de recursos consumidos en energía y materias primas, entre otros, durante el ciclo de vida del proyecto que incluye la construcción, explotación, mantenimiento y deconstrucción, contribuyen decididamente al aumento de la huella ecológica humana. Es por ello que deben cambiar los objetivos y requisitos para lograr la consecución de una construcción más sostenible, pues el fin no debe ser solamente la consecución del triple objetivo plazo, coste y calidad, así como las prestaciones establecidas por el promotor, sino que deben plantearse nuevos objetivos y requisitos de sostenibilidad en los proyectos.

Con relación a la ingeniería informática, por ejemplo, en un artículo de la Facultad de Informática de la Universidad de Santiago de Compostela²⁷, se presenta una propuesta para desarrollar la competencia Sostenibilidad y Compromiso Social (SyCS) en estudios superiores. La propuesta está basada en proporcionar al profesorado formación general en SyCS (y, en particular, en la relación entre ésta y la informática), así como material relacionado con SyCS para cada materia y los métodos de evaluación de las competencias. En la propuesta, existe un mecanismo global de coordinación y evaluación de la competencia. Señalan los autores, que por medio de este proceso los estudiantes desarrollan su marco conceptual consistente y evolutivo, que les ayudará en un proceso continuo de aprendizaje relacionado con SyCS.

27. Sánchez, F; López, D. y García, J. "Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática". Santiago de Compostela: Universidade de Santiago de Compostela. Escola Técnica Superior d'Enxeraría, 2010, 249-256. (□)

28. Arceche, F. *Ingeniería química*, 2002, 394, 490-498. (□)

En cuanto a las empresas²⁸, aquellas que quieran ser reconocidas como líderes en un mercado más global y competitivo, deben buscar aportar valor a sus inversiones y al entorno socioeconómico en el que operan de forma permanente mediante un elevado nivel de protección ambiental, basándose en una gestión ambiental y socialmente más comprometida y en un mayor diálogo y transparencia con todas las partes interesadas entre los que se encuentran los accionistas, los proveedores, los vecinos, los trabajadores y la administración, entre otros. Este camino persigue la búsqueda de la excelencia y el liderazgo a través de un desarrollo que integra y pone en equilibrio la dimensión económica, social y ambiental, involucrando y haciendo partícipes a todos los agentes que interaccionan con la empresa.

REFLEXIONES FINALES

Desde su creación hasta nuestros días, la química sostenible ha tenido un crecimiento considerable y es necesario continuar avanzando para lograr la incorporación de sus doce principios, tanto en la enseñanza de la química como en la aplicación industrial. El uso adecuado de la tecnología para disminuir el impacto ambiental y preservar al ambiente, en conjunto con el desarrollo económico y social, es imprescindible para que se logre un desarrollo sostenible.

Por ello, es necesario fomentar la didáctica de la química sostenible, tanto en la educación media como en la universitaria, para la formación académica de los futuros profesionales en las diferentes ramas de la ciencia y de la ingeniería y poder así continuar desarrollando la ingeniería sostenible para el diseño de productos y procesos que minimicen la contaminación ambiental y poder alcanzar en las empresas operaciones que tengan un elevado nivel de protección ambiental.

Recibido: 3 de enero de 2018

Aceptado en su forma final: 16 de abril de 2018

BIBLIOGRAFÍA ESENCIAL

Mulder, K. *Desarrollo sostenible para ingenieros*. Universitat Politècnica de Catalunya. Cataluña. España. 2007. (□)

Gabaldón, A. *Desarrollo sustentable. La Salida de América Latina*. Grijalbo. Caracas, Venezuela. 2006

UNESCO. *Educación para el Desarrollo Sostenible*. Paris, Francia. 2012