



¹Universidad Adventista de Chile. Universidad Continental. Huancayo, Perú. linfante@continental.edu.pe

²Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Ica, Perú. miriam.vilca@unica.edu.pe

³Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. rmendivelg@unmsm.edu.pe

⁴Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma. Tarma, Perú. dhurtado@unaat.edu.pe

⁵Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia. Pucallpa, Perú. ehuanang@unia.edu.pe

*Autor para correspondencia: linfante@continental.edu.pe

Recibido: 11/06/2024. Última revisión: 09/10/2024. Aceptado: 21/10/2024.

Integración de la química verde en el currículo educativo: un enfoque sostenible

Resumen

La educación es uno de los principales Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para avanzar en los cambios que requiere la humanidad. El objetivo del presente artículo es estudiar la integración de la química verde en el currículo educativo como un mecanismo para avanzar en el desarrollo sostenible. Metodológicamente, el estudio consistió en una revisión teórica de diversas fuentes bibliográficas que abordan la importancia de cambiar el diseño curricular en los diferentes niveles educativos de las naciones. Los hallazgos apuntaron a que existe una necesidad de realizar transformaciones educativas para fortalecer el desarrollo de los principios de la química verde que contribuyan al cuidado del ambiente y a generar una conciencia social para dar respuesta a los desafíos de la sostenibilidad. Entre las conclusiones más importantes se encuentra que la química verde se ha venido integrando en diversos campos universitarios; sin embargo, se requiere aumentar su difusión y aplicación en otros niveles educativos para fortalecer el enfoque de la sostenibilidad en el desarrollo de una sociedad comprometida con el bienestar de las generaciones futuras.

Palabras clave: currículo educativo; enfoque sostenible; química verde.

Integrating green chemistry into the educational curriculum: A sustainable approach

Abstract

Education is one of the main Sustainable Development Goals (SDG) to advance in the changes required by humanity. The objective of this article is to study the integration of green chemistry in the educational curriculum as a mechanism for the development of the sustainable approach. Methodologically, the study consists of a theoretical review of various bibliographic sources in which the importance of changes in the curricular design of educational levels in nations is highlighted. The findings pointed out that there is a need to insert educational transformations to advance in the development of the principles of green chemistry, contributing to the care of the environment and social awareness to respond to the challenges of sustainability. Among the most important conclusions we highlight that integration has been developing in various university fields. However, it is necessary to increase its dissemination and application in other educational levels to strengthen the focus of sustainability in the development of a society committed to the well-being of future generations.

Keywords: Educational curriculum; sustainable approach; green chemistry.

Integrando a química verde no currículo educacional: uma abordagem sustentável

Resumo

A educação é um dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para avançar nessas mudanças que a humanidade exige. O objetivo deste artigo é estudar a integração da química verde no currículo educacional como mecanismo para promover o desenvolvimento sustentável. Metodologicamente, o estudo consiste em uma revisão teórica de diversas fontes eletrônicas que destacam a importância de mudanças no desenho curricular dos níveis educacionais nas nações. Os achados indicaram que há necessidade de inserir transformações educacionais para avançar no desenvolvimento dos princípios da química verde, contribuindo para o cuidado com o meio ambiente e a consciência social para responder aos desafios da sustentabilidade. Entre as conclusões mais importantes está que a integração tem vindo a desenvolver-se em vários campos universitários, no entanto, é necessário aumentar a sua divulgação e aplicação noutros níveis educativos, para reforçar o foco na sustentabilidade no desenvolvimento de uma sociedade comprometida com o bem-estar das futuras gerações.

Palavras-chave: currículo educacional; abordagem sustentável; química verde.



Introducción

En el campo de la química, las prácticas educativas que insisten en la protección del ambiente cada día se hacen más apremiantes. La química verde ha sido un área de estudio cuyas bases y principios se han incorporado al campo educativo de un modo interdisciplinario, que cambia según los avances del conocimiento y según las normativas y acuerdos internacionales. Por ejemplo, el enfoque sostenible implica un cambio en la visión de las prácticas para el desarrollo de una química verde responsable y conectada con una nueva conciencia social. De tal modo, a través de la química verde se fortalece el desarrollo humano porque, sin dejar de lado la búsqueda de un crecimiento económico equitativo para las grandes mayorías, se pretende alcanzar niveles satisfactorios de bienestar, salud y educación sin lesionar o vulnerar al medio ambiente.

Las necesidades formativas basadas en la implementación de los contenidos de la química verde y la generación de experiencias productivas constituyen un reto para cada nación. Además, son una oportunidad para desarrollar nuevos conocimientos que tengan en cuenta la conservación de recursos y la protección del entorno que nos rodea. Esto se debe a que, al integrar principios de la química verde en la educación, se promueve un aprendizaje activo y contextualizado que conecta la teoría y la práctica. Los estudiantes no sólo adquieren habilidades y competencias científicas, también desarrollan un sentido de responsabilidad ética con el medio ambiente. Alcanzar la integración de la química verde en el currículo educativo no sólo proporciona a los estudiantes conocimientos técnicos sobre prácticas químicas sostenibles, sino que también fomenta un pensamiento crítico sobre el uso de recursos y la gestión de residuos. Este enfoque educativo puede transformar la manera en que las futuras generaciones perciben y abordan los problemas ambientales.

La química ha sido fundamental al introducir numerosos productos esenciales para la humanidad. No obstante, para mejorar la calidad de vida presente y futura, es urgente desarrollar nuevas metodologías [1]. En la actualidad, uno de los principales desafíos para los químicos es satisfacer las demandas de la sociedad y disminuir el impacto ambiental que tiene el desarrollo de nuevos productos. Por lo tanto, el propósito fundamental de la química verde o sostenible es establecer los principios para la síntesis y aplicación de productos y procesos químicos que reduzcan o eliminen completamente el uso y producción de materiales que vulneren al medioambiente. Los 12 principios de la química verde son fundamentales para promover una educación sostenible y un futuro más ecológico. Estos principios, desarrollados por Paul Anastas y John Warner, buscan minimizar el impacto ambiental de los procesos químicos y pueden integrarse en la enseñanza de la química.

Tal como lo afirman Prado [2] y Oliveira y da Silva [3], los principios de la química verde promueven un desarrollo continuo en los ámbitos científico, tecnológico y social que minimiza el impacto ambiental. Esto implica adoptar nuevas prácticas químicas que optimicen los procesos, que busquen reducir la generación de residuos y efluentes tóxicos, que eviten el uso de disolventes nocivos, que empleen materias primas biodegradables y que disminuyan la emisión de gases perjudiciales para el medio ambiente. El objetivo del presente trabajo es estudiar la integración de la química verde en el currículo educativo como un mecanismo para fortalecer la sostenibilidad.

