

**LA EDUCACIÓN EN QUÍMICA VERDE EN IBEROAMÉRICA: ESTUDIO
DOCUMENTAL DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA (2018-2025)**

LUISA MARÍA AVENDAÑO SUÁREZ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
Mayo de 2026**

**LA EDUCACIÓN EN QUÍMICA VERDE EN IBEROAMÉRICA: ESTUDIO
DOCUMENTAL DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA (2018-2025)**

LUISA MARÍA AVENDAÑO SUÁREZ

Código: 2018215006

**Trabajo de grado I presentado como requisito para optar por el título de
Licenciada en Química**

Director: Dr. Ricardo Andrés Franco Moreno

Codirector (para siempre): Mg. Royman Pérez Miranda

Grupo de investigación EduQVersa

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, DEPARTAMENTO DE
QUÍMICA**

PROGRAMA DE LICENCIATURA EN QUÍMICA

BOGOTÁ, D.C.

Mayo de 2026

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico inicialmente a mi familia, quienes han sido mi soporte incondicional, el faro en los momentos de incertidumbre y la fuerza constante que me impulsó a culminar esta meta; gracias por su paciencia, su amor y por creer en mí en cada paso de este camino.

A mi hija Antonia, el motor de mi vida, mi mayor inspiración y la razón diaria para superarme; espero que este logro sea un ejemplo para tu futuro y un recordatorio de que con amor y perseverancia los sueños se alcanzan.

A los directores de este trabajo, el Dr. Ricardo Andrés Franco Moreno y en especial al Mg. Royman Pérez Miranda quien durante el tiempo que compartimos en el desarrollo de actividades curriculares y extracurriculares, dio ejemplo del cómo y para qué se educa, gracias a las posturas críticas y analíticas propuestas en charlas de pasillo y en los espacios del semillero EduQVersa, permitieron culminar una etapa fundamental en mis estudios académicos. Mi más sincero agradecimiento y en el lugar que te encuentres agradezco todo el apoyo y la ayuda dada durante mi formación y las enseñanzas dejadas para la vida.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1. JUSTIFICACIÓN.....	10
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
3. OBJETIVOS	12
3.1. Objetivo General.....	12
3.2. Objetivos Específicos	12
4. MARCO DE REFERENCIA.....	13
4.1. Antecedentes.....	13
4.2. Fundamentos conceptuales	14
5. METODOLOGÍA.....	24
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	27
7. CONCLUSIONES	63
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS	72

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista revistas especializadas	25
Tabla 2. Caracterización de artículos en revistas especializadas.....	28
Tabla 3. Número de artículos por revista.	40
Tabla 4. País de origen de los autores.	41
Tabla 5. Publicaciones por año	42
Tabla 6. Criterios de clasificación de los artículos.....	43
Tabla 7. Publicaciones por idioma	44
Tabla 8. Menciones de química verde.....	45
Tabla 9. Clasificación de los artículos.....	46
Tabla 10. Tendencias educativas, pedagógicas y didácticas.	50
Tabla 11. Estudio de citaciones y referencias con enfoque en química verde.	54
Tabla 12. Idioma de las referencias citadas en los artículos.....	59
Tabla 13. Revistas citadas.	60

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Cantidad de artículos por revista. Elaboración propia.....	40
Gráfica 2. Cantidad de artículos por año. Elaboración propia.	42
Gráfica 3. Cantidad de artículos por idioma. Elaboración propia.	44
Gráfica 4. Secciones de los artículos donde se hace alusión a la QV. Elaboración propia.....	45
Gráfica 5. Cantidad de artículos por clasificación. Elaboración propia.	46
Gráfica 6. Tendencias educativas. Elaboración propia.....	51
Gráfica 7. Tendencias pedagógicas.	52
Gráfica 8. Tendencias didácticas. Elaboración propia.	53
Gráfica 9. Referencias por idioma. Elaboración propia.	60
Gráfica 10. Cantidad referencias por revista. Elaboración propia.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Línea del tiempo de la química verde.	18
Figura 2. 12 principios de la química verde. Elaboración propia, a partir de (Anastas & Warner, 1998; Zacconi, et. al., 2024).	21

INTRODUCCIÓN

La presente propuesta consiste en realizar un análisis documental acerca de los avances en la producción de investigaciones con enfoque en química verde en el ámbito de la educación científica, publicadas en revistas iberoamericanas de investigación en didáctica de las ciencias experimentales durante el periodo 2018-2025.

