



# Sostenibilidad y Química: Formación de Estudiantes Conscientes del Medio Ambiente

Sustainability and Chemistry: Developing Environmentally Conscious Learners

**Ana Alicia Valdez De Los Santos** (Autor Corresponsal)

ana\_valdez2@ucne.edu.do

 ORCID: 0009-0007-9135-4072

Universidad Católica Nordestana (UCNE), República Dominicana

**Aceptación:** 14 de mayo de 2025

**Publicación:** 23 de junio de 2025

## Resumen

El bienestar humano se ha visto comprometido debido a la crisis ambiental por sobreexplotación de recursos naturales. En este marco, surge la sostenibilidad y la química verde surgen como un concepto orientado a crear conciencia sobre el equilibrio ecológico, como estrategias pedagógicas para la educación de la química. El objetivo de la presente revisión bibliográfica fue identificar enfoques, estrategias educativas y su impacto en la formación de estudiantes ambientalmente conscientes. Para ello, se utilizó una metodología cualitativa con diseño narrativo. Se seleccionaron 28 publicaciones académicas de bases de datos como Google Scholar, Scielo, Dialnet, ScienceDirect, Elsevier y ProQuest. Se encontró que la química verde se fundamenta en 12 principios orientados a reducir el uso de energías y recursos no renovables. Asimismo, se resalta la importancia de actualizar el plan curricular hacia una educación con conciencia en el cuidado medioambiental, utilizando herramientas tecnológicas, pero a la vez con el conocimiento adecuado para su uso responsable. Esto, con el fin de impulsar valores éticos, pensamiento crítico y las habilidades competentes para actuar y responder de forma responsable a los problemas ambientales actuales del planeta.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, Educación Química, Educación Ambiental, Medio Ambiente, Estrategias Pedagógicas, Química Verde.

## Abstract

Human well-being has been compromised due to the environmental crisis caused by the overexploitation of natural resources. Within this context, sustainability and green chemistry emerge as a concept aimed at raising awareness about ecological balance, serving as pedagogical strategies for chemistry education. The objective of this bibliographic review was to identify approaches, educational strategies, and their impact on the formation of environmentally conscious students. A qualitative methodology with a narrative design was employed. Twenty-eight academic publications were selected from databases such as Google Scholar, Scielo, Dialnet, ScienceDirect, Elsevier, and ProQuest. It was found that green chemistry is based on 12 principles aimed at reducing the use of non-renewable energies and resources. Furthermore, the importance of updating the curricular plan towards an education with awareness of environmental care is emphasized, utilizing technological tools, but also requiring adequate knowledge for their responsible use. This aims to promote ethical values, critical thinking, and competent skills to act and respond responsibly to the planet's current environmental problems.

**Keywords:** Sustainability, Chemistry Education, Environmental Education, Environment, Pedagogical Strategies, Green Chemistry.





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.2

ABRIL - JUNIO  
2025

Artículo de Revisión

128 - 138

Sostenibilidad y Química: Formación de Estudiantes Conscientes del Medio Ambiente

Ana Alicia Valdez De Los Santos

ORCID: 0009-0007-9135-4072

<https://revista.scienceevolution.com>



## Introducción

La sobreexplotación de los recursos naturales ha provocado una crisis ambiental que compromete el bienestar humano y la continuidad de la vida en el planeta. El modelo de desarrollo de la sociedad ha ignorado la capacidad de la naturaleza para absorber el impacto de la actividad humana, generando una crisis ambiental en todo el mundo. Ante esta realidad, surge el concepto de sostenibilidad, que tiene como fin fomentar una conciencia orientada a cubrir las necesidades humanas sin poner en riesgo el equilibrio ecológico ni las condiciones de vida de las siguientes generaciones ([Fernández Mora et al., 2021](#)).

Desde finales del siglo XIX, se ha buscado una relación armónica entre el ser humano y su entorno, aunque, en este proceso, la química ha cargado con una imagen negativa debido a los impactos ambientales asociados a procesos industriales y cotidianos ([Franco Moreno et al., 2020](#)).

A nivel global, según la [Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura \(UNESCO, 2022\)](#), desde hace mucho tiempo se reconoce la necesidad de aprovechar el poder de la educación para superar los desafíos referentes al desarrollo sostenible. Según el [Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente \(UNEP, 2024\)](#), aunque se han logrado avances significativos en la educación en química verde y sostenible, en la actualidad persisten dificultades que generan grandes brechas educativas, especialmente en los países en desarrollo y con economías en transición.

En ese contexto, la química sostenible es un enfoque científico que busca mejorar la eficiencia en el uso de los recursos naturales para satisfacer las necesidades humanas mediante productos y procesos químicos que sean eficaces, seguros y respetuosos con el medio ambiente. Este concepto promueve la innovación en todos los sectores para diseñar sustancias, tecnologías y prácticas de producción que aumenten el rendimiento y el valor, al mismo tiempo que minimizan los impactos negativos sobre la salud humana y el entorno. Su funcionalidad se basa en evitar el uso de materiales peligrosos o persistentes, fomentar el uso de recursos renovables, reducir la generación de residuos y promover tecnologías competitivas que favorezcan tanto a la industria como al medio ambiente ([Zuin et al., 2021](#)). Además, adopta un enfoque holístico e interdisciplinario, considerando todo el ciclo de vida de los productos químicos y su relación con las dimensiones ecológica, económica y social del desarrollo sostenible, e incorpora principios éticos y nuevos modelos de negocio orientados a una gestión responsable de los recursos y a la transformación hacia una química que contribuya activamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 4, que garantiza una educación inclusiva, equitativa y de calidad, y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos ([Naciones Unidas, s.f.](#)), lo que exige que las instituciones tengan entornos de aprendizaje didácticos, donde el estudiante pueda vincular sus experiencias formativas con situaciones realistas; de modo que el contenido del aprendizaje y sus pedagogías se vean reforzados por la forma en que se gestionan las instalaciones y se adoptan las decisiones a nivel interno ([Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura \[UNESCO\], 2020](#)).