Materiales y métodos

La metodología aplicada para el desarrollo investigativo sobre la integración de la química verde en el currículo educativo se estructuró en dos fases claramente definidas. En la primera fase se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de publicaciones en plataformas digitales especializadas en química verde y sus principios. Esta búsqueda incluyó artículos científicos, libros, informes internacionales y artí-

culos de prensa en idioma español. La revisión se limitó a los documentos con una antigüedad no mayor a seis años a partir del 2024 y nos aseguramos de que las fuentes fueran relevantes y estuvieran actualizadas. Sin embargo, se seleccionaron tres artículos por fuera de este periodo porque se consideró que contenían información relevante y vigente sobre el tema de investigación.

En la segunda fase se vincularon las publicaciones recopiladas relacionadas con el tema de currículo educativo. Se descartaron aquellas que no estuvieran relacionadas con iniciativas de formación y planificación en química y sostenibilidad. En la **tabla 1** se presenta la metodología utilizada para identificar cada paso del recorrido investigativo. Se incluye el método utilizado, el proceso de búsqueda de información y las fases empleadas. A partir de este proceso, se seleccionaron 30 referencias que permitieron un análisis detallado de los hallazgos relacionados con la integración de la química verde en el currículo educativo desde una perspectiva sostenible.

Tabla 1. Presentación de la metodología. Elaboración propia.

Pasos de la investigación	Descripción
Método	Se utilizó un enfoque cualitativo y se realizó un análisis temático para extraer patrones o esquemas que permitieran comprender la orientación de las publicaciones consultadas.
	Se realizó un análisis de contenido y una revisión sistemática de las referencias seleccionadas.
Proceso de búsqueda de información	Bases de datos utilizadas en la búsqueda: Scopus, Web of Science, Google Scholar y Latindex.
	Los términos de búsqueda utilizados fueron "química verde", "currículo educativo", "sostenibilidad", "Objetivos de Desarrollo Sostenible" y "enfoque sostenible". Se utilizaron los operadores booleanos "AND" y "OR" para facilitar la búsqueda.
Fases	Búsqueda inicial: se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas y plataformas digitales a partir de términos relacionados con "química verde", "currículo educativo" y "sostenibilidad". Esta búsqueda se limitó a publicaciones del periodo 2018-2024 para asegurar la relevancia y actualidad de la información. Sin embargo, se seleccionaron tres artículos por fuera de este periodo porque se consideró que contenían información relevante y vigente sobre el tema de investigación.
	Criterios de inclusión: se consideraron artículos revisados por pares, libros académicos, informes internacionales y artículos de prensa que abordaran la química verde y su integración en la educación.
	Criterios de exclusión: se descartaron publicaciones que no estuvieran directamente relacionadas con el currículo educativo o que no presentaran iniciativas claras sobre la formación en química y sostenibilidad.
	Revisión crítica: las publicaciones seleccionadas fueron sometidas a una revisión crítica para evaluar su calidad, relevancia y contribución al tema.
	Selección final: de las publicaciones revisadas, se eligieron 30 referencias que ofrecían una visión integral sobre la inclusión de la química verde en el currículo educativo desde un enfoque sostenible.

Para el proceso de selección de las referencias de la investigación, se realizó una evaluación del contenido a 67 fuentes relacionadas con el tema de la integración de la química verde en el currículo educativo. Se evaluaron aspectos como la variedad, relevancia y científicidad de los documentos. Los criterios utilizados para evaluar cada referencia incluyen la autoridad del autor y la credibilidad de la publicación, es decir, que se encontraran en revistas académicas

indexadas en bases de datos reconocidas por su científicidad y que contribuyeran al tema de investigación. Además, se evaluaron aspectos como la exactitud del contenido, es decir, que las afirmaciones de las fuentes estuvieran respaldadas por datos verificables y que existieran citas adecuadas para sustentar los argumentos presentados. A partir de los anterior, se eligieron las 30 fuentes más representativas que se exponen a continuación en la **tabla 2**:

Tabla 2. Evaluación de la calidad de las fuentes seleccionadas. Elaboración propia.

Referencia	Año	Calidad	Relevancia	Observaciones
[1]	2024	Alta	Alta	Aborda cómo las calconas pueden ser utilizadas en la enseñanza experimental y, de esa manera, promover prácticas sostenibles en química orgánica.
[2]	2003	Alta	Alta	Analiza los desafíos de la química verde y enfatiza la necesidad de un cambio significativo en la práctica química para abordar problemas ambientales críticos. Uno de los principales desafíos es la conciencia y aceptación de tecnologías limpias en lugar de los métodos tradicionales que generan residuos tóxicos y contaminantes. Otro desafío importante es la implementación de principios de sostenibilidad en la industria química.
[3]	2003	Alta	Alta	Introduce el concepto de economía atómica y explica cómo su uso fomenta la innovación en el desarrollo de nuevos métodos y tecnologías que sean más sostenibles. De esta forma, se prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la industria química y promueve prácticas que benefician tanto al medio ambiente como a la sociedad.
[4]	2020	Alta	Alta	Proporciona un enfoque sistémico sobre la química verde, ideal para integrar en el currículo educativo.
[5]	2019	Alta	Alta	Explora las concepciones sobre química verde entre futuros profesores, esencial para entender su implementación educativa.
[6]	2023	Alta	Alta	Presenta estrategias para integrar principios de química verde en laboratorios universitarios, muy relevante para su implementación en la educación superior.
[7]	2023	Media	Media	Ofrece información general sobre la importancia de la química verde en la industria. Es útil, pero tiende a ser más descriptivo y orientado a la práctica que analítico. Se centra en información general sobre los beneficios y aplicaciones de la química verde, pero no profundiza en teorías.
[8]	2020	Alta	Alta	Proporciona un marco teórico sobre diseño curricular que puede ser aplicado para la enseñanza de la química verde.
[9]	2019	Alta	Alta	Presenta métodos para enseñar conceptos de química verde sin disolventes y promueve prácticas sostenibles en el laboratorio.
[10]	2024	Alta	Alta	Analiza cómo se incorpora la educación para el desarrollo sostenible en los currículos educativos actuales.
[11]	2024	Alta	Alta	Explica qué es la química verde. Resulta útil para el público general.
[12]	2023	Alta	Alta	Aborda la ambientalización curricular desde una perspectiva crítica, esencial para entender su integración educativa.
[13]	2020	Alta	Alta	Proporciona directrices globales sobre educación para el desarrollo sostenible, es fundamental para contextualizar el estudio.
[14]	2023	Alta	Alta	Examina cómo los docentes apropian el concepto de desarrollo sostenible, es relevante para entender su implementación educativa.
[15]	2020	Alta	Alta	Informe clave sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Proporciona un marco global que respalda la importancia de integrar la sostenibilidad en la educación.
[16]	2019	Alta	Alta	Relaciona los ODS con acciones sociales y ambientales, es importante para contextualizar iniciativas educativas sostenibles.
[17]	2024	Alta	Media	Artículo de opinión que introduce técnicas como la eliminación de disolventes. Se alinea con el principio de prevención de residuos, la eficiencia energética de la química verde, las reacciones a temperatura ambiente, el uso de catalizadores selectivos, la reducción en el consumo de energía y la minimización de subproductos tóxicos. Tiene un enfoque que está en línea con el principio de economía atómica.
[18]	2023	Media	Media	Proporciona la definición básica de qué es un currículo. Aporta contenido generalizado sobre química verde y sostenibilidad educativa.