El problema de investigación se centra en la determinación de aquellas áreas temáticas y principales tendencias académicas en las que se han realizado aportes educativos con enfoque en química verde, en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales, en el periodo ya mencionado. De igual manera, se problematiza si estos aportes responden a las necesidades de contextualizar la química y de preparar ciudadanías con conciencia y responsabilidad ambiental.

La investigación en didáctica de las ciencias experimentales, cuyas publicaciones tienen un ámbito propicio para su difusión en revistas iberoamericanas, da cuenta de que los estudios en el ámbito de la educación en química verde han venido mostrando un avance significativo (Franco & Ordóñez, 2020). Sin embargo, al revisar políticas y orientaciones normativas a nivel curricular para la enseñanza de la química en Colombia, las alusiones a perspectivas de química verde o sustentable aún no se han dado.

El objetivo principal de este proyecto de investigación monográfico es establecer el progreso y desarrollo del conocimiento sobre el enfoque de química verde en el marco de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales, durante el periodo mencionado, así como las principales temáticas que se están abordando en este campo, a partir del criterio de las publicaciones realizadas en revistas científicas.

Los aportes van en dirección de acrecentar el conocimiento sobre las tendencias investigativas acerca del enfoque de química verde, en función de consolidar la formación de profesores de ciencias en su etapa inicial, de la comunidad y, en especial, hacia un fortalecimiento del grupo de investigación Educación en Química Verde, Energías Alternativas y Sustentabilidad Ambiental (EduQVersa) de la Universidad Pedagógica Nacional.

A nivel de los referentes conceptuales estructurantes del proyecto, por una parte, el desarrollo histórico de la química verde se enmarca en la preocupación global por los impactos ambientales de la industria química y el surgimiento del movimiento ambientalista moderno. Linthorst (2010) identifica tres periodos clave en su evolución. El primero, situado entre los años 1960 y 1990, se caracterizó por la publicación de *Primavera silenciosa*, de la científica estadounidense Rachel Carson (1962). Esta obra evidenció los efectos nocivos sobre el ambiente de los productos químicos empleados como agroquímicos y fertilizantes, a saber: DDT, clordano, dieldrín, heptacloro y aldrín, entre otros. A raíz de ello, a principios de la década de 1970, se creó la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en Estados Unidos, la cual impulsó políticas de regulación ambiental y orientó sus esfuerzos hacia la prevención de la contaminación. Posteriormente, en 1990, se aprobó la *Ley de Prevención de la Contaminación* y se crearon programas como los premios presidenciales, los cuales buscaron incentivar a la industria, lo que consolidó las bases para la formulación de procesos más limpios.

Durante el segundo periodo (1993–1998), la EPA promovió la creación de redes de colaboración con industria y academia, y la química verde se estructuró con la publicación de los doce principios en el primer manual de química verde, escrito por los químicos estadounidenses P. Anastas y J. Warner (1998). Estos postulados establecieron las directrices para el diseño de procesos químicos más seguros, eficientes y sostenibles. Posteriormente, N. Winterton (2001) formuló los denominados doce principios como complemento a los ya existentes.

En relación con el planteamiento metodológico, se emplean técnicas desde una investigación mixta en cuanto a las perspectivas cuantitativas y cualitativas. Este enfoque facilita el tratamiento documental de los datos, lo que permite identificar la cantidad de producción académica en las diferentes revistas especializadas para, posteriormente, realizar los análisis, caracterizar y dar cuenta de los aportes de los distintos artículos, desde los puntos de vista educativo, pedagógico y didáctico. En tal sentido, se espera que en el periodo 2018-2025 haya un aumento considerable de la producción académica relacionada con la vinculación del enfoque de química verde en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales y, en correspondencia, se amplíen las áreas temáticas a desarrollar.

1. JUSTIFICACIÓN

A raíz de los diferentes problemas ambientales que se presentan durante la segunda mitad del siglo XIX y todo el siglo XX, se concibió la química verde y se hizo necesario implementar diversas acciones en la industria y en la legislación ambiental, que contribuyeran a mitigar los impactos causados por procesos químicos asociados a la actividad industrial. Esto ha permitido el desarrollo teórico que, a su vez, ha favorecido el diseño de procesos químicos más amigables con el ambiente en entornos industrializados (Reyes, 2012).