Por otro lado, la química verde surge como una respuesta de la comunidad científica, que propone un enfoque orientado al uso responsable de los recursos naturales y a la protección del medio ambiente ([Franco Moreno et al., 2020](#)), mediante el desarrollo de procesos químicos sostenibles, para reducir el uso y generación de sustancias contaminantes, que concentra sus esfuerzos en minimizar el impacto ambiental desde el diseño de productos hasta su disposición final, promoviendo el uso de materias primas renovables, eficiencia energética y la creación de productos biodegradables ([Mendoza Ramos et al., 2025](#)). Este enfoque está basado en 12 principios establecidos por [Anastas y Warner \(1998\)](#), los cuales son: prevención de la contaminación; economía atómica; síntesis química segura; diseño de productos químicos seguros; uso seguro de disolventes y auxiliares; eficiencia energética; uso de materias primas renovables; reducción de derivados; catálisis; diseño de productos biodegradables; análisis en tiempo real para la prevención de la contaminación; y prevención de accidentes.

Por ello, la educación para la sustentabilidad (EDS) y la educación en química verde (ECV) cobran relevancia, con una visión integral, holística, sistémica del mundo, enfocada en la construcción participativa de conocimientos, el desarrollo de competencias y la incorporación de una ética orientada al bien común en las acciones humanas ([Pino, 2024; Zuin et al., 2021](#)). Asimismo, la comunidad educativa debe contar con los conocimientos y las habilidades necesarias para afrontar las dificultades de la sostenibilidad de manera eficiente, dado que es imposible actuar si no se comprenden los conceptos y procedimientos básicos. Si realmente se quiere preparar al estudiantado para que cumpla eficaz y responsablemente la tarea de liderar y gestionar las instituciones de la sociedad que garantizan la supervivencia de la vida en el planeta y la sostenibilidad de una vida digna para todos, es imperativo un cambio profundo en la educación, ([Fernández Mora et al., 2021](#)).



La alfabetización en las asignaturas de ciencia mediante enfoques pedagógicos que integren la participación activa de los ciudadanos, suple la falta de conocimiento. Mientras, la educación de química verde plantea una formación a partir de la inmersión cultural y sin centrarse únicamente en la memorización de la teoría. Esto se debe a la intención de desarrollar habilidades críticas que permitan evaluar el impacto ambiental de los procesos químicos. Este enfoque inclusivo del conocimiento es esencial para afrontar desafíos globales, transformando la educación química en una herramienta para la toma de decisiones sostenibles ([Ballesteros-Ballesteros & Gallego-Torres, 2022](#)), sobre todo en la formación docente, puesto que son los profesores de ciencias quienes guiarán a las nuevas generaciones hacia prácticas más sostenibles ([Franco Moreno et al., 2020](#)). Además, una educación basada en el desarrollo sostenible proporciona los conocimientos, las habilidades, los valores, las actitudes y los comportamientos necesarios para que las personas tomen decisiones inteligentes y responsables que beneficien al medio ambiente, la economía y la sociedad ([Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura \[UNESCO\], s.f.](#)).

Según la [Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos \(OECD, 2023\)](#), ante el aumento de fenómenos climáticos extremos y la proximidad de puntos de inflexión ambiental, la transición hacia una economía verde debe ser una prioridad inmediata. Si bien los gobiernos han invertido en este ámbito como parte de la recuperación post-COVID-19, estas inversiones corren el riesgo de ser ineficaces si no se abordan los déficits de competencias. El tratamiento de los sistemas socioambientales exige una mirada multidisciplinaria, lo que representa un desafío para la comunidad educativa actual, donde los estudiantes sólo están limitados a recibir información sin participar activamente ([Araújo et al., 2024](#)).

En la educación, reformar los métodos de enseñanza es un paso esencial para vivir de una manera más sostenible. Esto implica cambiar los modelos curriculares fragmentados y unidireccionales por metodologías interdisciplinarias que innoven en las estrategias educativas y sean acordes con los principios de la sostenibilidad ([Pino, 2024](#)).

Con relación a ello, la tecnología digital, mediante sus herramientas y recursos, posibilita al docente ampliar los métodos pedagógicos para la asignatura de química, como la información online, las simulaciones interactivas, los vídeos educativos y las actividades prácticas en laboratorios virtuales. Esto facilita la experimentación de forma iterativa y la observación de fenómenos químicos sin los riesgos tradicionales, debido a que se realizan en un entorno digital. Esta manipulación de variables mejora la comprensión de los conceptos científicos. No obstante, el uso de estas tecnologías también tiene consecuencias ambientales, debido a la rápida obsolescencia de los dispositivos digitales, que contribuye al aumento de residuos tecnológicos, convirtiéndose en una amenaza creciente para el medio ambiente ([Yáñez Romero, 2024](#)).

Este estudio presenta una revisión bibliográfica de la literatura académica actual sobre la integración de la sostenibilidad en la enseñanza de la química, con la finalidad de identificar enfoques, estrategias educativas y su impacto en la formación de estudiantes ambientalmente conscientes. Asimismo, la relevancia de esta investigación radica en la necesidad de inculcar una cultura de sostenibilidad desde el ámbito educativo, en la materia de química, para que el alumnado cumpla sus objetivos académicos desde un rol activo en la transformación de su entorno, con un amplio sentido de responsabilidad y compromiso hacia la conservación del medio ambiente, convirtiéndolo en un agente de cambio en su comunidad y en el mundo en general.

