

Inclusión de la Química Sostenible en el currículum de carreras de educación con perfil químico: una reflexión necesaria

Inclusion of Sustainable Chemistry in the Curriculum of Education Programs with a Chemical Profile: A Necessary Reflection

Mirelkis de la Caridad Callis Despaigne,¹ Armando Ferrer Serrano,² Librada García Leyva,¹ América García López,¹ Roger Pérez Matos¹ y Juan Antonio Revilla Puentes¹

Resumen

La química sostenible resulta cada vez más necesaria para minimizar el impacto antropogénico en el ambiente y debe entenderse como un campo que trasciende la química ambiental. En este contexto, este análisis empírico tiene como objetivo fundamentar la necesidad de incorporar contenidos de química sostenible en la formación de docentes, quienes serán responsables de la enseñanza inicial de la química en los niveles de educación media básica, media superior y técnico medio en Cuba, con posibilidad de extrapolación a países con sistemas educativos semejantes. El estudio incluye un análisis de los conceptos de química sostenible, sus doce principios y algunos procesos industriales en los que dichos principios se aplican. Asimismo, se examinan los planes de estudio de carreras afines a la química de la Universidad de Oriente, así como programas de posgrado en química sostenible impartidos en universidades de reconocido prestigio internacional. A partir de este análisis, se proponen asignaturas electivo-optativas para carreras de perfil químico-pedagógico, como Educación Química y Educación Química Industrial, y, de manera complementaria, la incorporación de contenidos de química sostenible en asignaturas afines.

Palabras clave: química sostenible, formación docente, educación química, principios de la química sostenible, currículo universitario.

Abstract

Sustainable chemistry is increasingly necessary to minimize anthropogenic impacts on the environment and should be understood as a field that goes beyond environmental chemistry. In this context, this empirical analysis aims to substantiate the need to incorporate sustainable chemistry content into teacher education, since teachers are responsible for the initial teaching of chemistry at the lower secondary, upper secondary and technical secondary levels in Cuba, with potential applicability to countries with similar educational systems. The study includes an analysis of sustainable chemistry concepts, its twelve principles and selected industrial processes in which these principles are applied. It also examines the curricula of chemistry-related degree programs at the University of Oriente, as well as existing postgraduate programs in sustainable chemistry at internationally recognized universities. Based on this analysis, elective courses are proposed for programs with a chemical-pedagogical profile, such as Chemistry Education and Industrial Chemistry Education, and, as a complementary option, the inclusion of sustainable chemistry content in related courses.

Keywords : sustainable chemistry, teacher education, chemistry education, principles of sustainable chemistry, university curriculum.

CÓMO CITAR:

Callis Despaigne, M. de la C., Ferrer Serrano, A., García Leyva, L., García López, A., Pérez Matos, R. y Revilla Puentes, J. A. (2026, enero-marzo). Inclusión de la Química Sostenible en el currículum de carreras de educación con perfil químico: una reflexión necesaria. *Educación Química*, 37(1). <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2026.1.91612>

¹ Universidad de Oriente, Cuba.

² Universidade Federal da Bahia, Brasil.

Introducción

La Química Sostenible (QS) como ciencia interdisciplinaria permite obtener sustancias y realizar procesos químicos en un mínimo impacto al ambiente, se sustenta en 12 principios (Anastas, 1998). Por lo que la inclusión de estos conocimientos en las carreras que tienen como formación los saberes, pensares y quehaceres de la Química se hacen necesarios. El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar los elementos de la QS en los contenidos como forma de fomentar en el estudiante universitario un enfoque más actualizado del tema, y profundizar en cómo mitigar o eliminar los riesgos a los que se enfrenta la humanidad y donde la educación tiene un rol importante en la formación integral de las generaciones presentes y futuras; siendo así parte de la Educación Para el Desarrollo Sostenible visto desde la perspectiva de un especialista en química.

Marco teórico

En las últimas dos décadas, los esfuerzos por alcanzar un desarrollo sostenible han sido mayoritariamente declarativos quedando solo en documentos y no en obras que muestre el avance en el desarrollo sostenible. Aunque la UNESCO declaró al periodo 2005-2014 “La década de la educación por el desarrollo sostenible”, siguen existiendo trabas para implementar esta nueva forma de ver la ciencia en diferentes niveles (Doria, 2013). Esta acción de la UNESCO, deja claro el papel de la educación para el logro de la sostenibilidad.