Los avances teóricos e industriales vinculados a la química verde constituyen un marco de referencia que posibilita nuevas aproximaciones en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales, particularmente en la formación de futuros profesores de química desde una perspectiva ecociudadana (Zacconi, et. al., 2024). En consecuencia, se plantea la necesidad de que, desde la educación superior, la enseñanza de la química se estructure a partir de un enfoque pedagógico y didáctico orientado hacia una sustentabilidad ambiental.

En ese marco, dichos avances teóricos plantean la necesidad de una transformación conceptual para el campo de la didáctica de las ciencias experimentales. En este sentido, resulta pertinente indagar acerca de los aportes realizados por la comunidad de investigación en didáctica de las ciencias experimentales, orientados a promover las transformaciones conceptuales requeridas para una enseñanza de una química con enfoque de sustentabilidad ambiental.

Para determinar esos aportes, se considera necesario llevar a cabo una indagación en las principales fuentes de publicación de investigación en didáctica de las ciencias experimentales, en particular las revistas especializadas en este campo. De acuerdo con lo expuesto, se plantea la realización de un análisis documental de la producción académica sobre didáctica de las ciencias experimentales con un énfasis en química verde, publicada en revistas iberoamericanas durante el periodo 2018-2025. Este análisis tiene como propósito establecer el progreso y desarrollo del conocimiento en este campo, así como reconocer las tendencias temáticas abordadas por la comunidad investigadora en didáctica de las ciencias.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de los problemas ambientales surgidos a mediados del siglo XIX y la crisis ambiental del siglo XX, expresada, entre otros referentes, a través de la publicación del libro *Primavera silenciosa* de Rachel Carson en 1962, algunas entidades gubernamentales han fomentado leyes y normas internacionales que mitigan los impactos ambientales derivados de la industria (Linthorst, 2010). Junto con estas medidas institucionales (públicas y privadas) e industriales, se han realizado múltiples trabajos académicos que propiciaron la estructuración de los doce principios de la química verde como una guía de diseño de productos y procesos químicos. Esto ha facilitado la creación de conceptos y herramientas que compatibilizan el progreso científico y la aplicación de la química con la optimización de su interacción con el ambiente.

Aun así, la implementación de la química verde en la formación de profesionales licenciados y no licenciados en química y áreas afines, por ende, en la industria química en un país como Colombia, es apenas incipiente y requiere un mayor desarrollo (Olarte, 2022), lo que hace imperiosa una mayor atención en la formación en química de dichos profesionales (Machado, 2011).

Por otro lado, la química verde tiene un gran alcance que no solo abarca la química a nivel teórico, sino también la química aplicada, lo que permite que en el aula pueda enseñarse una química orientada a procesos cotidianos, favoreciendo la integración de dichas perspectivas. Además, se han detectado dificultades, provocando desinterés y actitudes negativas de los estudiantes hacia las ciencias en general, lo cual se relaciona con los modelos de enseñanza tradicional de las ciencias, que se encuentran totalmente descontextualizados del interés mundial (Lemke, 1997). En ese marco, la química verde responde al sentido de la educación de formar ciudadanos con conciencia y responsabilidad ambiental y para esto es necesario que la implementación se trabaje desde la formación de docentes que son los encargados de preparar a los futuros profesionales (Franco & Ordóñez, 2020).

La educación es clave para la socialización e implementación efectiva del enfoque de química verde, ya que además de la investigación y la producción en esta área es necesario formar a las siguientes generaciones de químicos en esta metodología y en los conceptos asociados a la química verde (González et. al., 2016), esto implica que además de los conceptos habituales que se han integrado a la enseñanza de la química, se tengan en cuenta otros elementos asociados, donde el docente en química cuenta con un papel protagónico, debido a que desde su saber y su campo de acción puede implementar discursos, métodos y técnicas, que encaminen a los ciudadanos a construir una sociedad ambiental y económicamente sustentable.

En tal sentido, la formulación del problema se orienta desde la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las áreas temáticas y tendencias académicas principales en las que se han realizado publicaciones sobre educación en química verde, en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales, en el periodo: 2018-2025 en Iberoamérica?