Referencia	Año	Calidad	Relevancia	Observaciones
[19]	2020	Alta	Alta	Aborda algunos problemas presentes en los currículos universitarios peruanos.
[20]	2020	Alta	Alta	Muestra una investigación-acción cooperativa que involucra a docentes. Es relevante para las prácticas educativas efectivas en sostenibilidad.
[21]	2020	Media	Alta	Es un artículo informativo sobre un evento en el que se consideraron temas importantes para la química verde tales como la educación ambiental, las innovaciones sostenibles y la formación de ciudadanos responsables que pueden ser agentes de cambio, lo cual es uno de los objetivos de la química verde.
[22]	2023	Alta	Alta	Define lo que es un currículo verde. Es esencial para establecer un marco conceptual claro en el estudio.
[23]	2023	Alta	Alta	Examina la dimensión ambiental en educación superior, es crucial para entender cómo se puede integrar sostenibilidad en currículos actuales.
[24]	2021	Alta	Media-Alta	Analiza propuestas curriculares chilenas. Aporta una perspectiva regional interesante, en la cual se busca incluir los 12 principios de la química verde que fomentan la reducción de residuos, el uso de materias primas renovables y la minimización de la toxicidad en los procesos químicos; sin embargo, la experiencia no es generalizable a otros contextos educativos.
[25]	2019	Media-Alta	Media-Alta	Contextualiza la sostenibilidad en universidades españolas, donde se promueve una conciencia ambiental y se integra la sostenibilidad en el entorno educativo. Buscan incorporar principios de sostenibilidad en sus currículos, lo que es fundamental para formar a futuros químicos que entiendan y apliquen los conceptos de la química verde.
[26]	2022	Alta	Alta	Presenta perspectivas docentes sobre sostenibilidad en educación superior. Es esencial para entender barreras e impulsores para su implementación.
[27]	2023	Media	Media	Columna de opinión que ofrece una visión sobre sostenibilidad.
[28]	2020	Media-Alta	Media-Alta	Estudio sobre currículos centrados en sostenibilidad. Es relevante, aunque podría incluir más ejemplos prácticos o estudios comparativos actuales.
[29]	2011	Alta	Alta	Aunque es un texto teórico, es importante porque aporta temas de interés para el estudio. El autor analiza los 12 principios de la química verde, que son directrices esenciales para el diseño de procesos químicos más sostenibles.
[30]	2017	Baja	Alta	Estudio específico que aborda temas relevantes para la química verde como la contribución que tiene a la educación. Enfatiza en la necesidad de incorporar conceptos relacionados a la química y la sostenibilidad. También se encuentra el tema de la aplicación de los principios de la química verde para prevenir los residuos y el uso de materias primas renovables.

Química verde

La química tradicional se ha caracterizado por ser muy invasiva y peligrosa para los entornos naturales y el bienestar humano. La química verde, también conocida como sostenible u orgánica, busca hallar novedosas maneras de sintetizar sustancias para generar una química más inocua, benigna y amigable con la salud y el medio ambiente. Es relevante resaltar que Paul Anastas es considerado el padre fundador de la química verde porque la definió hacia fines del siglo XX como “el diseño, desarrollo e implementación de productos y procesos que reducen o eliminan el uso y generación de sustancias peligrosas para la salud humana o el medio ambiente” [4]. Su propósito central fue evitar posibles inconvenientes, relacionados con afectaciones a la salud humana y al medio ambiente, con antelación para no tener que buscarles una solución después. Este criterio sugiere una actitud previsiva que requiere menor inversión financiera, de tiempo y de esfuerzo, y que busca reducir o extinguir el empleo y producción de sustancias tóxicas.

En otro estudio académico se definió la química verde como un campo que busca la reducción de contaminantes, desde cationes y aniones hasta pesticidas y colorantes, que son dañinos para el ambiente, pues desde fines del siglo XIX se busca tener un equilibrio adecuado entre el ser humano y su entorno [2]. Esta postura busca revertir la opinión sesgada que se maneja a nivel social sobre la química, sus procesos y el impacto medio ambiental que genera en el

espacio industrial y en la cotidianidad. Además, este enfoque está dispuesto para maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales renovables y proteger su existencia para asegurar el progreso equilibrado entre el medio ambiente y la humanidad. Así pues, la educación, la ciencia y la tecnología son necesarias para la construcción del conocimiento y la difusión de los valores éticos necesarios que reclaman los nuevos tiempos, en los que los criterios sostenibles y la conciencia medioambiental son aspectos predominantes.

En tal sentido, la química verde, desde la perspectiva planteada, constituye un proyecto innovador que permitirá economizar y preservar de un modo más racional y equilibrado los recursos medioambientales. En ese sentido, “los principios de la química verde son un conjunto de recomendaciones/sugerencias/reglas a implementar con el fin de reducir el impacto ambiental causado por actividades humanas. Su aplicación a nivel de laboratorio permite reducir el consumo de recursos (agua, energía, reactivos), los riesgos inherentes a las prácticas y la generación de residuos” [3]. Este proyecto reclama, sin lugar a dudas, un cambio en el currículo educativo que permita posicionar la nueva y revolucionaria visión de la química desde un enfoque sostenible, debido a que la educación representa un mecanismo para la transformación actitudinal y el cambio científico y tecnológico.

No obstante, existe cierto grado de renuencia al cambio que genera esta transformación porque se trata de una conversión paradigmá-

tica que implica la modificación de la lógica prevaleciente, tanto en los agentes sociales como en los actores del sector económico y académico. La nueva visión se basa en que “la química eleva nuestro nivel de vida de varias maneras, desde proporcionar fertilizantes y agroquímicos para aumentar nuestro suministro de alimentos y facilitar una mejor nutrición, hasta permitir una mayor limpieza y una gran cantidad de tratamientos que aumentan la esperanza y la calidad de vida” [4]. Esta visión trastoca el sector productivo (economía), el estilo de vida, los patrones de consumo, la ciencia, la tecnología, la educación, los modos de relacionamientos entre las personas y entre ellas y el entorno natural.

En el ámbito industrial se desconfiaba de la posibilidad de la química verde para lograr mejoras en los procesos, por lo que tomó cierto tiempo comprender y asimilar “la implicancia de esta innovadora propuesta, así como diferenciar el término verde de los movimientos políticos ecologistas, para comprender que las ventajas económicas, sociales y medioambientales podían lograrse simultáneamente” [1].