La Química Sostenible se ha convertido en un tema de interés a nivel global, su proyección es alcanzar la sostenibilidad de un país reduciendo o mitigando la contaminación al ambiente a la hora de realizar procesos químicos, por lo que se hace necesario la inclusión de estos conocimientos a la formación de los futuros profesores de Química que tendrán como objeto de trabajo la formación de futuros tecnólogos en la parte de la Enseñanza Técnica y Profesional, y de estudiantes de la Enseñanza Media y Media Superior; por lo que países desarrollados como Canadá, Reino Unido, Estados Unidos, entre otros, en la actualidad invierten en el estudio y aplicación de este tema, así lo refleja el artículo *Enseñanza de la Química Sostenible en las carreras de Ingeniería*, donde plantea que los doce principios de la química sostenible debe incorporarse en la enseñanza de la química e implementarse en las industrias, con la finalidad de diseñar productos y realizar procesos que minimicen la contaminación exhortando a las grandes compañías a la búsqueda de inversiones en el entorno socioeconómico con un elevado nivel de protección medioambiental (Soledad-Rodríguez, 2018). La Química Verde está relacionada con la optimización de síntesis, el uso de materias primas renovables mejor que no renovables (tanto químicas como energéticas) y el control cuali y cuantitativo de los materiales artificiales empleados y producidos (así como los residuos producidos); mientras que la Química Sostenible se considera como un subsistema de sostenibilidad y representa un concepto más amplio que se debe a aspectos como: seguridad, política de riesgo, tecnologías de remediación, purificación de agua, energías alternativas, y obviamente se incluye la química verde (Cannon, 2012; Centi, 2003).

En contraste, algunos estudios han demostrado la situación marcada por una serie de graves problemas medioambientales evidenciados en los últimos años, denominándolo una situación emergente planetaria que plantea un desafío para hacer posible la continuidad de la especie humana (Vilches, 2009; Amador-Bedolla, 2013). Los principales problemas

ambientales emergentes en la situación planetaria actual se agrupan en la llamada “triple crisis planetaria”: cambio climático, pérdida de biodiversidad y contaminación. Estos tres problemas están interconectados y se ven agravados por factores como la demanda de recursos, el crecimiento poblacional y la inacción global (Vilches, 2009). Esto dio paso a la necesidad de establecer un vínculo estrecho entre las industrias y la participación de los educadores en los diferentes niveles de enseñanza, así lo plantea el artículo Mascarrel-Borrada, L y Vilches-Peña, A. (2016).

Franco-Moreno, R y Ordoñez-Carlosama, L. (2020) ilustran la evolución existente en el área de la química verde enfocada en la investigación didáctica en los últimos 15 años, donde se implementa el enfoque de la química verde en diversos cursos, estudios de postgrado, entre otros, su finalidad es lograr que el estudiante se apropie de los conocimientos básicos de la química verde y logren proponer soluciones o estrategias desde su formación. Así lo corrobora el artículo Braga-Mozzer, N y Justi, R, (2013), donde su estudio se centra en comparar lo que ya sabemos con algo nuevo que queremos saber, usándolo como una herramienta para el desarrollo de la ciencia.

La Red Española de Química Sostenible es el resultado visible de la cooperación de diferentes universidades, centros de investigación e investigadores y otras instituciones en España, donde reconocen que la química en un primer momento pasó de ser la fuente de mayores perspectivas de progreso de la humanidad en diferentes áreas de producción a ser catalogada como una actividad indeseable y perjudicial para el ser humano. Altava, B, Burgette, I y Santiago V, L, (2013) muestran que la acción más importante que llevaría a cabo la Red Española de Educación en Química Sostenible (REDQS) sería la Educación en Química Sostenible, donde se contemplen todas las etapas del proceso educativo, ayudando a destinatarios de diferente naturaleza a través de cursos de pregrado y postgrado.

La revisión de artículos y materiales de apoyo ha evidenciado la carencia de este conocimiento relacionado con la química verde en las carreras que tienen como formación principal los saberes de la química en la Universidad de Oriente, donde en el mismo se refleja la escasez de publicaciones y artículos de parte de los investigadores cubanos que aborden acerca de este tema, por lo que se hace necesaria una actualización acorde a los avances científicos sobre química verde, tomando como referencia países desarrollados.

En los últimos años, el auge de la Química Sostenible se ha ido insertando en la formación de los nuevos profesionales de esta rama del saber, comenzando desde el posgrado, a través de programas de Doctorado y Maestría (Altava, 2013). *Educación cooperativa en Química Verde: la experiencia española* (Altava, 2013) muestra la importancia de la educación en Química Verde como un *aspecto clave*. De esta manera se plantea que el desarrollo de nuevas tecnologías y proceso químicos que sean medioambientalmente benignos es esencial, pero es incluso más importante formar nuevas generaciones de químicos en estas metodologías y en los conceptos de Química Verde.

En el ámbito español, el primer resultado de las gestiones en Química Sostenible es la creación de la Red Española de Química Sostenible (REDQS, ver página web). En el mismo quedó establecida su acción más importante a llevar a cabo que sería la educación en Química Sostenible. Así, la formación en Química Sostenible fue insertándose en las etapas superiores de la formación profesional: Máster y Doctorado en Química Verde.

La importancia de la Química Sostenible es tan alta que se han generado muchos Centros y Grupos de Investigación que responden al sobrenombre de Sostenible. De estos, muchos han logrado hacer aportes significativos a la química actual minimizando la influencia negativa del hombre en la producción de bienes y servicios. La tabla 1 muestra una lista de algunos de estos grupos.