3. OBJETIVOS

3.1.Objetivo General

Establecer las áreas temáticas y tendencias académicas principales de publicaciones iberoamericanas sobre educación en química verde, en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales en el periodo: 2018-2025.

3.2.Objetivos Específicos

- 3.2.1.** Identificar publicaciones relacionadas con la educación en química verde, en el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales en Iberoamérica.
- 3.2.2.** Caracterizar las metodologías, áreas temáticas, tendencias académicas, tipologías de producciones, entre otros aspectos, de las publicaciones acerca del enfoque de química verde, a través de un estudio documental de aproximación bibliométrica.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Antecedentes

Los antecedentes se construyeron a partir de una búsqueda estructurada de referentes en bases de datos, revistas científicas especializadas y repositorios. La documentación se clasificó inicialmente mediante una ficha de tematización documental de artículos, trabajos de grado y otras tipologías de documentos relevantes para el estudio, los cuales se relacionan como sigue:

C.A. Marques y A. Machado (2018) realizan un trabajo de revisión documental centrado en aspectos claves de la apropiación de la química verde como herramienta para ejecutar un cambio de paradigma en la enseñanza de esta disciplina. Los autores hacen un recorrido desde el surgimiento de este enfoque hasta su incorporación en el ámbito educativo, priorizando la adquisición de habilidades orientadas en el desarrollo sostenible (DS), la sostenibilidad ambiental (SA), la educación para el desarrollo sostenible (EDS) y el enfoque ciencia, tecnología y sociedad (CTS). En dicho marco, se propone que, al aplicar estas estrategias, se pueden implementar en cuatro modelos, cada uno con una finalidad específica, los cuales son: Modelo 1: química verde aplicada a la experimentación; Modelo 2: adición de estrategias de sostenibilidad a la enseñanza de la química; Modelo 3: uso de temas polémicos de DS con enfoque CTS; Modelo 4: educación en química como parte de un proyecto escolar para el DS.

Lo anterior permite retomar trabajos anteriores de análisis documentales realizados en el campo de la química verde, en donde se toma desde 1995 hasta el 2011 abordando un examen riguroso en textos publicados en las revistas *Journal Chemistry Education* (JCEd) y *Green Chemistry* esto con el fin de realizar un análisis de categorización del tipo de publicaciones y bajo que aspectos se enfocaba las publicaciones recopiladas se plantearon nueve categorías de importancia las cuales son Divulgación (D), Educación (E), Experimentos de Demostración (ED), propuestas de experimentos de laboratorio de Química Analítica (LA), General (LG), Inorgánica (LI) y Orgánica (LO), Métricas (M) y Reseña de libros (R).

Para el desarrollo de la investigación se excluyó la categoría Reseña de libros (R), pues se consideró irrelevante para la indagación de propuestas de enseñanza en la química verde. Esto se debió a que su carácter es puramente informativo, descriptivo o de opinión editorial, por lo que carece de la estructura de una propuesta didáctica. Se calculó que se disponía de aproximadamente 116 artículos para este estudio; sin embargo, en el texto original no se especifica el cómputo total de los documentos realmente empleados. De estos, se obtuvo como resultado que un 82% (95 artículos) describían demostraciones y actividades experimentales en química verde (clases ED, LA, LG, LI y LO). Por su parte, solo 32 trabajos (es decir, el 28%) poseían características de divulgación y propuestas de actividades experimentales, lo que indicó una maduración en la postura de la comunidad académica con respecto al análisis de su naturaleza e implicaciones en la educación.

Tomando lo anterior con una síntesis, se emplea una recopilación rigurosa en la cual permite establecer una conexión de importancia en el desarrollo de la química verde para la enseñanza y la educación, en donde es importante resaltar que los trabajos en química verde que se enfocan en educación inicialmente parten de solventar diversas situaciones problemas

a la hora de realizar un síntesis de un producto final de laboratorio sea orgánico o inorgánico, lo cual refuerza la importancia de la enseñanza de los 12 principios de la química verde y a su vez tener un enfoque de un DS el cual está transversalmente anclado a la crítica del contexto productivo actual de la sociedad.