## Método

### Enfoque Metodológico

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque metodológico cualitativo, siguiendo los lineamientos propuestos por [Hernández-Sampieri y Mendoza \(2018\)](#), dado que se centra en el análisis comprensivo de conceptos, experiencias educativas y marcos teóricos documentados en la literatura académica, con el objetivo de examinar cómo la integración de la sostenibilidad en la enseñanza de la química contribuye al desarrollo de una conciencia ambiental en los estudiantes. Asimismo, busca identificar las principales estrategias pedagógicas, enfoques curriculares y tendencias educativas que desempeñan un rol relevante en la formación científica frente a los desafíos medioambientales contemporáneos.



scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.2

ABRIL - JUNIO  
2025

Artículo de Revisión

128 - 138

Sostenibilidad y Química: Formación de Estudiantes Conscientes del Medio Ambiente

Ana Alicia Valdez De Los Santos

ORCID: 0009-0007-9135-4072

<https://revista.scienceevolution.com>



## Diseño de Estudio

Se utilizó un diseño narrativo de tipo documental, que permitió organizar, categorizar y sintetizar los hallazgos relevantes mediante una revisión crítica de artículos científicos, informes institucionales y documentos especializados en educación en química verde y sostenibilidad. Este diseño facilita la identificación de patrones y enfoques emergentes, así como de vacíos formativos, con el propósito de aportar al debate educativo y científico desde una perspectiva integradora y contextualizada.

## Estrategia de Búsqueda

La búsqueda de fuentes bibliográficas se realizó mediante palabras clave como "educación química", "sostenibilidad", "educación ambiental", "química verde", "conciencia ambiental", tanto en español como en inglés "chemical education", "sustainability", "green chemistry", "environmental awareness". Para la recolección de información se hizo uso de las siguientes bases de datos académicos, entre ellas: Google Scholar, Scielo, Dialnet, ScienceDirect, Elsevier y ProQuest.

## Criterios de Inclusión y Exclusión

Con la finalidad de asegurar la pertinencia y actualidad de las fuentes recopiladas, se establecieron los siguientes criterios:

**Criterios de Inclusión.** Se consideraron publicaciones académicas entre los años 2020 y 2025, redactadas en español o inglés, que abordaran temáticas relacionadas con la enseñanza de la química en relación con la sostenibilidad, la conciencia ambiental y/o la química verde en contextos educativos formales.

**Criterios de Exclusión.** Se excluyeron documentos sin revisión por pares, publicaciones con acceso restringido, estudios enfocados exclusivamente en aplicaciones industriales o técnicas sin relación con la educación, y fuentes anteriores a 2020 que no fueran consideradas clave en el tema.

## Extracción de Datos

Se incluyeron un total de 28 fuentes bibliográficas, entre artículos de revistas científicas, libros, así como puntos de vista de vanguardia provenientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), fuentes que en su conjunto abordan temas relacionados o directamente vinculados a la formación de estudiantes ambientalmente conscientes desde la enseñanza de la química. Se tomaron en consideración estudios publicados en inglés y español con el fin de ampliar el alcance y la diversidad de las fuentes recopiladas.

## Análisis de la Información

Se aplicó el método hermenéutico para el análisis interpretativo de las fuentes académicas seleccionadas, las cuales se clasificaron en función de temas recurrentes y categorías emergentes tales como:

- Definiciones clave
- Principios de la química verde
- Estrategias pedagógicas
- Uso de tecnología educativa
- Interdisciplinariedad y formación docente con enfoque sostenible.

## Limitaciones Metodológicas

La selección de investigaciones se llevó a cabo mediante bases de datos relevantes, aunque es posible que se hayan obviado fuentes significativas publicadas en otros repositorios. Asimismo, restringir la elección únicamente a estudios publicados en inglés y español entre el 2020 y 2025, podría haber limitado el acceso a investigaciones en otros idiomas y fechas que contengan información importante sobre el tema en cuestión.

## Desarrollo y Discusión

### La Química Verde y su Papel en el Desarrollo Sostenible

Van Cauwenberghe (2024), identificó que la química verde destaca entre las múltiples disciplinas que comprende la industria química, por su aporte para alcanzar los ODS y afrontar diversos desafíos relacionados a la sostenibilidad, como la degradación ambiental y la necesidad urgente de una gestión



eficiente de los recursos, asegurando que el progreso humano no se produzca a expensas del planeta. En este contexto, el medio ambiente se ha beneficiado de la innovación, con la creación de productos y procesos químicos respetuosos con el medio ambiente, como plásticos biodegradables, la biorrefinería, la conversión de energía solar, el reciclaje basado en enzimas y elaboración de materiales a partir de fibras naturales como el algodón, el cáñamo y el corcho. Estos productos son tecnologías sostenibles que reducen las emisiones de gas de efecto invernadero (GEI), y favorecen también a la economía circular y la equidad social.

En la práctica de la química verde, [Amonet et al. \(2024\)](#) detectó un sesgo relacionado al proceso de integración del enfoque holístico de los principios de Investigación e Innovación Responsable (por sus siglas en inglés RRI), cuya relevancia radica en lo que aporta al desarrollo científico y tecnológico, puesto que este enfoque implica valores sociales, consideraciones éticas e información detallada de las funciones de los actores que realizan los procesos de investigación e innovación. También ha promovido el desarrollo tecnológico en diversos campos, como la nanotecnología, la biotecnología, la ingeniería genética y la tecnología digital, incluidas las tecnologías de la información y la comunicación, pero, con relación a la química verde, faltan estudios que investiguen a profundidad los aspectos sociales, éticos, económicos o políticos asociados al complejo proceso de transición hacia una industria química sostenible.

En este marco, [Kurul et al. \(2025\)](#) analizaron que los avances en química verde responden, en gran medida, a la incorporación de tecnologías como la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (*Machine Learning, Deep Learning, Reinforcement Learning, AutoML, Federated Learning, Explainable IA*), que permiten optimizar el uso de recursos materiales, incrementar la eficiencia en los procesos de producción y facilitar tanto la identificación como el diseño de nuevos catalizadores y rutas de reacción sostenibles, reduciendo el desperdicio de energía no renovable. A ello se suma el desarrollo de nanoestructuras con capacidad de autoensamblaje, las cuales representan una innovación revolucionaria en los procesos de fabricación, con amplias aplicaciones en el ámbito biomédico y en el desarrollo de tecnologías generadoras de energía renovable.