A propósito de la química verde, Paul Anastas y Jhon Warner establecieron en 1998 unos postulados que sirvieron de pauta para la aplicación práctica de la química verde o sostenible [5] ante el inocultable e inminente daño que provoca la química tradicional al medio ambiente y a la salud humana. Para una mejor comprensión de esta investigación, estos postulados se han resumido de la siguiente manera:

Principio 1. Prevención en lugar de tratamiento

Este postulado es el más importante de todos los que se mencionarán a continuación, debido a que el incumplimiento de este principio ha causado una gran cantidad de daños, desequilibrios ecológicos y perjuicios a la sanidad humana. A propósito, es más beneficioso, económico e inteligente prevenir la generación de sustancias peligrosas que tratar sus efectos una vez que ya han causado perjuicios.

Principio 2. Economía atómica

El postulado central de este principio es que los procesos económicos deben formularse de un modo en el que en el producto final se maximice la incorporación de todos los materiales utilizados durante el proceso. Del mismo modo que el principio de prevención, la economía atómica, como precepto, aprecia el desarrollo de una reacción química por su eficiencia y no por criterios de rendimiento, los cuales regularmente no tienen en cuenta ni la utilización ni la producción de sustancias indeseables que se originan en cualquier reacción de síntesis.

Principio 3. Síntesis de toxicidad reducida

Los métodos de síntesis deben emplearse para producir componentes químicos que contengan escasa o ninguna toxicidad para el ser humano y para el entorno natural. Desde la perspectiva de la química verde o sostenible es fundamental suprimir, o al menos disminuir, la probabilidad de que ocurran daños derivados de la exposición a productos químicos o a la liberación de contaminantes en el medio ambiente. Estos daños pueden afectar la flora y fauna, así como la calidad del aire, agua y suelo. Si se tiene en cuenta el principio de la prevención, esto es algo que se debe tener en cuenta desde el comienzo de los procesos de producción de componentes.

Principio 4. Productos seguros

Con este principio se toma en cuenta otra etapa del ciclo de vida de un producto: el momento cuando es utilizado. Los productos deben ser diseñados de manera que conserven su eficacia y, a la vez, sea mínima su toxicidad. Este postulado demanda evaluar el impacto a largo plazo de las sustancias químicas sobre la sociedad y el medio ambiente. Para tal fin, son necesarios abordajes multidisciplinarios desde el comienzo del diseño molecular que disminuyan la posibilidad de que ocurra un daño a futuro.

Principio 5. Reducción de sustancias auxiliares

Las sustancias auxiliares, sobre todo los solventes, son fundamentales para los procesos químicos debido a que, si se prescindiera de estas, serían inejecutables muchos procedimientos vinculados con la producción de sustancias químicas. Cabe destacar que muchos de estos solventes son conocidos por sus efectos perniciosos para la salud y el ecosistema, por lo que sólo deberán emplearse en las operaciones donde son estrictamente imprescindibles.

Principio 6. Eficiencia energética

Como bien se conoce, los procesos industriales o de transformación tienen costos económicos y ambientales muy elevados. Por lo tanto, con el objetivo de evaluar su impacto en el entorno natural, se debe considerar tanto la energía utilizada en la producción como su origen. La eficiencia energética debe estimar y aminorar sus impactos económicos y medioambientales.

Principio 7. Materias primas y energías renovables

El uso irracional de los recursos naturales como materia prima no podrá sustentarse en el futuro inmediato, sobre todo si se considera la imposibilidad de reposición inmediata de los mismos. Además de ocasionar un elevado costo ambiental para las actuales generaciones, el consumo desmedido e irracional de los recursos naturales pone en riesgo su disponibilidad para las generaciones futuras. En este sentido, siempre que exista la posibilidad se deben emplear materias primas renovables. Para ello, y para optimizar la sostenibilidad en la química verde, es necesario considerar particularidades relacionadas con la agroindustria y la agricultura tales como la selección de cultivos adecuados, la implementación de tecnologías sostenibles, el análisis de los mercados para asegurar una demanda viable y la evaluación de los costos y beneficios económicos asociados a estas prácticas.

Principio 8. Reducción de derivados

Los derivados son agentes químicos o sustancias que se utilizan para proteger la parte sensible de una molécula con el fin de que un producto químico adquiera una propiedad determinada o sea formulado de una forma definida. Dichos derivados son conocidos también como grupos de bloqueo, protección o agentes de modificación temporal de procesos físico-químicos.

Principio 9. Potenciación de la catálisis

De acuerdo con este postulado, es necesario el uso de catalizadores que puedan ser reutilizables en lugar de los reactivos estequiométricos que se aplican comúnmente de manera desproporcionada, en una sola oportunidad y que, además, generan residuos. En cambio, un catalizador no altera la estabilidad química y no es consumido por las reacciones que cataliza; además, son muy selectivos, se pueden utilizar en pequeñas cantidades y son susceptibles de ser reutilizados.

Principio 10. Productos biodegradables

La biodegradabilidad es una característica de algunos compuestos que los hace proclives a ser degradados por microorganismos. Según esta propuesta, los productos químicos, al momento de diseñarse, deben considerar cómo van a ser dispuestos una vez que hayan sido utilizados y desechados. En tal sentido, lo esencial es diseñar productos químicos biodegradables e inoocuos tanto para el medio ambiente como para la sanidad humana.

Principio 11. Monitoreo en tiempo real

Este principio implica el control meticuloso de los procedimientos químicos en tiempo real. Esto es fundamental para una acción segura, eficiente y con un mínimo de residuos. Para la concreción de este propósito se requiere de una participación multidisciplinaria de químicos, ingenieros, ambientalistas y otros profesionales que

comparten el objetivo común de optimizar y emplear las técnicas y tecnologías disponibles. En este sentido, el monitoreo en tiempo real se orienta a producir sustancias químicas de forma segura y, de tal modo, resguardar al entorno natural y a las personas de los riesgos propios de la producción y de las condiciones físicas en las que las sustancias químicas son empleadas. Además, este tipo de control evita la producción de residuos, permite utilizar de modo eficiente el agua y la energía, garantiza la calidad del producto y elimina costos adicionales.

Principio 12. Prevención de accidentes

Es de suma importancia el conocimiento y la capacitación, tanto de los operarios de la industria química como de la sociedad en general, acerca de los riesgos particulares de cada sustancia química, de cómo actuar en caso de accidente y toda aquella información que al respecto resulte importante. Por esta razón, es mejor evitar el uso o la generación de compuestos que potencialmente evolucionen con violencia, causen quemaduras o cualquier otro tipo de infortunios en la industria. En tal sentido, se estima que la concientización, la capacitación y el conocimiento sean estrategias provisorias que contribuyan al cumplimiento de este principio de la química sostenible.

Una vez esbozados y analizados estos principios de la química verde u orgánica, se puede afirmar que estos giran en torno a la prevención. Por lo tanto, la educación, la cual se vincula con el conocimiento, la concientización y la capacitación del individuo en la sociedad, cumple un papel trascendental para alcanzar la sostenibilidad. En este sentido, la química sostenible, expresada a través de estos doce principios, aparte de afianzar el pensamiento de su fundador, vaticina un cambio sustancial en la forma como la ciencia viene enunciando “los nuevos planteamientos químicos y las innovadoras rutas de síntesis de las sustancias: implicando el diseño, transformación y aplicación de los procesos implicados en su producción para la disminución o eliminación del empleo o emisión de sustancias tóxicas” [6]. Es por ello que se afirma que la química verde es una conversión, una transformación y un cambio filosófico y cultural.