Por su parte, R. Franco y L. Ordoñez (2020) realizaron una recopilación documental de artículos con enfoque de química verde en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales publicados en revistas especializadas en un periodo de 2002-2018. Para ello, se tuvieron en cuenta algunos criterios como la indexación en bases de datos de reconocido prestigio nacional e internacional, el cuartil y factor de impacto de las publicaciones científicas; después de seleccionar las revistas, se realizó la búsqueda de artículos teniendo como parámetro de selección el título y las palabras clave: química verde, química sostenible, química sustentable y química ambiental.

En la clasificación de los artículos se tuvieron en cuenta dos criterios: primero el tipo de contribución, las cuales se dividieron en artículos de revisión, reflexión o investigación; y el segundo, las áreas temáticas de tendencia, entre las que se encontraron diseños experimentales y aplicación de prototipos en química verde; química verde, ambiente y sociedad; y química verde en la educación científica. En los artículos de investigación se encontraron temáticas como enseñanza de la química, metodología y técnicas experimentales, formación inicial de profesores, CTSA, formación inicial de profesores, laboratorios escolares, contextos curriculares y sostenibilidad. También como parte de los resultados se mostró la cantidad de artículos por revista y las diferentes tendencias, el país de origen de los autores y el país de origen de las revistas.

En el ámbito local-institucional, en un trabajo de caracterización documental enfocado en libros universitarios de química verde aplicada, las reflexiones sobre la aplicación de este enfoque en la frontera de la investigación en didáctica constituyen un referente relevante para la presente propuesta (Franco y Quintero, 2022).

Resultan también relevantes los aportes realizados por L. Mangua (2020), quien, en su trabajo de grado de Licenciatura en Química, caracterizó las contribuciones publicadas en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales de Iberoamérica, en las temáticas de energías alternativas, renovables y limpias, dando cuenta de que las publicaciones en dichas revistas son un indicador y factor clave para el análisis del progreso de los campos académicos y científicos.

El presente trabajo busca identificar los aportes didácticos y disciplinares de las investigaciones en didáctica de las ciencias experimentales con un enfoque en química verde realizadas en Iberoamérica; asimismo, se pretende dar cuenta de las posibles habilidades que estas propuestas puedan desarrollar en los estudiantes y los diferentes contextos en los que se aplican.

4.2. Fundamentos conceptuales

4.2.1. El enfoque de química verde: consideraciones históricas, concepto y aplicaciones.

J.A. Linthorst (2010) realiza un análisis del origen y desarrollo de la química verde, dividido en tres grandes periodos, en primer lugar, los orígenes de la química verde dentro de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA). Tomando como punto

de partida la publicación del libro “Primavera silenciosa”, en la que su autora, Rachel Carson (1962), plantea que el uso de productos empleados de manera cotidiana y que son clasificados como inofensivos pueden tener resultados fatales para el bienestar de los seres vivos y en general el planeta, haciendo un llamado para buscar alternativas que permitan mitigar el impacto ambiental negativo derivado del uso de estos productos.

Poco después de la publicación, se creó la EPA durante el mandato del presidente R. Nixon, en la que las primeras políticas implementadas se centraron en el mando y el control en la ejecución de regulaciones ambientales; para 1985, estas medidas evolucionan hacia la prevención de la contaminación y, como parte de este enfoque, se fundó el Departamento de la Prevención y Tóxicos de la EPA.

Para 1990 se aprueba en E.E.U.U la ley de prevención de la contaminación, pero debido a la crisis económica de la época se limitaban las acciones que contarían millones para su ejecución, por lo que teniendo en cuenta los intereses comunes entre la industria química y el gobierno, se crea el “programa de premios anuales para reconocer una o más empresas que implementen programas de reducción en las fuentes” y “facilitar la adopción de técnicas de reducción de la fuente por parte de las empresas”, estos premios derivaron en el primer simposio *benign by Design: Alternative Synthetic Design for Pollution Prevention*, realizado en Chicago en 1993.

Para el segundo periodo dado entre 1993 y 1998, en el que la EPA se centró en la creación de redes, para lo que se publica un libro derivado en el simposio realizado en Chicago, en el que se datan las investigaciones presentadas en el simposio, las aportaciones de la industria química a las universidades en sus propias investigaciones y se resaltaron las contribuciones realizadas por la EPA, sobre todo el apoyo económico al área académica, las colaboraciones con autores de la industria química, entre otros.