[Van Cauwenberghe \(2024\)](#) encontró que la química verde propone nuevos enfoques de investigación orientados a una educación basada en la conciencia ambiental, con el objetivo de formar profesionales capacitados para liderar y promover prácticas sostenibles a favor del planeta. Por tanto, para [Kurul et al. \(2025\)](#), el futuro de esta disciplina se sustenta en la creación de materiales de origen biológico, con potencial para la captura de carbono y la implementación de técnicas escalables de fabricación verde, lo cual reafirma su carácter interdisciplinario y su capacidad de adaptación ante los desafíos ambientales globales.

### Los 12 Principios de la Química Verde

Las bases de la química verde fueron establecidas por [Anastas y Warner \(1998\)](#), quienes plantearon 12 principios, detallados en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
12 Principios de la Química Verde

N°	Principio	Descripción
1	Prevención de la contaminación	Reduce el impacto ambiental, evitando la generación de residuos desde el inicio del proceso químico.
2	Economía atómica	Optimiza las condiciones de reacción, minimizando la cantidad de subproductos, reduciendo el número de etapas reaccionales e impidiendo daños al medio ambiente.
3	Síntesis química segura	Protege la salud humana y el entorno, disminuyendo el uso de sustancias químicas con propiedades tóxicas durante las reacciones.
4	Diseño de productos químicos seguros	Incrementa la funcionalidad de los compuestos utilizados y, al mismo tiempo, disminuye sus efectos perjudiciales.
5	Uso seguro de disolventes y auxiliares	Selecciona disolventes y sustancias auxiliares en función de su solubilidad, volatilidad, viscosidad y polaridad.
6	Eficiencia energética	Mejora el rendimiento energético sustituyendo disolventes convencionales por alternativas sostenibles, empleando catalizadores y optimizando las reacciones químicas.
7	Uso de materias primas renovables	Prioriza el uso de recursos renovables en la selección de materias primas, disminuyendo el impacto ambiental y fomentando la sostenibilidad, siempre que sea técnica y económicamente viable.



8	Reducción de derivados	Evita o minimiza la derivatización innecesaria, disminuyendo el consumo de reactivos adicionales y simplificando los procesos sintéticos.
9	Catálisis	Emplea catalizadores en lugar de reactivos estequiométricos reduciendo y eliminando la necesidad de utilizar sustancias peligrosas en ciertas reacciones químicas.
10	Diseño de productos biodegradables	Elabora sustancias químicas capaces de descomponerse en productos no tóxicos al final de su ciclo funcional, evitando su persistencia en el medio ambiente.
11	Análisis en tiempo real para la prevención de la contaminación	Implementa métodos analíticos para monitorear los procesos en tiempo real, facilitando la detección temprana de productos peligrosos y previniendo su formación.
12	Prevención de accidentes	Selecciona cuidadosamente los materiales empleados en los procesos químicos, minimizando el riesgo de incidentes como fugas, explosiones o incendios.

*Nota: Adaptado de [Kurul et al. \(2025\)](#).*

Según [Kurul et al. \(2025\)](#), estos principios se centran en minimizar o eliminar por completo el uso de disolventes tóxicos en los procesos químicos, así como en prevenir la generación de residuos derivados de estos procesos. En ese sentido, los 12 principios de la química verde proporcionan directrices generales para reducir el impacto ambiental de los procesos químicos.

### Educación Química para la Sostenibilidad

[Chen et al. \(2020\)](#), indicaron que la educación para la sostenibilidad (EDS) se define como una enseñanza interdisciplinaria, colaborativa, experiencial y potencialmente transformadora a nivel social, ambiental y económica. Su objetivo es promover la educación como una herramienta crítica que prepara a los jóvenes para una ciudadanía responsable en el futuro e iniciar y dirigir la cultura dominante en una dirección sostenible. Por este motivo, una forma popular de lograr la integración en un currículo es abordar un tema o tópico a través de diferentes perspectivas profesionales. Esta interdisciplinaria es un proceso psicológico y cognitivo complejo, dado que no solo se refiere a un proceso, método o técnica, sino a una variedad de métodos de enseñanza para apoyar y promover resultados de aprendizaje interdisciplinarios dependiendo de la historia, las tradiciones y las formas de pensar de una disciplina.

### Definición de la Educación en Química Verde (ECV)

La educación en química verde (ECV) se centra en fomentar y mejorar la alfabetización científica en sostenibilidad ambiental y desarrollar las habilidades correspondientes entre las generaciones presentes y futuras. En ese sentido, para la enseñanza de la ECV, existen métodos que favorecen el aprendizaje de la química verde (AQV) ([Chen et al., 2020](#)).

### Integración de la Educación en Química Verde y la Educación para la Sostenibilidad

Sobre este particular, [Chen et al. \(2020\)](#) encontraron que la enseñanza de la química verde en integración con la educación para la sostenibilidad es importante porque permite fomentar la conciencia ambiental, generar actitudes positivas en los estudiantes hacia los problemas ambientales y motivar al cambio del comportamiento en una dirección sostenible, empleando modelos de aprendizaje que conecten las circunstancias del mundo real con las preocupaciones humanas más amplias de los sistemas ambientales, económicos y sociales. Estos modelos, de carácter multidimensional, abarcan a las ciencias naturales, sociales y la filosofía. Un ejemplo de ello es la ecología, que forma parte de las ciencias naturales y sintetiza el conocimiento sobre las interacciones entre los organismos y sus entornos abióticos. Por otra parte, la filosofía ayuda a encontrar un punto de partida para determinar acciones prácticas que promuevan en los estudiantes una convivencia armónica con la naturaleza. Por su lado, aplicar la psicología positiva contribuye a generar cambios significativos en sus aptitudes, influyendo en su conducta.