Enfoque sostenible

La sostenibilidad es un movimiento a nivel mundial que se ha trazado metas bien definidas para garantizar la vida de las generaciones futuras. Por ejemplo, “la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) es una meta a alcanzar para la próxima Agenda 2030. El logro de los 17 ODS será por medio de la educación. Las políticas educativas y el desarrollo curricular serán quienes respondan a esta necesidad definiendo en sus principios nuevas prácticas y actitudes que encaminen hacia sociedades más sostenibles” [7]. Asumir un enfoque sostenible requiere considerar la Agenda 2030 sobre los ODS, aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas.

Esta perspectiva, de un modo general, está orientada a garantizar “las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, siempre sin renunciar a la protección del medio ambiente, el crecimiento económico y el desarrollo social” [8]. La postura de este enfoque sostenible, entre otras cosas, modifica radicalmente la lógica del pensamiento dominante actual porque replantea los hábitos de vida, la forma como la sociedad concibe el progreso y cómo se vincula con sus semejantes y con el medio ambiente. De acuerdo con esto, “así se ve la sustentabilidad como un nuevo modo de comprender la realidad, donde no exista una ruptura entre la naturaleza y la sociedad, considerando el manejo y cuidado de los recursos conscientes de que son finitos la ética ambiental como norma para una sociedad sustentable” [9]. En tal sentido, la sostenibilidad como punto de vista es un cambio cultural que permite a las sociedades guiar y promover cambios en las maneras de conducir o gestionar el área social, el área económica y el área medioambiental.

El ascenso del paradigma sostenible es una invitación a reflexionar acerca de la forma en que se viene desarrollando la vida misma con sus dinámicas, modos de producción y hábitos de consumo. La sostenibilidad considera ajustar el comportamiento y el quehacer diario a los ritmos y límites que impone el planeta Tierra. La educación desde un enfoque sostenible “implica un proceso de aprendizaje permanente y una parte integral de la educación de calidad que mejora las condiciones cognitivas, socioemocionales y conductuales del aprendizaje” [10]. Las afirmaciones anteriores permiten constatar que “la educación para el desarrollo sostenible (EDS) constituye un medio esencial para lograr mejor calidad de vida, se ratifica la importancia de incorporarla en todos los niveles y campos de la educación, la formación y el aprendizaje” [11], especialmente desde la formación en el campo de la química verde.

Según lo expuesto por Ruiz [8], la sostenibilidad puede clasificarse en:

- Sostenibilidad ambiental: implica la gestión eficiente de los recursos naturales en la actividad productiva, lo cual permitirá su preservación para la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones. Es necesario acotar que este género de sostenibilidad está orientado a la preservación de la biodiversidad sin menoscabar el desarrollo económico y social.
- Sostenibilidad económica: reclama el uso de prácticas económicamente rentables y responsables, tanto desde el punto de vista social como del medioambiental. En tal sentido, se interpreta que debe prevalecer un criterio de equilibrio en dicho ejercicio al momento de satisfacer las distintas necesidades.
- Sostenibilidad social: está orientada a fortalecer la cohesión y la estabilidad de las poblaciones y su desarrollo vital. Pretende adoptar valores colectivos que permitan generar una identidad compartida, unos comportamientos favorables hacia el medio ambiente, educación, concienciación y capacitación.

Ahora bien, para el alcance y desarrollo de la sostenibilidad, las Naciones Unidas, en el año 2015, diseñaron y aprobaron los ODS, los cuales son diecisiete en total: 1) Pobreza; 2) Hambre cero; 3) Salud y bienestar; 4) Educación; 5) Igualdad de género; 6) Agua; 7) Energía asequible y no contaminante; 8) Trabajo decente; 9) Industria, Innovación e infraestructura; 10) Reducción de las desigualdades; 11) Ciudades y comunidades sostenibles; 12) Consumo responsable; 13) Acción por el clima (cambio climático); 14) Vida marina; 15) Ecosistemas terrestres; 16) Paz, justicia e instituciones sólidas; y 17) Alianzas [12]. Dichas metas están configuradas para ofrecer a los países un marco referencial para la actuación y la intervención social y ambiental.

De este modo, la sostenibilidad y su despliegue requieren “el impulso de movimientos sociales, la organización de las instituciones, la elaboración de la ciencia y la tecnología y la negociación de compromisos entre quienes se preocupan por el medio ambiente, la economía y los aspectos sociales” [13]. Es precisamente en este contexto de la sostenibilidad donde se genera la integración de la química verde en el currículo educativo, puesto que este género de química transversaliza de modo importante los ODS. De manera que “la química verde se ha convertido en una disciplina clave para abordar los desafíos ambientales y promover la sostenibilidad en la industria química y múltiples actividades productivas a través del uso de procesos y productos más amigables con el medio ambiente” [14]. Esto impacta en el bienestar, la salud, la educación, la innovación, el agua, la energía limpia, la industria, la infraestructura, el consumo responsable, la vida marina, el cambio climático, los ecosistemas y muchos otros aspectos.

Currículo educativo

La definición del currículo permite comprender su alcance y dimensión para introducirnos en la temática del currículo educativo desde un enfoque sostenible. De acuerdo con el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española, el término “currículo” proviene del latín *curriculum*, que significa “carrera”, y lo define como “plan de estudios” y como el “conjunto de estudios y prácticas destinadas a que el alumno desarrolle plenamente sus posibilidades” [15]. Por ejemplo, al hacer referencia al contexto educativo en Perú, “existen algunas fortalezas que podrían ser aprovechadas y potenciadas, entre ellas, la disposición de la gran mayoría de instituciones universitarias al cumplimiento de los marcos normativos y procedimentales que regulan el proceso de actualización del currículo y su reconocimiento en los estándares de acreditación nacional e internacional” [16]. Dicha actualización puede orientarse hacia la garantía de mantener desde el currículo una planificación educativa con un enfoque sostenible para promover la protección ambiental y las buenas prácticas en el área de la química.

Ahora bien, los cambios curriculares desde un enfoque sostenible exigen programas de formación, no sólo para los estudiantes sino también para el profesorado, con una institucionalidad proactiva. A su vez, “el apoyo y liderazgo institucional debe crear una comunidad de aprendizaje donde se identifiquen buenas prácticas existentes, se promueva el intercambio de recursos educativos y se disponga de apoyo y orientación por parte de expertos y facilitadores” [17]. Al respecto, “todo currículo debe responder a las exigencias de la época, así como el desarrollo integrado del conocimiento científico que lo caracteriza, y el impacto que estos cambios tienen en la sociedad” [5]. Las nuevas tendencias educativas exigen un currículo adaptado a los nuevos tiempos, que proteja los ecosistemas y que esté en beneficio de la salud humana.