Centro o Grupo	Institución	País
Green Chemistry Institute	ACS	Estados Unidos
Green Chemistry Centre of Excellence	University of York	Reino Unido
Catalysis and Green Chemistry	Univ. Helsinki	Finlandia
G. R. in Green Chemistry	Univ. California, Santa Bárbara	Estados Unidos
Green Chemistry (Network Centre)	Univ. Delhi	India
Green Catalysis Research Group	Univ. Calgary	Canadá
Green Chemistry Research Group	Univ. Makerere	Uganda
Green Chemistry and Enabling Tech.	Institut des Biomoléculas Max Mousseron IBMM	Francia
Química Sostenible y Supramolecular	Univ. Jaume I, Castellón	España
Química Sintética Sostenible	Univ. Oviedo	España
Energía y Química Sostenible	Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC-Madrid	España
Química Sostenible	Univ. Murcia	España
Síntese Química Sustentável e Aplicada	Univ. Federal da Bahía	Brasil
Centro Conjunto de Investigación en Q. Sostenible UAEM-UNAM	Univ. Autónoma del Estado de México- Univ. Nacional Autónoma de México	México
Compuestos Bioactivos y Química Sostenible	Universidad de Oriente	Cuba

TABLA 1. Agrupaciones que dirigen sus investigaciones a la Química Sostenible.

No solo existen acciones en la investigación. La experiencia española descrita anteriormente es un ejemplo de la vinculación investigación-posgrado, constituyendo una referencia a nivel europeo, logrando la distinción de Mención de Calidad del Ministerio (desde su primera edición en el curso 2003-2004) y recientemente entró en el ranking 2024-25 como uno de los mejores Máster en impacto ambiental¹. Pero no solo existe esta experiencia. Una búsqueda en los motores de internet como Google, muestra que varias universidades, en especial de Europa y Estados Unidos tienen programas de Doctorado y Maestría en Química Sostenible (Tablas 2 y 3). Este hecho va indicando la importancia que va cobrando la formación en materias relacionadas con la Química Sostenible.

¹ Documentos EL MUNDO, 20 de junio de 2024, pág. 3, 20. Es el único máster ofrecido en España con esta especialidad. Participan en él los mejores expertos nacionales que trabajan en este campo. www.uji.es

TABLA 2. Programas de Doctorado en Química Sostenible.

Nombre del programa de Doctorado	Institución (es)	País
Doctorado Interuniversitario en Química Sostenible	Univ. Jaume I, Univ. Castilla La Mancha, Univ. Extremadura y otras.	España
Doutoramento en Química Sustentável	Univ. Aveiro, Univ. Nova Lisboa, Univ. Oporto.	Portugal
PhD. Program Green Chemistry	Univ. Massachusetts	EE.UU
PhD. Sustainable Chemistry	Univ. Venecia	Italia

TABLA 3. Programas de Maestría en Química Sostenible.

Nombre del programa de Maestría	Institución (es)	País
Máster Interuniversitario en Química Sostenible	Univ. Jaume I, Univ. Castilla La Mancha, Univ. Extremadura y otras.	España
Green Chemistry and Sustainable Indus. Technology	Univ. York	Reino Unido
MSc. Environmental and Green Chemistry	Columbian College of Art & Sciences. The George Washington Univ.	EE.UU
Professional MSc. in Sustainable Chemistry	Univ. Lüneburg	Alemania
MSc. in Green Chemistry	Technische Universität Wien	Austria
MSc. in Sustainable Chemistry	Univ. Birmingham	Reino Unido
MSc. in Sustainable Chemistry	Stockholm Univ.	Suecia
MSc. Green Chemistry and Process for biomass	Univ. Toulouse	Francia

Por otro lado, la Química Sostenible ha comenzado a divulgarse de manera sustancial entre las publicaciones científicas, estableciéndose algunas revistas especializadas en esta área del conocimiento químico, llegando a índices de impacto altos. Algunas de éstas son: *Green Chemistry* (Factor de Impacto, FI: 9.3), *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* (FI: 9.3), *Asian Journal of Green Chemistry* (FI: 3.7), *Current Green Chemistry* (FI: 1.1), *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (FI: 7.1), y varias más.

Ausencia de sistemas de conocimiento de Química Sostenible en los currículos de carreras pedagógicas afines a la Química

Una revisión exhaustiva de los programas de las disciplinas químicas de las carreras de Licenciatura en Educación Química Industrial y en Educación Química de la Universidad de Oriente (Cuba), revelan que prácticamente no se mencionan términos relacionados a la Química Verde o Sostenible. La licenciatura en Química Industrial posee una disciplina denominada Fundamentos Químicos y Biológicos que aporta los conocimientos necesarios de química general, inorgánica, orgánica, físico-química, bioquímica, analítica y microbiología que sustentan el perfil técnico-profesional del futuro profesor de tecnológico. Sin embargo, el análisis del sistema de contenido de esta disciplina mostró ausencia total de información relacionada con la Química Sustentable y sus principios. En casos como los contenidos de físico-química relacionados con equilibrio de fases donde se habla del punto crítico y no se mencionan los fluidos supercríticos (Figura 2a), y su importancia en la sostenibilidad de nuevos procesos industriales.