### Iniciativas Internacionales en Educación de Química Verde

[Etzkorn y Ferguson \(2022\)](#) detallan las diversas iniciativas internacionales que promueven la integración de la química verde en el currículo educativo, especialmente en los niveles universitarios y preuniversitarios. En América del Norte, el Instituto de Química Verde de la Sociedad Química Estadounidense ha desarrollado módulos educativos para los cursos de Química General y Orgánica, alineados con los 12 principios de la química verde y los ODS, los cuales incluyen textos, presentaciones, actividades, evaluaciones y guías para el profesorado, integrando enfoques como la evaluación de residuos, la toxicología y el pensamiento sistémico. Por su parte, la Universidad de Oregón introdujo laboratorios ecológicos en la enseñanza de la química orgánica, mediante talleres de formación docente respaldados por materiales experimentales. Asimismo, la organización Beyond Benign, mediante su programa Green Chemistry Commitment, impulsa la formación docente y el acceso a materiales curriculares de química verde por medio de una biblioteca digital abierta con





scienceevolution

ISSN: 2810-8728 (En línea)

4.2

ABRIL - JUNIO  
2025

Artículo de Revisión

128 - 138

Sostenibilidad y Química: Formación de Estudiantes Conscientes del Medio Ambiente

Ana Alicia Valdez De Los Santos

ORCID: 0009-0007-9135-4072

<https://revista.scienceevolution.com>



recursos revisados por pares para todos los niveles educativos. Mientras que, en Europa, el proyecto CHEM 21, financiado por la Unión Europea, desarrolló un Curso Online Masivo y Abierto (MOOC) sobre biotecnología verde, con más de 70,000 participantes. A su vez, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) ha promovido la enseñanza del pensamiento sistémico en química mediante escuelas de verano y colaboraciones internacionales. Por otro lado, en Asia, China ha implementado un programa obligatorio, un MOOC sobre química verde para todos los estudiantes de química. En paralelo, Japón, a través de la Red de Química Verde y Sostenible (GSCN), apoya actividades académicas y curriculares que fomentan la innovación y la sostenibilidad en la formación química, como las becas de viaje para estudiantes de posgrado que realizan presentaciones internacionales y el Simposio GSC que anualmente otorga premios en diversas categorías, similares a los que entrega la EPA de EE. UU. en el Green Chemistry Challenge.

Para [Zuin \(2021\)](#), lograr que las prácticas químicas actuales sean más ecológicas y sostenibles continúa siendo un desafío, especialmente para los países en desarrollo, puesto que los planes de estudio actuales para la formación de químicos e ingenieros en dichos países apenas consideran la sostenibilidad como parte de su currícula educativa. En el enfoque aplicado a estos modelos curriculares, predomina el trabajo práctico; sin embargo, [Chen et al. \(2020\)](#) descubrió que este resulta ineficiente para desarrollar capacidades en educación química verde y sostenible, dado que la enseñanza suele centrarse en la transmisión de contenidos sin tener en cuenta los conocimientos previos del estudiante. Además, las estrategias pedagógicas suelen limitarse a actividades de laboratorio convencionales, porque aún no se incorporan herramientas didácticas innovadoras, como simulaciones o animaciones. [Zuin et al. \(2021\)](#) destacaron que esta limitación impide la concienciación profunda sobre las implicaciones del uso de sustancias químicas y su impacto en el medio ambiente.

### Estrategias Didácticas para una Educación Sostenible de la Asignatura de Química

Las estrategias didácticas son un recurso pedagógico determinante para la enseñanza de la asignatura de química, debido a que le permiten al docente fomentar el diseño, análisis, reflexión y desarrollo educativo de sus estudiantes, de la mano de una concienciación ambiental y sostenible ([Herranen et al., 2021](#)).

Dentro de ellas, [Widyantoro et al. \(2025\)](#), menciona el Aprendizaje Basado en Casos (CBL, por sus siglas en inglés); que aúna conceptualizaciones teóricas y prácticas, orientando al alumnado a analizar circunstancias reales, lo cual facilita la receptividad e incorporación de conceptos de sostenibilidad y química verde en la currícula educativa. Un caso destacado se puede observar en el sistema de educación de Singapur, un plan curricular que integra teoría científica de base, buenas prácticas y principios éticos, en concordancia con habilidades requeridas para el entorno moderno, evidenciando que el CBL es un método educativo eficaz para la formación de ciudadanos orientados a hacerle frente al cambio climático y deterioro ecológico, convirtiendo al docente en un agente de transformación ambiental. Sin embargo, integrar esta estrategia en otros contextos para la asignatura de química aún es un reto institucional, dada la ausencia de docentes formados en estas competencias ambientales. Por este motivo, integrar el CBL les permitiría dirigir debates sustentados y ser un guía apropiada y permanente para el alumno en aula.

[Araripe y Zeidler \(2024\)](#), aplicaron la estrategia CBL en metodologías docentes con el diseño de dos casos prácticos con el fin de examinar el uso excesivo de plásticos en productos infantiles y el impacto ambiental ocasionado por la cadena de producción y empaquetado de alimentos, colocando al estudiantado en situaciones reales y desarrollando en ellos competencias de pensamiento crítico, análisis sistémico y resolución de problemas. Como resultado, el alumno obtuvo una mejor comprensión del concepto multidimensional de la química, así como una mayor distinción entre soluciones técnicas inmediatas y enfoques más amplios de impacto ambiental, social y económico. Esto se muestra como un efecto positivo en la participación activa áulica, propiciando un entorno adecuado para debatir y reformular las ideas previas de manera constructiva.