Para 1994 se realiza un segundo simposio en el que se destaca la participación de investigadores de diferentes países, internacionalización que permitió añadir nuevas dimensiones en las actividades. En dicho periodo, la filosofía de diseño químico benigno propuesta por la EPA cambió su terminología a química verde, lo que se considera deliberado debido a que ningún proceso químico es totalmente benigno. A pesar de este cambio terminológico, la filosofía siguió siendo la misma, para lo que los impulsores de la química verde publicaron múltiples artículos dando explicación a esta filosofía y le dieron múltiples definiciones. A mediados de la década de los noventa, es destacable la obra de T. J. Collins (1995), quien introdujo las primeras reflexiones y propuestas para la incorporación de una química verde a nivel educativo.

En 1998, P. Anastas y J. Warner definieron la química verde en Estados Unidos como “un tipo particular de prevención de la contaminación”; para el mismo año publicaron los doce principios de la química verde en el primer manual sobre química verde (*Green Chemistry Theory and Practice*), lo que sentó las directrices para considerar un proceso químico verdaderamente verde. Por su parte, N. Winterton (2001) en Europa, definirá los segundos 12 principios de la química verde, los cuales han venido vinculándose en currículos, programas de formación en química y en agencias de investigación.

Luego de dicha publicación, en el periodo de 1999 a 2008, el número de revistas aumentó de manera significativa, pero las publicaciones sobre química verde permanecieron relativamente iguales. Durante este periodo, el uso del término química verde no estaba

ligado a la filosofía que se venía manejando, sino que se consideró una manera de generar impacto, simplicidad y apreciación, produciendo muchos artículos publicados en aproximadamente 400 revistas.

Por otro lado, N.P. Pájaro y J.T. Olivero (2011), en el contexto colombiano plantean un desarrollo de la química verde enfocado a los grandes retos que enfrenta esta disciplina pues es importante reconocer que la Química Verde se enfoca en resolver retos de gran importancia como la reducción de residuos químicos, implementar nuevas rutas de síntesis en diferentes campos de la industria como la farmacéutica, jabón, generación de materias primas entre otras, para ello se toma como herramienta principal los 12 principios de la química verde.