En específico, la carrera de Química Industrial podría incluir en el currículo de la carrera, en asignaturas de la disciplina Procesos Tecnológicos Químicos, la modificación de procesos químicos industriales cubanos que se han transformado hasta hacerse más sustentables. Otras asignaturas como la Química Orgánica podrían mencionar aspectos relacionados con la sostenibilidad, como distinguir entre disolventes benignos y dañinos para los seres vivo y el Medioambiente. No obstante, aún no se podrían transmitir los conceptos básicos de la Química Sostenible, ni sus 12 principios, ni contenidos sobre Métricas, fuentes alternativas de energía, etc. Metodológicamente, sería un sistema de contenido disperso y no llegaría al pensamiento del futuro profesor de enseñanza media, media superior y técnico profesional, de manera eficiente.

Es por esto por lo que una de las propuestas sería la implementación de una asignatura electiva u optativa que pudiese agrupar de manera organizada, metodológica y coherente los contenidos relacionados con la Química Sostenible. La adecuación de los programas de otras asignaturas requeriría de aprobación ministerial ya que modificarían sustancialmente los Planes de Estudios al modificar los contenidos de materias consideradas básicas. Pensando de esta manera, sería más eficiente proponer la Química Sostenible en el currículo optativo-electivo, aunque estaría limitada a las personas que la eligen. No obstante, un trabajo previo de divulgación podría atraer más estudiantes.

Propuestas de programas de asignaturas electivas u optativas sobre Química Sostenible

Teniendo como base que una asignatura electiva u optativa en la Educación Superior cubana es de elección del estudiante, tiene un bajo número de horas clase, y son aprobadas cada año antes de comienzo del curso escolar; para agrupar de manera metodológica los contenidos esenciales sobre química sostenible. Esta experiencia fue realizada con anterioridad en la carrera de licenciatura en Química (Plan de Estudios E: licenciatura en Química UO, 2018, pág. 559), a través de una asignatura electiva denominada Elementos de Química Sostenible de 42h (4to año, 8vo semestre). Este tiempo es el establecido en el Ministerio de Educación Superior para las materias de esta clasificación. Aunque parece corto, los resultados de su implementación en la carrera de licenciatura en Química han tenido un impacto significativo. Por ejemplo, gran número de estudiantes solicitaron la entrada al Grupo de Investigación Compuestos Bioactivos y Química Sostenible de la UO, luego de cursar la asignatura. Por otro lado, algunos de los alumnos, incluyeron en sus Tesis de Diploma algunos de los principios de la Química Sostenible, aún sin pertenecer al grupo recién mencionado. El sistema de contenido propuesto fue el siguiente:

Surgimiento de la Química Sostenible. Necesidad de procesos químicos e industriales menos dañinos al medio ambiente. Concepción de los 12 principios de la Química Sostenible. Economía Atómica y otras métricas importantes en la Química Sostenible. Disolventes benignos. Uso de materias primas renovables y fuentes alternativas de energía en los procesos. Diseño adecuado de productos químicos para la biodegradación y factibilidad ambiental. Catalizadores y su papel en la química limpia. Monitoreo de procesos en tiempo real como medida de optimización de los procesos químicos e industriales. Derivatización innecesaria en la síntesis de nuevas sustancias: procesos químicos en pocos pasos de reacción. Manejo adecuado de los laboratorios químicos desde el punto de vista de la química verde. Ingeniería verde: impacto social y ambiental de la aplicación de elementos de química sostenible en la industria.

En el caso de esta asignatura es posible notar que está estructurada para impartir los elementos básicos de Química Sostenible que requiere un licenciado en Química de estos tiempos. Pero ¿qué es lo que necesita un profesor de química? ¿Ese profesor que será el primero en enseñar química en la enseñanza media? ¿O ese profesor de tecnológico quien formará a los tecnólogos que van directamente a la industria?

El profesor para este nivel educacional necesita conocer los fundamentos básicos de esta rama del saber para poder desarrollar un proceso de enseñanza-aprendizaje contextualizado. Recordando que: la enseñanza-aprendizaje contextualizado es un enfoque educativo que conecta los contenidos académicos con la vida diaria, social y cultural de los estudiantes para hacer el conocimiento más significativo, relevante y aplicable (Ortega-García, 2016). El mismo también debe establecer las relaciones necesarias con los contenidos de otras disciplinas del currículo. Su finalidad es elevar la cultura general y contribuir a la formación integral del educando.

De esta forma se podría proponer un programa de asignatura electiva para la carrera de Educación Química, basada en un conjunto de aspectos esenciales como se muestra a continuación. Es importante no confundir el nombre propuesto para esta asignatura con la conocida Educación para el Desarrollo Sostenible, la cual se define como: Integración de la perspectiva del aprendizaje permanente, que no solo tiene lugar en la escuela, sino también fuera del entorno escolar, a lo largo de la vida de cada persona. (UNESCO, 2020, p. 58)

Asignatura: Química Sostenible para educadores químicos (30h).