Por otro lado, [Doddapaneni et al. \(2024\)](#), a través de una encuesta, evaluaron la conciencia ambiental a estudiantes preuniversitarios y observaron que la mayoría se preocupaba por el daño causado al medio ambiente producto de la actividad humana. En este ámbito, al docente le resulta difícil hacer uso del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) durante las clases de educación ambiental, debido a que este tipo de enseñanza requiere mucho más tiempo, esfuerzo y organización, puesto que sus labores incluyen desde la búsqueda de materiales y planeación de salidas a campo, hasta ayudar a los estudiantes a aplicar lo aprendido en situaciones reales. Esto, sumado a que los proyectos pueden ser impredecibles y cada estudiante tiene diferentes necesidades, hace que el trabajo del docente sea aún más complicado, especialmente cuando tienen que combinar este tipo de enseñanza con la tradicional, lo que aumenta la presión laboral y le genera estrés. Sin embargo, a pesar de estos



desafíos, y aunque la educación impartida en clases no es suficiente, en cierta medida contribuye a despertar la conciencia ambiental del estudiante.

En relación con lo anterior, [Kurul et al. \(2025\)](#) afirmó que la educación en química verde y química sostenible debe promover el desarrollo de mentalidades críticas, inter/transdisciplinarias y con pensamiento sistémico, con el objetivo de transformar los recursos humanos y los entornos institucionales hacia la sostenibilidad. Las salidas de campo dirigidas a estudiantes de secundaria vinculan los contenidos de química con problemáticas de sostenibilidad, como la degradación ambiental y los experimentos de química verde. La química no es normativa por sí misma; no obstante, el uso que hacemos de los compuestos químicos está determinado por los valores, principios éticos y comprensión de la sostenibilidad.

### Interdisciplinariedad y Sostenibilidad Curricular

Según la [OECD \(2023\)](#), el Education Policy Outlook National Survey 2023, los países tienden a priorizar más la adaptación curricular que el desarrollo de competencias aplicadas, con un 71% de los ministerios enfocándose en lo primero y solo un 46% en lo segundo. Por ello, las políticas educativas deben ir más allá de incluir contenidos sobre sostenibilidad en el currículo, en su lugar, es mejor fomentar experiencias prácticas que permitan a los estudiantes resolver problemas reales, trabajar colaborativamente y aplicar conocimientos interdisciplinarios.

Además, autores como [Jackson y Hurst \(2021\)](#), afirman que la incorporación del pensamiento sistémico en el plan de estudios otorga beneficios tanto para el estudiante como para el docente, facilitando una comprensión profunda del contenido del curso y promoviendo el desarrollo de habilidades interdisciplinarias mediante una estructura académica sólida, junto con métodos que integran contenidos interdisciplinarios en clase. Dentro de estos métodos, se utilizan algunas herramientas que han cobrado notoriedad en los campos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas durante la última década, como las simulaciones por computadora y el modelado de sistemas. Sin embargo, este enfoque aún no ha sido adoptado de forma generalizada, puesto que los modelos educativos convencionales siguen predominando en la enseñanza de la disciplina.

### Innovación Pedagógica y Uso de Tecnologías Digitales

La tecnología, en un contexto donde aparecen de forma constante nuevos métodos y desafíos educativos en la asignatura de química, es un elemento clave en la mejora de la calidad educativa, porque mejora de forma eficiente la relación del proceso de recepción de contenidos y la aplicación de los mismos a situaciones reales ([Manapova et al., 2025](#)).

Al respecto, [Araújo et al. \(2024\)](#) considera que la incorporación de la tecnología en la educación ha adquirido mayor importancia, consolidándose como un recurso esencial para fortalecer la enseñanza de la química. El uso de software educativo y simulaciones digitales permite representar procesos químicos en múltiples niveles: macroscópico, submicroscópico y simbólico, facilitando la comprensión de nociones abstractas y mejorando el desempeño de los estudiantes. A ello se suma el aporte de plataformas virtuales y sitios web, que, mediante recursos multimedia interactivos, modelos moleculares tridimensionales y propuestas de aprendizaje híbrido, enriquecen la experiencia educativa e integran a estudiantes con diversas necesidades, fomentando una enseñanza más accesible e inclusiva. Asimismo, el uso de computadoras, que permite explorar aplicaciones digitales, proyectar presentaciones, recopilar datos, y para evaluaciones. Por su parte, [Barreto-De Corona et al. \(2024\)](#) demostraron que, en el contexto digital educativo, las redes sociales son un recurso útil para el aprendizaje colaborativo y el intercambio de información, utilizándose como medio de divulgación científica de las prácticas de laboratorio realizadas en la asignatura de química en una escuela de República Dominicana, donde los estudiantes se mostraron más involucrados en las clases al trabajar los aspectos motivacionales de creatividad, posesión e influencia social, despertando mayor interés por la ciencia.

[Araujo et al. \(2024\)](#), identificaron que las universidades y escuelas necesitan más tiempo para incorporar y adaptar las TIC en su proceso de enseñanza y aprendizaje. En esa misma línea, los docentes también atraviesan una curva de adaptación, porque algunos de ellos mantienen posturas críticas o resistentes, posiblemente por escepticismo pedagógico y el apego a métodos tradicionales. Esto conlleva, en ciertos casos, a la exclusión digital, lo que evidencia la necesidad de formación docente en competencias tecnológicas para sus prácticas pedagógicas. Mientras en otros contextos educativos, se observan desafíos técnicos derivados de la ciberseguridad, la privacidad de los datos, las diferencias de sistemas y el acceso a internet.