Algunos investigadores han reportado que “los docentes y gestores académicos deben tomar conciencia de la necesidad de un modelaje completo de los nuevos egresados porque hasta el momento los estudiantes siguen viendo el área de sustentabilidad ambiental como aislada o independiente de otras áreas necesarias para el ejercicio profesional” [18]. La UNESCO ha formulado una terminología llamada “Currículos verdes”, la cual “integra la mitigación del cambio climático y la adaptación al mismo en la enseñanza y el aprendizaje desde los niveles preescolar, primario, secundario y superior, así como en la formación del profesorado. Hace hincapié en las interconexiones entre el medio ambiente, la economía y la sociedad, implicando a los estudiantes en todos los ámbitos cognitivos, socioemocionales y de comportamiento para inspirar la acción en favor de la sostenibilidad” [19]. En este sistema de interrelaciones, los contenidos manejados en el currículo se suman en favor de la sostenibilidad ambiental.

Las naciones, desde sus políticas educativas, deben promover una adaptación curricular donde converjan la protección de los derechos humanos y el cuidado ambiental. Es así que “el sistema educativo debe evolucionar estableciendo pedagogías participativas y una transformación de los objetivos y contenidos de aprendizaje que ayuden a la ciudadanía a tomar conciencia de los desafíos a nivel global y local, reflexionando y actuando bajo los principios de la sostenibilidad” [7]. El desarrollo de competencias básicas orientadas hacia el desarrollo sostenible debe preparar a las nuevas generaciones.

Es necesaria una sociedad global para proteger el ambiente desde el fortalecimiento de un currículo sostenible en áreas como la química verde. Además, “para generar un saber ambiental hay que tener en cuenta una interpretación sistemática de la realidad bajo un enfoque interdisciplinar” [20]. Esto exige una reforma educativa, con demandas sociales beneficiosas para consolidar prácticas sostenibles en la formación básica y profesional. Con respecto a esto, “la recon-

textualización de los objetivos y metas de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible a la realidad del país se revela como una prioridad para alcanzar competencias democráticas que permitan a la futura ciudadanía participar, activamente, en la toma de decisiones de este plan de Naciones Unidas” [21]. Este currículo debe abordar las dimensiones del desarrollo sostenible de la mano con los contenidos de la química verde y con otras disciplinas que puedan fortalecer estos componentes curriculares. A propósito, se resalta una transformación impulsada desde la sostenibilidad. En dicha transformación, “la educación es la encargada de proporcionar herramientas a los educandos para poder dar respuesta a estos nuevos desafíos sociales. El sistema educativo debe evolucionar estableciendo pedagogías participativas y transformadoras que favorezcan a la ciudadanía a tomar conciencia de los retos que se presentan a nivel global y local y actuando bajo los principios de la sostenibilidad” [7]. Esta evaluación debe estar centrada en los valores del ser humano y su compromiso con el planeta.

Resultados

De acuerdo con la revisión sistemática realizada, se pudieron establecer los principales rasgos de la química verde:

- Su desarrollo desde la industria química procura aminorar o suprimir las sustancias peligrosas que impactan nocivamente la salud humana y el medio ambiente. Por consiguiente, está centrada en atenuar el peligro que implican estas sustancias durante su ciclo de vida.
- Se sustenta en las interrelaciones entre producción y sociedad o producción y medio ambiente. En este sentido, la generación de la química verde busca generar y establecer un equilibrio en su vinculación con el entorno natural y los grupos humanos.
- Hace uso de una perspectiva sistémica puesto que comprende las materias primas, el proceso productivo, el uso del producto y la disposición final de las sustancias una vez cumplen su ciclo.
- Si las sustancias y los procesos químicos son diseñados de una manera segura y benigna, serán necesarios menos controles para mitigar los riesgos.
- Tiene carácter preventivo debido a que se fija en el diseño de los procesos, las reacciones químicas, las condiciones de reacción y el análisis de la toxicidad para los seres vivos del producto generado.
- Posee un carácter multidisciplinario y se conecta con otros campos disciplinares como la ecología, toxicología, ciencias ambientales, la ingeniería, las ciencias sociales, la psicología ambiental, la comunicación, la educación y otros más.

Estos rasgos también permiten orientar los 12 principios sujetos a revisión propuestos por Anastas y Warner [5], que pueden verse en el esquema de la **figura 1**.

Es necesario promover una química verde comprometida con un enfoque sostenible y que pueda servir de referente para reestructurar los programas curriculares y educativos. Es posible aplicar los fundamentos de la química verde en la educación desde una transformación curricular que impulse el desarrollo sostenible en beneficio del medio ambiente y las generaciones futuras. Para ello, se requiere del compromiso de todos los involucrados en el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales con el fin de alcanzar la transformación educativa en ámbitos y niveles específicos de todas las naciones.

Discusión

En primer lugar, Lopes, Carlos y Echavarría destacan la importancia de utilizar calconas, que son compuestos conocidos por su capacidad de cambiar de color en respuesta a cambios en el Ph o en la concentración de ciertas sustancias, en la enseñanza experimental [1].

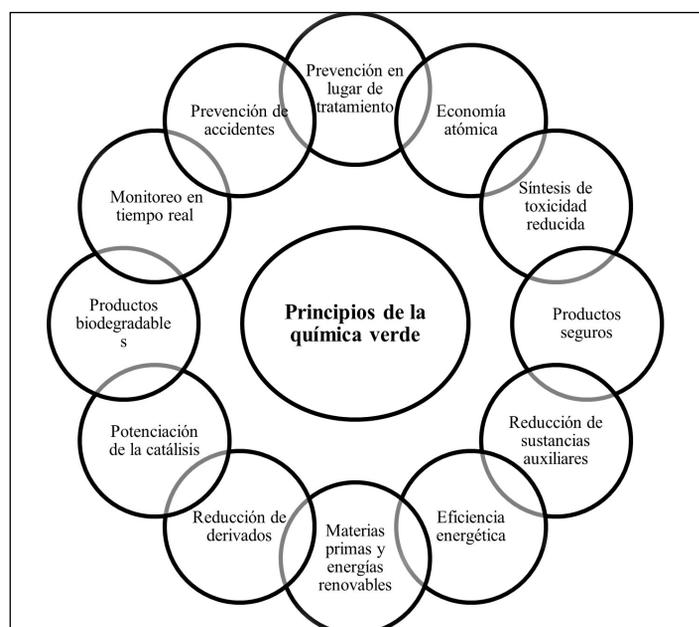


Figura 1. Principios de la química verde con base en los postulados de Anastas y Warner [5].

Esto promueve un enfoque práctico hacia la química verde y permite a los estudiantes experimentar con compuestos que reflejan los principios de sostenibilidad. Lo anterior se alinea con las observaciones de Franco, Reina y Riveros Toro, quienes analizan las concepciones de los futuros docentes sobre la química verde y sugieren que una formación sólida en este ámbito es fundamental para su implementación efectiva en el aula [5]. Ambas fuentes subrayan la necesidad de que los educadores estén bien informados y capacitados para transmitir estos conceptos a sus estudiantes. De acuerdo con esto, es posible crear un ciclo positivo de aprendizaje y aplicación.