Objetivos Generales de la Asignatura:

- 1.- *Conocer los 12 principios de la Química Sostenible. Comparar conceptualmente la Química Ambiental vs Química Sostenible.*
- 2.- *Calcular la Economía Atómica como métrica para evaluar la sostenibilidad de una reacción.*
- 3.- *Reconocer los disolventes benignos, las materias primas renovables y las fuentes de energía alternativas que se pueden emplear en reacciones químicas.*
- 4.- *Conocer cómo se estructura la química sostenible a nivel mundial y nacional.*
- 5.- *Apropiarse de conocimientos teóricos y experimentales para transmitir y enseñar conceptos y fundamentos de la Química Sostenible a estudiantes de la enseñanza media y media superior.*

Sistema de conocimientos: Surgimiento de la Química Sostenible. Paul Anastas. Los 12 principios de la Química Sostenible. Economía Atómica. Disolventes benignos. Materias primas renovables y fuentes alternativas de energía en los procesos. Educación en Química Sostenible a nivel mundial y nacional; perspectivas de Cuba. Experimentos y materias para motivar la Química Sostenible en la enseñanza media y media superior.

Química Industrial, se podía proponer un programa aún más específico, debido a la particularidad de que es precisamente la encargada de formar profesores para Educación Técnico Profesional, de donde egresan técnicos medios que van directamente a la industria. De igual manera que en el programa anterior, se analizó el Plan de Estudio vigente (2016), el perfil del profesional y el perfil laboral del técnico medio que estos egresados van a formar. Como resultado se propone lo siguiente:

Asignatura: Química Sostenible para químicos industriales (30h).

Objetivos Generales de la Asignatura:

- 1.- *Conocer los 12 principios de la Química Sostenible. Comparar conceptualmente la Química Ambiental vs Química Sostenible.*
- 2.- *Definir que es Economía Atómica y su importancia como métrica en la evaluación de la sostenibilidad de una reacción.*
- 3.- *Reconocer los disolventes benignos, las materias primas renovables y las fuentes de energía alternativas que se pueden emplear en reacciones químicas.*
- 4.- *Conocer cómo se estructura la química sostenible a nivel mundial y nacional.*
- 5.- *Apropiarse de conocimientos teóricos y experimentales para transmitir y enseñar conceptos y fundamentos de la Química Sostenible a estudiantes de la enseñanza técnica y profesional.*

Sistema de conocimientos: Surgimiento de la Química Sostenible. Paul Anastas. Los 12 principios de la Química Sostenible. Economía Atómica. Disolventes benignos. Materias primas renovables y fuentes alternativas de energía en los procesos. Reacciones en pocos pasos de síntesis. Catálisis vs reacciones estequiométricas. Monitoreo de reacciones y procesos químicos en la industria a tiempo real. Educación en Química Sostenible a nivel mundial y nacional; perspectivas de Cuba. Estudio de casos de la Industria Cubana que han evolucionado hacia la Química Sostenible. Experimentos y materias para motivar la Química Sostenible en la enseñanza técnico profesional. Leyes ambientales surgidas a partir del movimiento de sostenibilidad en la Química.

Algunas reflexiones sobre el análisis realizado

Se reconoce que la Química Sostenible es un paso de muchos otros que pueden llevarnos hacia la sostenibilidad del planeta y que, mediante ella, se opta por una química cuyos productos y servicios pretenden ser ambientalmente viables, socialmente aceptables, económicos, energéticamente suficientes y que sobre todo lleven a la humanidad a un equilibrio entre nuestras necesidades humanas y el ciclo habitual de renovación de los recursos naturales.

La formación de profesores de enseñanza media con una sólida preparación en química sostenible conlleva implicaciones amplias y multidimensionales. En el plano económico, favorece la optimización del uso de recursos y la reducción de costos a largo plazo al promover prácticas escolares y comunitarias más eficientes y menos dependientes de insumos contaminantes; sin embargo, implica también inversiones iniciales en actualización docente, laboratorios y materiales didácticos especializados en Química Sostenible. Desde la perspectiva política, fortalece el cumplimiento de compromisos nacionales e internacionales vinculados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, pero exige coherencia institucional y voluntad de los decisores para integrar la sostenibilidad en los programas educativos. En el ámbito social, estos docentes pueden convertirse en agentes de cambio que fomenten una cultura ambiental responsable en las nuevas generaciones, aunque su impacto dependerá del apoyo comunitario y de la capacidad del sistema educativo para valorar y sostener tales iniciativas más allá de los discursos.

La revista mexicana *Educación Química* dedicó ocho ediciones especiales sobre “Temas emergentes en la educación de la Química”, desde enero de 2012 hasta octubre de 2013: dejando en particular un número exclusivo con la denominación “*Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química*” (Doria, 2013).

Las preocupaciones del ámbito científico internacional por educar en Química Sostenible no quedaron solo en un número especial o extraordinario de una revista. El número siguiente de esa misma revista comienza con una nota editorial “*Sustentabilidad y Educación Química*” (Amador, 2013) y dedica otros tantos artículos al vínculo de la Química Sostenible a la Educación.