[Chiu \(2021\)](#), analizó que después de la pandemia causada por la COVID-19, la forma de enseñanza cambió, acelerando el avance tecnológico y el desarrollo de la IA, lo que dio lugar al desarrollo de herramientas como las técnicas de seguimiento ocular, las analíticas de aprendizaje, la robótica, la realidad virtual y la realidad aumentada; generando una demanda de laboratorios virtuales,



simuladores y plataformas digitales para una enseñanza integral de la química en línea. Por este motivo, las herramientas virtuales se postulan como alternativas seguras, accesibles y rentables a los laboratorios físicos, ampliando el acceso a recursos de calidad para estudiantes en zonas remotas o con movilidad reducida. Esta medida favorece el aprendizaje a su propio ritmo, adaptando los contenidos y niveles de dificultad a las necesidades específicas de cada uno, y promoviendo el pensamiento crítico y analítico, habilidades esenciales para los profesionales de la química. En contraste, la enseñanza tradicional de esta disciplina enfrenta limitaciones económicas y técnicas en muchas instituciones educativas, debido a la elevada demanda de recursos necesarios para las prácticas de laboratorio, lo que repercute negativamente en la eficiencia del proceso de enseñanza-aprendizaje. Ante este panorama, las nuevas demandas educativas resaltan la necesidad de incorporar enfoques innovadores y herramientas digitales que contribuyan a cerrar esta brecha y a transformar la experiencia formativa en el ámbito de la química. No obstante, a pesar de la creciente demanda de competencias digitales, [Manapova et al. \(2025\)](#) afirman que en muchas escuelas aún no se ha llevado a cabo la modernización de la currícula educativa con metodologías y estrategias pedagógicas acordes a la realidad tecnológica actual.

Aunque la enseñanza de la química verde mediante la tecnología está orientada a impulsar la reducción del impacto ambiental, [Yáñez Romero \(2024\)](#) resaltan que se deben identificar y reconocer los desafíos y las preocupaciones ambientales que conllevan el uso de dispositivos electrónicos y tecnologías digitales, los cuales pueden ocasionar la contaminación del aire, el agua y el suelo, así como la generación de desechos electrónicos que contienen materiales tóxicos y peligrosos. Sumado a que el rápido avance tecnológico y la obsolescencia programada de estos dispositivos requiere reemplazarlos con mayor frecuencia, esto aumenta la presión sobre los recursos naturales y contribuye a la acumulación de desechos en vertederos y sitios de disposición final, puesto que se la producción y consumo con rapidez acarrea muchos desechos electrónicos.

## Conclusiones

Este artículo de revisión permitió identificar que la incorporación de la sostenibilidad en la enseñanza de la química representa una estrategia educativa fundamental para formar estudiantes con conciencia ambiental. La literatura analizada evidenció que enfoques como la química verde, el pensamiento sistémico, el aprendizaje basado en casos (CBL), y el uso de tecnologías digitales constituyen herramientas eficaces para conectar la enseñanza científica con los desafíos ambientales contemporáneos.

La química verde, se encarga de reducir el uso y la generación de sustancias contaminantes durante los procesos químicos; en su lugar, propone el uso de materias primas renovables y la creación de productos biodegradables. Asimismo, este enfoque se fundamenta en los 12 principios de Paul Anastas y Warner: prevención de la contaminación; economía atómica; síntesis química segura; diseño de productos químicos seguros; uso seguro de disolventes y auxiliares; eficiencia energética; uso de materias primas renovables; reducción de derivados; catálisis; diseño de productos biodegradables; análisis en tiempo real para la prevención de la contaminación; y prevención de accidentes.

La educación en química verde (ECV) fomenta la alfabetización científica en sostenibilidad ambiental y desarrolla las habilidades adecuadas para llevar a cabo los procesos

químicos sin dañar el medioambiente. Mientras, la educación química para la sostenibilidad es una enseñanza interdisciplinaria, colaborativa, experiencial y potencialmente transformadora a nivel social, ambiental y económica que promueve la educación como una herramienta para lograr una ciudadanía responsable.

El rol de la educación en química verde y la educación química para la sostenibilidad permite que la sociedad adopte valores éticos, pensamiento crítico y habilidades para actuar de forma responsable con el planeta. Por ello, es necesario que el estudiantado esté activamente involucrado en la transformación de su entorno y no sólo adquirir la teoría. Esto es motivo para que los modelos curriculares actuales tradicionales, se transformen hacia metodologías activas, interdisciplinarias, críticas y participativas como el aprendizaje basado en casos (CBL), el aprendizaje basado en proyectos (ABP), y el uso de tecnologías digitales y la integración del pensamiento sistémico.

También se hace énfasis en la implementación de la integración del pensamiento sistémico en la enseñanza de la química exige un giro metodológico que fomente en los estudiantes una reflexión crítica sobre el ciclo de vida de los materiales utilizados en los procesos químicos. Esto permitirá evaluar los efectos de las sustancias tanto en contextos sociales como ambientales.



El acceso a la tecnología digital como IA, laboratorios virtuales, simulaciones y recursos multimedia, fomentan la inclusión y mejoran el aprendizaje, especialmente en contextos con limitaciones de recursos pedagógicos. Sin embargo, es importante dar a conocer el uso responsable, dado el impacto que producen estas herramientas como son los residuos electrónicos

En este marco, se recomienda actualizar la currícula escolar y reforzar las estrategias que utilizan los docentes en favor de la sostenibilidad. Asimismo, profundizar en el análisis de las iniciativas internacionales expuestas en este estudio para replicar las buenas prácticas y estrategias pedagógicas en concordancia con la realidad educativa de las instituciones. Por último, se sugiere fomentar la investigación en estrategias sostenibles para la enseñanza de la materia de química contextualizadas a los países en desarrollo.