Con respecto a esto, el trabajo de Delgadillo, Castellanos, Ramírez y Gómez sobre la ambientalización curricular refuerza esta perspectiva al señalar que la integración de principios de sostenibilidad en el currículo no debe ser superficial, sino que debe estar sustentada en un entendimiento profundo del impacto ambiental de las prácticas químicas [12]. La UNESCO, a través de su Declaración de Aichi-Nagoya sobre la EDS [13] y otros documentos recientes, enfatiza que la EDS es esencial para formar ciudadanos responsables y conscientes de su relación con el medio ambiente. Esto resuena con las ideas presentadas por Carvajal-Suárez y Moreno-Flores, quienes argumentan que la dimensión ambiental debe ser un componente central del currículo universitario. Lo anterior implica que los programas educativos deben evolucionar para incluir enfoques más sostenibles y responsables [23].

Asimismo, la química verde, como se visualiza dentro del currículo sostenible, debe contar con un área interdisciplinaria y en constante revisión de los avances y cambios en el saber científico, pues la realidad mundial vive en un constante dinamismo que exige adaptarse a él. Esto coincide con quienes exponen que “la química verde es la ciencia que busca desarrollar procesos y productos químicos que sean amigables con el medioambiente, promoviendo la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad” [8]. Las estadísticas indican que “hay 350.000 productos químicos en el mercado mundial. Sin la química, la vida sería imposible, pero superar los límites de su uso hará inviable el sistema terrestre” [8]. Esto supera los pronósticos establecidos y da cuenta de la necesidad de acelerar las acciones para aminorar el impacto de estas sustancias a partir de buenas prácticas. Como se visualiza en diversos estudios, “la química está a nuestro alrededor y contribuye significativamente a casi todos los aspectos de la vida. Según el Chemical Industry Journal, el PIB del sector contribuye a la producción económica mundial por una suma de alrededor de 5,7 billones de dólares” [4]. A partir de lo anterior,

se puede notar su importancia y la atención prioritaria que merece en la economía global.

En el marco del desarrollo educativo a través de un enfoque sostenible, se resalta la necesidad de un cambio social. Esto puede comprobarse en estudios universitarios, entre los cuales se reafirma que “mientras las universidades avanzan creando estructuras transversales que facilitan la incorporación de la sostenibilidad en los campus, diseñan titulaciones con competencias específicas y establecen redes y alianzas interuniversitarias para la sostenibilidad, surge el reto de incorporar la sensibilidad y los principios de la sostenibilidad a toda la formación disciplinar” [22]. Se resaltan iniciativas a nivel mundial que acogen los principios de la química verde y socializan sus avances: “la industria química, los gobiernos, la academia y las organizaciones no gubernamentales han tomado diferentes medidas para enfrentar el reto de la interfase entre la química y la sustentabilidad” [31]. Entre ellas se encuentran diversas leyes y convenios internacionales encaminadas a la regulación de los productos y procesos químicos. Es decir, todos los esfuerzos van en concordancia con lo expuesto en los ODS.

Lograr la sensibilización ambiental y la formación de nuevos profesionales desde un currículo sostenible requiere de un cambio del paradigma social, lo cual coincide con lograr una nueva praxis educativa diferenciada del enfoque tradicional por competencias. “A diferencia de un enfoque competencial, se argumenta que los cursos específicos de sostenibilidad fragmentan la realidad, resultando en una base inapropiada para la toma de decisiones en temas sociales, económicos, medioambientales y culturales, de manera sistémica” [23]. Esto reitera la necesidad de una transformación educativa a nivel de políticas y programas educativos vigentes. La relevancia del tema se argumenta en esta y otras investigaciones: “no basta sólo que esta iniciativa académica esté en los planes de estudio de los diversos programas académicos y que exista una interrelación entre ellos con perspectiva interdisciplinar, se requiere del desarrollo de actividades en el día a día de la comunidad académica” [24]. Es decir, se trata de impulsar un cambio de conciencia en los formadores y la población capacitada en los espacios educativos formales.

El encuentro de saberes en diversas organizaciones emerge como un factor importante y recurrente. Es un elemento de cohesión en el campo educativo que supera los intereses del capital, lo cual es manifestado en investigaciones a través de hallazgos que afirman, por ejemplo, que “la innovación basada en la sostenibilidad se ha convertido en una prioridad para reducir la huella ecológica general de esos países” [25]. Esto se confirma como parte de la formación ciudadana y los cambios que exige la Agenda 2030 para el redimensionamiento educativo mundial.

Conclusiones

La investigación ha demostrado que la incorporación de la química verde en los planes de estudio no sólo es viable, sino que también es esencial para preparar a los estudiantes para enfrentar los desafíos ambientales actuales. Además, durante el estudio de la integración de la química verde en el currículo educativo como mecanismo para el desarrollo del enfoque sostenible, se puede concluir que la integración se ha venido desarrollando en diversos campos universitarios; sin embargo, se requiere aumentar su difusión y aplicación en otros niveles educativos para fortalecer el enfoque de la sostenibilidad en el desarrollo de una sociedad comprometida con el bienestar de las generaciones futuras.

Un área como la química, que representa un saber científico amplio, puede integrarse desde la interdisciplinariedad del saber científico, lo cual contribuye con el avance de los beneficios de la química verde en el desarrollo formativo para una nueva conciencia social. De tal modo, se necesita de una transformación que impacte significa-

tivamente las formas de pensar desde el acto educativo, orientado por un currículo basado en el interés de mejorar las actuales prácticas que, de manera reflexiva, buscan solucionar los problemas que surgen y afectan la vida del ser humano y su sistema de relaciones con el medio ambiente.

Finalmente, es importante destacar que los hallazgos encontrados en la investigación respaldan el objetivo planteado: la integración de la química verde en el currículo educativo es no sólo necesaria, sino también un paso esencial hacia el desarrollo sostenible en la educación. Se aporta evidencia importante que señala que las instituciones educativas tienen un papel fundamental en promover prácticas sostenibles y formar ciudadanos responsables. Estos enfoques convergen en la necesidad de una educación que no sólo imparta conocimientos teóricos, sino que también fomente habilidades prácticas y una conciencia crítica sobre el impacto ambiental de las actividades químicas.