Vânia Ziun y colaboradores, describen en una perspectiva de la revista *Green Chemistry*, algunos casos interesantes de experiencias sobre Educación en Química Verde y Sustentable en la Enseñanza Media (High School), que conectan a los estudiantes de ese nivel con contenido químico relacionado con sustentabilidad a través de experimentos enfocados en la biodegradación, producción de energía limpia y química verde (Ziun, 2021; Aubrecht, 2015). Aubrecht y colaboradores logran un set de prácticas de laboratorios en química sustentable o verde que aportan conocimientos a los estudiantes de ese nivel sobre: materias primas renovables, biodegradabilidad, diseño circular, etc. (Aubrecht, 2015). En 2013, Burmeister y Eilks describieron el desarrollo de un módulo de curso sobre conceptos de sostenibilidad y Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) en la formación inicial de profesores de química de secundaria en Alemania (Ziun, 2021; Burmeister, 2013). El módulo se inspiró en los hallazgos de investigaciones empíricas sobre la base de conocimientos de los futuros docentes. Fue creado y cíclicamente refinado utilizando: Investigación Acción Participativa y abarca contenidos tanto teóricos como prácticos sobre sostenibilidad, química verde y educación para el desarrollo sostenible.

Por otro lado, la carrera de Química de la Universidad de Oriente (Cuba), tiene un curso electivo denominado Elementos de Química Sostenible²; el cual pretende apoyar la formación científica de los estudiantes que se vinculan a las investigaciones de los Grupos Compuestos Bioactivos y Química Sostenible, fundamentalmente.

Estos ejemplos hacen pensar que los futuros docentes que impartirán clases en ese nivel precisan de una base, al menos esencial de elementos de Química Sostenible para poder transmitir con efectividad este tipo de visión química que tanto necesita la humanidad. Todo se trata de un cambio de mentalidad (Ferrer, 2019).

Tal es la importancia de la inclusión de estos contenidos, que las autoras Felicia A. Etzkorn y Jamie L. Ferguson, justo el año pasado, redactan en el resumen de su artículo para la revista *Angewandte Chemie*, un llamado directo a la comunidad universitaria de educación química (Etzkorn, 2023):

“La integración total de la química verde en el plan de estudios de pregrado es una necesidad para preparar a nuestros estudiantes para un futuro sostenible. Discutimos las razones de la necesidad de cambiar el plan de estudios, las instituciones en América del Norte, Europa y Asia que están liderando el camino hacia la integración con los recursos del aula y los libros de texto publicados que actualmente están disponibles tanto para el aula como para el laboratorio. Solicitamos más tiempo para que los profesores universitarios en apuros

² Plan de Estudios E. Carrera: Química. Facultad de Ciencias Naturales y Exactas. Universidad de Oriente. Ministerio de Educación Superior. Cuba.

renueven el plan de estudios y que se valoren estos esfuerzos. Nos sentimos obligados por la urgencia de esta necesidad a implorar a la comunidad educativa de química que participe en estos esfuerzos ahora.” (Traducción directa del texto en inglés).

Influencia en la formación final del egresado de las carreras pedagógicas

Desde su creación hasta el día de hoy, la Química Sostenible ha tenido un crecimiento considerable, tal vez exponencial, y es necesario continuar avanzando para lograr incorporar sus doce principios, tanto en la enseñanza de la química como en la aplicación industrial (Soledad-Rodríguez, 2018). Es lógico pensar que sus profesores deben inculcar esta visión tan importante de la química, contando con una batería de herramientas para transmitir estos conocimientos como: prácticas de laboratorios en química sustentable o verde que aportan conocimientos a los estudiantes de ese nivel sobre: materias primas renovables, biodegradabilidad, diseño circular, como describe Aubrecht (2015) en su artículo; o las que se puedan incluir en el sistema de conocimientos de asignaturas electivas como las propuestas en este artículo.

De cierta manera, incluir esta gama de conocimientos adicionales en el currículo de estas carreras de corte pedagógico especializadas en química, garantizaría un egresado comprometido con el Desarrollo Sostenible, pero a la vez dotado de herramientas suficientes para poder influir en las nuevas generaciones.

Impacto del resultado esperado para los estudiantes de la enseñanza media básica

Imaginemos un estudiante de nivel medio (secundaria básica) recibiendo una charla de desarrollo sostenible. Por otro lado, imaginemos al mismo estudiante desarrollando una práctica de laboratorio donde pueda aplicar a ese nivel de conocimientos, algún principio de la Química Sostenible. El primero sólo escucharía términos que, a su edad, tal vez lo olvide en unos días. Sin embargo, el segundo, estaría siendo protagonista, partícipe de una experiencia que podría quedar fijada en sus recuerdos como un primer eslabón de una cadena de conocimientos que lo llevarían a ser un defensor de ese mismo desarrollo sostenible. La experiencia ha demostrado que no solo es necesario hablar a los estudiantes sino también hacerlos partícipes de las transformaciones, por ejemplo:

Una experiencia desarrollada por el proyecto **ChemistryKids** en la Escuela Primaria “Luis Armando Morales Mustelier” de Santiago de Cuba, mostró que la experimentación desarrolla en los niños una curiosidad inmensa, una sed de conocimientos por la química y sobre todo la química sostenible, aún sin conocer los términos profesionales al respecto. ¿Cuánto más se podría motivar a los estudiantes de educación secundaria que ya comienzan sus primeros pasos en la química?

FIGURA 1. Alumnos de la Escuela Primaria “Luis Armando Moralees Mustelier” durante un intercambio motivacional a través del proyecto ChemistryKids (Foto tomada por los autores, Noviembre 2023).