## Referencias

- Anastas, P. T., & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- Amoneit, M., Weckowska, D., Spahr, S., Wagner, O., Adeli, M., Mai, I., & Haag, R. (2024). Green chemistry and responsible Research and innovation: moving beyond the 12 principles. *Journal of Cleaner Production*, 484, 144011. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144011>
- Araripe, E., & Zeidler, V. G. Z. (2024). Advancing sustainable chemistry education: Insights from real-world case studies. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 9, 100436. <https://doi.org/10.1016/j.crqsc.2024.100436>
- Araújo, L. R., Simões Neto, J. E., Tenório da Silva, J. R. R., & Leite, B. S. (2024). Digital technologies in chemistry teaching in the journal Chemistry Education Research and Practice: An analysis through a systematic literary review [PDF]. *Latin American Journal of Science Education*, 11, 12001. [https://www.lajse.org/may24/2024\\_12001.pdf](https://www.lajse.org/may24/2024_12001.pdf)
- Ballesteros-Ballesteros, V., & Gallego-Torres, A. P. (2022). De la alfabetización científica a la comprensión pública de la ciencia. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, 14(26), e1855. <https://doi.org/10.22430/21457778.1855>
- Barreto-De Corona, L. A., Medina-Peralta, M., & Polanco, S. (2024). Uso de las redes sociales como recurso didáctico para la enseñanza de química en 5to de secundaria, República Dominicana. *Congreso Caribeño De Investigación Educativa*, 4, 103-108. <https://congresos.isfodosu.edu.do/index.php/ccie/article/view/1173>
- Chen, M., Jeronen, E., & Wang, A. (2020). What lies behind teaching and learning green chemistry to promote sustainability education? A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7876. <https://doi.org/10.3390/ijerph17217876>
- Chiu, W. (2021). Pedagogy of emerging technologies in chemical education during the era of digitalization and artificial intelligence: a systematic review. *Education Sciences*, 11(11), 709. <https://doi.org/10.3390/educsci11110709>
- Doddapanen, N., Lakshmegowda, Y. K., Aardhya, S., Rajashekar, R., Doolgindachbaporn, T., & Nagaraju, P. (2024). Environmental education, awareness and environmental ethics among pre-university students of Mysuru city, Karnataka, India. *World Journal of Environmental Biosciences*, 13(2), 13-20. <https://doi.org/10.51847/nBbI6XIU0H>
- Etzkorn, F. A., & Ferguson, J. L. (2022). Integrating Green Chemistry into Chemistry Education. *Angewandte Chemie International Edition*, 62(2). <https://doi.org/10.1002/anie.202209768>
- Fernández Mora, V., García Moro, F., & Gadea, W. (2021). Universidad y sostenibilidad. Límites y posibilidades de cambio social. *Revista De La Educación Superior*, 50(199), 1-26. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-27602021000300001&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-27602021000300001&script=sci_abstract)
- Franco Moreno, R. A., Reina Hernández, J. A., & Riveros Toro, C. M. (2020). Concepciones sobre química verde en profesores de química en formación inicial. *Noria Investigación Educativa*, 1(5), 94-108. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/NoriaIE/article/view/16507>
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education. <https://doi.org/10.22201/fesc.20072236e.2019.10.18.6>





Herranen, J., Yavuzkaya, M., & Sjöström, J. (2021). Embedding chemistry education into environmental and sustainability education: development of a didaktik model based on an eco-reflexive approach. *Sustainability*, 13(4), 1746. <https://doi.org/10.3390/su13041746>

Jackson, A., & Hurst, G. A. (2021). Faculty perspectives regarding the integration of systems thinking into chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(4), 855–865. <https://doi.org/10.1039/d1rp00078k>

Kurul, F., Doruk, B., & Topkaya, S. N. (2025). Principles of green chemistry: Building a sustainable future. *Discover Chemistry*, 2(68). <https://doi.org/10.1007/s44371-025-00152-9>

Manapova, S., Shaikhova, B., Kumarbekuly, S., Mikushina, I., & Afanasenkova, I. (2025). A set of online tools for teaching chemistry considering a systematic approach to the educational process. *International Journal of Innovative Research and Scientific Studies*, 8(1), 1363–1379. <https://doi.org/10.53894/ijirss.v8i1.4613>

Mendoza Ramos, H. J., Zambrano, B. A., & Góngora Cheme, R. (2025). Aplicación de la química verde en la educación y la reducción de contaminantes industriales: Un enfoque educativo sostenible. *Revista Generando*, 6(1), 4921–4936. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v6i1.632>

Naciones Unidas. (s. f.). *Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos*. Naciones Unidas. Recuperado el 22 de abril de 2025, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/education/>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (s.f.). *Education for sustainable development*. UNESCO. Recuperado el 17 de abril de 2025, de <https://www.unesco.org/en/sustainable-development/education>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2022). *Aprender por el planeta: Revisión mundial de cómo los temas relacionados con el medio ambiente están integrados en la educación*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380480>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2020). *Educación para el desarrollo sostenible: Hoja de ruta*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374896>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2023). *Education Policy Outlook 2023: Empowering all learners to go green*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/f5063653-en>

Pino, A. L. (2024). Evaluación de una metodología de enseñanza-aprendizaje en química verde. *Educación Química*, 35(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.87434>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2024). *Specialized manual on green and sustainable chemistry education and learning*. <https://www.unep.org/resources/report/specialized-manual-green-and-sustainable-chemistry-education-and-learning>

Van Cauwenberghe, C. (2024). The vital role of sustainable chemistry. *Open Access Government*, 390–391. <https://www.openaccessgovernment.org/article/the-vital-role-of-sustainable-chemistry/182467/>

Widyantoro, C., Han, J. Y., Ong, J. S. H., Goh, K. H., & Fung, F. M. (2025). Teaching sustainability through green chemistry: An experiential learning approach. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01476>

Yáñez Romero, M. (2024). Integración efectiva de las TIC en la enseñanza de química: Estrategias innovadoras para la docencia universitaria. *Revista Social Fronteriza*, 4(2), e181. [https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4\(2\)181](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(2)181)

Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: Perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23, 1594–1608. <https://doi.org/10.1039/DOGC03313H>