Referencias

- [1] M. F. Lopes, P. Carlos y A. Echevarria, "Las calconas en la enseñanza de la química orgánica experimental en el contexto de la química verde", *Química Nova*, vol. 47, nro. 5, pp. 1-5, 2024. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20240007>
- [2] A. G. S. Prado, "Química verde, los desafíos de la química del nuevo milenio", *Química Nova*, vol. 26, nro. 5, pp. 738-744, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000500018>
- [3] L. M. Oliveira y R. A. da Silva, "Inclusión del concepto de economía atómica en el programa de un curso de química orgánica experimental", *Química Nova*, vol. 26, nro. 5, pp. 779-781, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000500025>
- [4] A. Pino, *Química Verde Enfoque Sistémico*, 1era Edición, Santa Fe, Ediciones UNL, 2020.
- [5] R. Franco, R. C. Reina y C. M. Riveros Toro, "Concepciones sobre química verde en profesores de química en formación inicial", *Revista Noria Investigación Educativa*, vol. 1, nro. 5, pp. 94-108, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14483/25905791.16507>
- [6] D. Prato y R. Moreno, "Introducción de los principios de la química verde a los procesos de enseñanza en laboratorios universitarios", *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería EIEI ACOFI 2023*, Cartagena de Indias, 2023. DOI: <https://doi.org/10.26507/paper.2792>
- [7] CHEMWATCH, "Importancia de la química verde y sostenible en la industria química", 2023. [En línea]. Disponible en: <https://chemwatch.net/es/blog/importance-of-green-and-sustainable-chemistry-in-the-chemical-industry/> [Último acceso: 30/05/2024].
- [8] J. Ruiz, *Teoría del currículum: Diseño, desarrollo e innovación curricular*, Madrid, Editorial Universitas S. A., 7.º edición, 2020.
- [9] A. Losada, "Reacciones libres de disolventes como una forma de exponer los conceptos de química verde", tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia – Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías, Neiva-Huila, Colombia, 2019.
- [10] M. Guardoño y L. Monsalve, "Educación para el desarrollo sostenible en el currículum de España e Irlanda", *Universidad y Sociedad*, vol. 16, nro. 1, pp. 30-44, 2024. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202024000100030
- [11] BBVA, "¿Qué es la química verde?: Un aliado para la seguridad del planeta", 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/la-quimica-verde-un-aliado-para-la-seguridad-del-planeta/>. [Último acceso: 01/06/2024].
- [12] A. Delgadillo, J. Castellanos, L. Ramírez y A. Gómez, "Ambientalización curricular: el concepto", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, nro. 5, pp. 1760-1781, 2023. DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.7842
- [13] UNESCO, "Declaración de Aichi-Nagoya sobre la educación para el desarrollo sostenible", en *Conferencia Mundial Aichi-Nagoya*, Okayama, 2020.
- [14] I. Silvera, S. Guerra y J. Olivo-Franco, "Apropiación del concepto de desarrollo sostenible por parte del profesorado de una escuela normal", *Ciencias Ambientales*, vol. 57, nro. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.57/1.5>
- [15] ONU, *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*, Ginebra, 2020.
- [16] D. Rodrigo-Cano, M. Picó y G. Dimuro, "Los Objetivos de Desarrollo Sostenible como marco para la acción y la intervención social y ambiental", *Retos*, vol. 9, nro. 17, pp. 25-36, 2019. <https://doi.org/10.17163/ret.n17.2019.02>
- [17] K. Freund Ruf, "La química Verde 2. Un enfoque interesante es el uso de técnicas de síntesis en flujo continuo", *El comercio*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/opinion/quimica-verde-kurt-freund-columnista-2.html>. [Último acceso: 26/12/2024].
- [18] Diccionario de la Lengua Española, "Currículo", 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/curr%C3%ADculo> [Último acceso: 02/06/2024].
- [19] E. Villalaz-Castro y P. Medina-Zuta, "El currículo universitario peruano: aspectos complejos", *Maestro y Sociedad*, nro. especial 1, pp. 121-136, 2020. <https://maestrosociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/5184>
- [20] G. Cebrián, "La educación para el desarrollo sostenible en el currículum universitario: una investigación-acción cooperativa con profesorado", *Revista iberoamericana de educación superior*, vol. 11, nro. 30, pp. 99-114, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2020.30.590>
- [21] El Ucabista, "El desarrollo sostenible como elemento del currículo universitario se abordó en III Jornadas del CIDI", 2020. [En línea]. Disponible en: <https://elucabista.com/2020/07/14/el-desarrollo-sostenible-como-elemento-del-curriculo-universitario-se-abordo-en-iii-jornadas-del-cidi/> [Último acceso: 03/06/2024].
- [22] UNESCO, "¿Qué es un currículo verde?", 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.unesco.org/es/education-sustainable-development/greening-future/curriculum> [Último acceso: 02/06/2024].
- [23] F. A. Carvajal-Suárez y J. L. Moreno-Flores, "Dimensión ambiental y el desarrollo sostenible en el currículo de la educación superior", *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, vol. 3, nro. 4, pp. 29-36, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8428458>
- [24] A. Berríos-Villaroel, R. Orellana-Fernández y L. Bastías-Bastías, "Desarrollo sostenible y currículo chileno de enseñanza secundaria: ¿Qué proponen los programas escolares?", *Revista electrónica Educare*, vol. 25, nro. 1, pp. 1-23, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.15359/ree.25-1.18>
- [25] A. Gelly, L. Collazo y I. Mulà, "Contexto y evolución de la sostenibilidad en el currículum de la universidad española", *Educación Ambiental y Sostenibilidad*, vol. 1, nro. 1, pp. 1-18, 2019. DOI: https://doi.org/10.25267/Rev_educ_ambient_sostenibilidad.2019.v1.i1.1102
- [26] F. Vera, "La perspectiva de docentes sobre la infusión de la sostenibilidad en el currículo de la educación superior", *Revista electrónica Transformar*, vol. 3, nro. 2, pp. 17-37, 2022. <https://www.revistatransformar.cl/index.php/transformar/article/view/57>
- [27] H. Castilla, "Sostenibilidad en currículos y clases", 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ascun.org.co/educacion-superior/columna-de-opinion-sostenibilidad-en-curriculos-y-clases/>. [Último acceso: 02/06/2024].
- [28] N. Young, "La prevalencia de los currículos centrados en la sostenibilidad en las instituciones de Enseñanza Superior", tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales ICADE, Madrid, 2020.
- [29] M. F. Suárez, *Electroquímica física e interfacial: una aproximación teórica*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2011.

[30] F. Amaya García *et al.*, “Dolabellane diterpenes from the Caribbean soft corals *Eunicea laciniata* and *Eunicea asperula* and determination of their anti HSV-1 activity”, *Rev. Colomb. Quím.*, vol. 46, nro. 1, pp. 5–12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v46n1.62830>

[31] M. del C. Doria Serrano, “Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente”, *Educ. quim.*, vol. 20, nro. 4, pp. 412–420, 2009. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30044-2)

Citación del artículo:

L. de J. Infante Rivera, M. Vilca Arana, R. K. Mendivel Gerónimo, D. R. Hurtado Tiza y E. Huamán Gómez, “Integración de la química verde en el currículo educativo: un enfoque sostenible”, *Rev. Colomb. Quím.*, vol. 53, nro. 1, pp. 3–12, 2024. DOI: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v53n1.114986>