Impacto del resultado esperado para los estudiantes de la enseñanza media superior

Los estudiantes de la enseñanza media superior (conocidos en Cuba como estudiantes de preuniversitario), son aquellos que se preparan para entrar a la universidad. Es evidente que con un poco más de conocimientos en la química básica, la comprensión de la importancia del desarrollo sostenible sería mayor. A este nivel el estudiante ya conoce que la química es una de las ramas del saber más relacionada con la producción de bienes y servicios. Por lo tanto, tiene conciencia de la importancia de hacer una química más amigable con el ambiente. Una charla “informal” con profesores de química del Instituto Preuniversitario “Rafael María de Mendive” de Santiago de Cuba, mostró que hay poco conocimiento de términos relacionados con la química sostenible, ya que los mismos no recibieron ningún contenido al respecto en su formación profesional. Es por ello por lo que les resulta difícil transmitir algunos conceptos y fundamentos de esta hacia los estudiantes.

Impacto del resultado esperado para los estudiantes de la enseñanza técnico-profesional

Este grupo de estudiantes serían los más beneficiados al respecto, porque son los futuros tecnólogos o técnicos medios, que van directo a la industria. De esta forma, un profesor dotado de este conjunto de contenidos podría influir directamente en la formación del técnico, y ende su modo de actuación en la industria, al egresar un profesional con una mejor preparación para aplicar sus conocimientos esenciales de química sostenible.

Conclusiones

En el presente trabajo se hacen consideraciones teóricas sobre la inclusión de elementos esenciales de Química Sostenible en los programas formativos de las carreras pedagógicas de química en Cuba. Se indican como resultado del análisis de los currículos de estas carreras, la propuesta de asignaturas electivas de Química Sostenible como una de las opciones para apoyar la formación en esta rama del conocimiento. De esta manera, se elaboraron esbozos de programas de asignaturas basados en un sistema de conocimientos que ordena de didácticamente aspectos imprescindibles para conocer sobre Química Sostenible. Se valoró la alternativa de colocar algunos contenidos de esta química en otras asignaturas de las carreras en cuestión, pero se perdería organización en el sistema de conocimientos, perdiendo así la identidad de la Química Sostenible. Teniendo en cuenta

las experiencias internacionales en países del primer mundo y la necesidad de formar nuevas generaciones de profesores de enseñanza media y técnico-profesional, parece ser imprescindible que éstos egresen de sus carreras con un mínimo de formación en Química Sostenible. La educación en este tema podría impactar con estudiantes de tecnológicos que lleguen a trabajar en las industrias y tomaría mayor alcance en estudiantes de enseñanza media que reciban esta influencia de sus profesores.

Su inclusión permite lograr el fortalecimiento de la química Sostenible, no solo en egresados de las carreras de Licenciatura en Educación Química Industrial y Licenciatura en Educación Química que tienen en sus manos la capacitación y desarrollo de los futuros tecnólogos y bachilleres, sino que su conocimiento va aparejado a la necesidad de irse incorporando en edades tempranas, así lo refleja el proyecto chemistryKids dónde una muestra de alumnos se sintieron identificados con demostraciones experimentales, motivándolos a cursar carreras de corte químico aplicando los saberes que ofrece el tema objeto de investigación.

En conclusión, se hace necesario reflexionar en cuanto a la formación en Química Sostenible de los futuros profesores de enseñanza media y técnico-profesional para influir en el pensamiento de las nuevas generaciones.

Agradecimientos

A. Ferrer, agradece la formación en Química Sostenible dada por el Grupo Química Sostenible y Supramolecular de la Universitat Jaume I, de Castellón de la Plana, España, durante su formación posdoctoral. De igual manera, el colectivo de autores de este artículo agradece la colaboración de los Consejos de Carrera de Licenciatura en Educación Química Industrial y Licenciatura en Educación Química de la Universidad de Oriente, así como a los estudiantes y profesores de la Escuela Primaria Luis Armando Morales Mustelier e Instituto Preuniversitario Rafael María de Mendive de la ciudad de Santiago de Cuba, por el apoyo en esta tarea de enseñar Química Sostenible.

Referencias

- Alavi Talab, H. (2006). *Caffeine extraction from coffee by supercritical fluid method* [Conference paper].
- Altava, B., Burguete, M. I. y Luis, S. V. (2013). Educación cooperativa en Química Sostenible: la experiencia española. *Educación Química*, 24(número extraordinario 1), 132-138. ISSN 0187-893X.
- Amador, C. (2013). Sustentabilidad y Educación Química. *Educación Química*, 24(2), 182-183. ISSN 0187-893X.
- Amador-Bedolla, C. (2013). Durabilidad humana y la educación química. *Educación Química*, 24(2), 193-198. ISSN 0187-893X.
- Anastas, P. T. y Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Aubrecht, K. B., Padwa, L., Shen, X. y Bazargan, G. (2015). Development and implementation of a series of laboratory field trips for advanced high school students to connect chemistry to sustainability. *Journal of Chemical Education*, 92, 631-637. <https://doi.org/10.1021/ed500630f>

- Azevedo, A. B. A., Mazzafera, P., Mohamed, R. S., Vieira de Melo, S. A. B. y Kieckbusch, T. G. (2008). Extraction of caffeine, chlorogenic acids and lipids from green coffee beans using supercritical carbon dioxide and co-solvents. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25(3), 543-552. ISSN 0104-6632.
- Braga-Mozzer, N. y Justi, R. (2013). A elaboração de analogias como um processo que favorece a expressão de concepções de professores de Química. *Educación Química*, 24(1), 163-173. ISSN 0187-893X.
- Cannon, A. S. (2012). Green chemistry and the pharmaceutical industry. En W. Zhang y B. W. Cue (Eds.), *Green techniques for organic synthesis and medicinal chemistry*. John Wiley & Sons.
- Centi, G. y Perathoner, S. (2003). Catalysis and sustainable (green) chemistry. *Catalysis Today*, 77, 287-297. ISSN electrónico 1873-4308.
- Chaugule, A., Patil, H., Pagariya, S. e Ingle, P. (2019). Extraction of caffeine. *International Journal of Advanced Research in Chemical Sciences*, 6(9), 11-19. <https://doi.org/10.20431/2349-0403.0609002>
- Connell, D. W. (2005). *Basic concepts of environmental chemistry* (2.^a ed.). CRC Taylor & Francis.
- Doria, M. C. y Miranda, R. (2013). Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación química. *Educación Química*, 24(número extraordinario 1), 94-95. ISSN 0187-893X.
- Etzkorn, F.A. y Ferguson, J. L. (2023). Integrating green chemistry into chemistry education. *Angewandte Chemie*, 62, e202209768. <https://doi.org/10.1002/anie.202209768>
- Fernandes de Goes, L., Leal, S. L., Corio, P. y Fernandez, C. (2013). Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. *Educación Química*, 24(número extraordinario 1), 113-123. ISSN 0187-893X.
- Ferrer, A. (2019). Química Sostenible y Sostenibilidad: un cambio de mentalidad. *Encuentro con la Química*, 5(3), 30-34.
- Franco-Moreno, R. A. y Ordoñez, L. Y. (2020). El enfoque de química verde en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. Su abordaje en revistas iberoamericanas: 2002-2018. *Educación Química*, 31(1), 84-104. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.70414>
- Leite, C. L. (2009). *Aceitação e preferência por cafés submetidos a diferentes métodos de extração de cafeína* [Tesis de maestría]. Universidade de São Paulo.
- Lozano, R. y Watson, M. K. (s. f.). Chemistry education for sustainability: Assessing the chemistry curricula at Cardiff University. *Educación Química*, 24(2), 184-192. ISSN 0187-893X.
- Lubchenco, J. (1998). Entering the century of the environment: A new social contract for science. *Science*, 279(5350), 491-497. <https://doi.org/10.1126/science.279.5350.491>

- Mascarell-Borreda, L. y Vilches-Peña, A. (2016). Química verde y sostenibilidad en la educación en ciencias en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 34(2), 25-42. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1688>
- Mestres, R. (2013). Química Sostenible: Naturaleza, fines y ámbito. *Educación Química*, 24(número extraordinario 1), 103-112. ISSN 0187-893X.
- Ortega-García, C. A. (2016). Para qué un aprendizaje contextualizado y coherente en la escuela. *Praxis*, 12, 135-144. <https://doi.org/10.21676/23897856.1855>
- Sheldon, R. A. (2018). Metrics of green chemistry and sustainability: Past, present, and future. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 6, 32-48. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03505>
- Soledad-Rodríguez, B. (2018). Enseñanza de la química sostenible en las carreras de ingeniería. *Revista de Química PUCP*, 32(1), 12-17.
- Spanevello, R. A., Suárez, A. G. y Sarotti, A. M. (2013). Fuentes alternativas de materia prima. *Educación Química*, 24(número extraordinario 1), 124-131. ISSN 0187-893X.
- Summerton, L., Hunt, A. J. y Clark, J. H. (2013). Green chemistry for postgraduates. *Educación Química*, 24(número extraordinario 1), 150-155. ISSN 0187-893X.
- UNESCO. (2020). *Educación para el desarrollo sostenible para 2030: hoja de ruta*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374896>
- Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2009). Una situación de emergencia planetaria, a la que debemos y “podemos” hacer frente. *Revista de Educación* (número extraordinario), 101-122.
- Vilches, A. y Gil Pérez, D. (2013). Ciencia de la sostenibilidad: Un nuevo campo de conocimientos al que la química y la educación química están contribuyendo. *Educación Química*, 24(2), 196-206. ISSN 0187-893X.
- Waner, J. C., Cannon, A. S. y Dye, K. M. (2004). Green chemistry. *Environmental Impact Assessment Review*, 24, 775-799. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.006>
- Ziun, V. G., Eilks, I., Elschami, M. y Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: Perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*. <https://doi.org/10.1039/d0gc03313h>
- Zoller, U. (2013). Science, technology, environment, society (STES) literacy for sustainability: What should it take in chem/science education? *Educación Química*, 24(2), 207-214. ISSN 0187-893X.