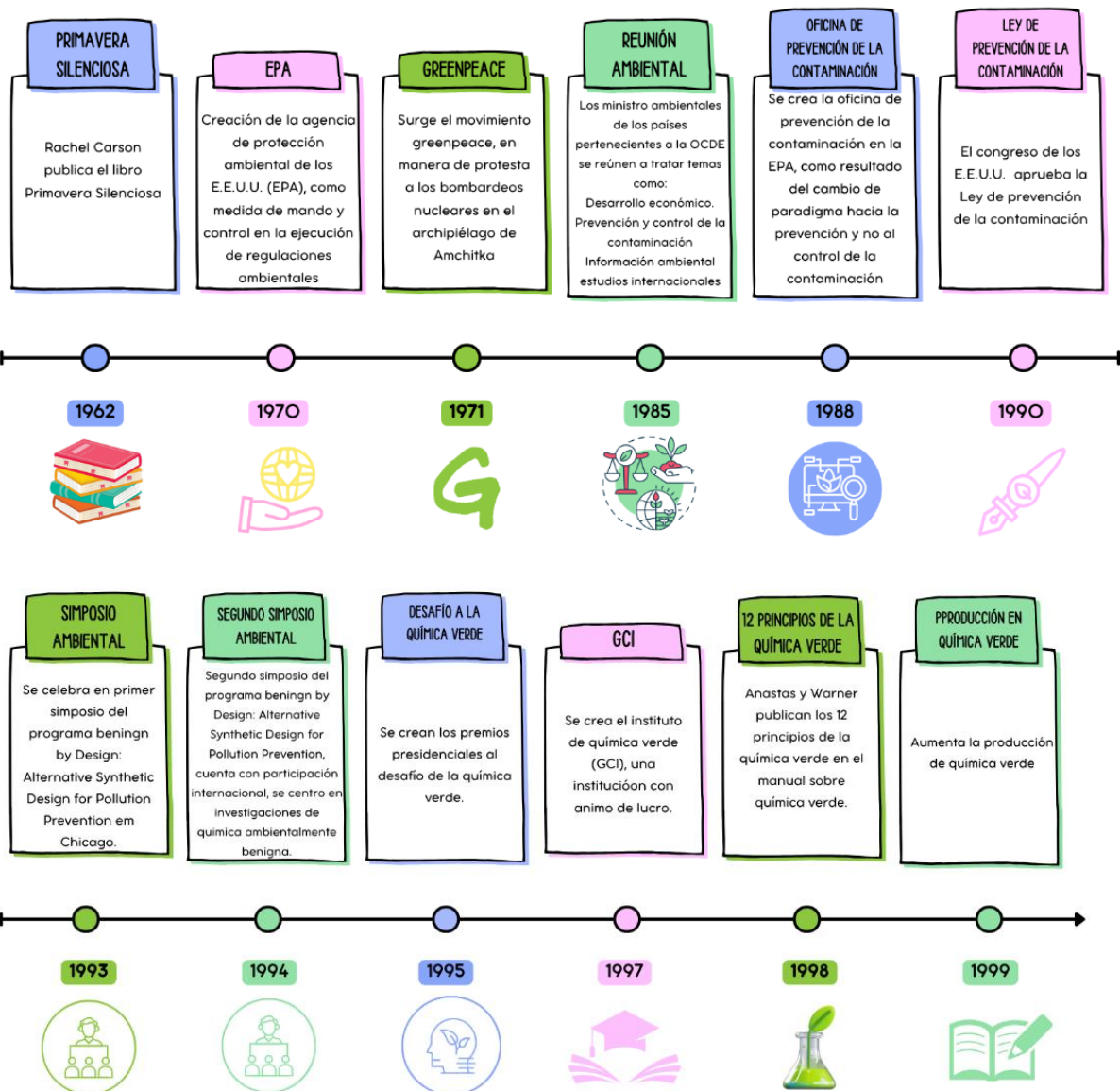
Al realizar una adecuada implementación los 12 principios de la química verde, permiten establecer un nuevo paradigma en donde se plantean nuevos modelos de síntesis empleados por diferentes industrias donde se han visto avances significativos como la ruta de obtención verde del Anhidrido Maleico, en el Ibuprofeno pasando de 5 etapas con el proceso tradicional a únicamente 2 etapas catalíticas, la implementación de laboratorios Lilly en 1992 por el rediseño de la síntesis de un fármaco con propiedades anticonvulsivantes, este proceso implementa la levadura de *zygosaccharomyces rouxii* la cual consta de un proceso de tres fases, en los cuales permite la eliminación de los componentes de la reacción orgánica en los residuos acuosos, en esta síntesis anteriormente planteada se elimina el uso de óxido de cromo, una sustancia catalogada como carcinógena, esto permitió pasar de una eficiencia del 16% al 55%; (Pajaro y Oliveiro, 2011) estos son algunos trabajos en los cuales se ha implementado la química verde.

En este aspecto se evidencia que la química verde es un campo que se debe profundizar, ya que plantea cambios reales con respecto a nuevas formas de desarrollar un avance científico tecnológico, el cual debe ir de la mano de la sostenibilidad y una implementación con la química cotidiana; es decir, esta también debe ser enseñada para promover la difusión de sus principios.

A. Machado (2011) analiza el surgimiento de la química verde en las décadas de 1980 y 1990, a raíz del movimiento ambientalista moderno y del concepto de desarrollo sostenible, teniendo como base el desarrollo de diversas actividades en la industria de la química que dieron lugar a nuevas actitudes y conceptos en la década de 1980, en respuesta al problema de producción de residuos y contaminación por parte de la industria química, así como a los nuevos conceptos que derivaron de estas respuestas. Estas respuestas tienen diferentes orígenes. En primera instancia, se puede encontrar la industria química, la cual introdujo conceptos como, prevención de la contaminación, minimización de residuos, procesos con más seguridad inherente, cuidado responsable, diseño para el ambiente y ecología industrial; en una segunda instancia se identifican los con origen en la química de laboratorio o química académica como economía atómica, utilización atómica y factor E. Con el fin de identificar los aportes realizados por estos nuevos conceptos a la consolidación de la química verde, así como a la construcción de los dos primeros de los doce principios de la química verde, resulta necesario examinar bajo qué contexto se estructuraron dichos conceptos.

Para ampliar el panorama sobre el devenir histórico del enfoque de química verde, se elaboró la siguiente línea de tiempo:

LÍNEA DE TIEMPO DE LA QUÍMICA VERDE



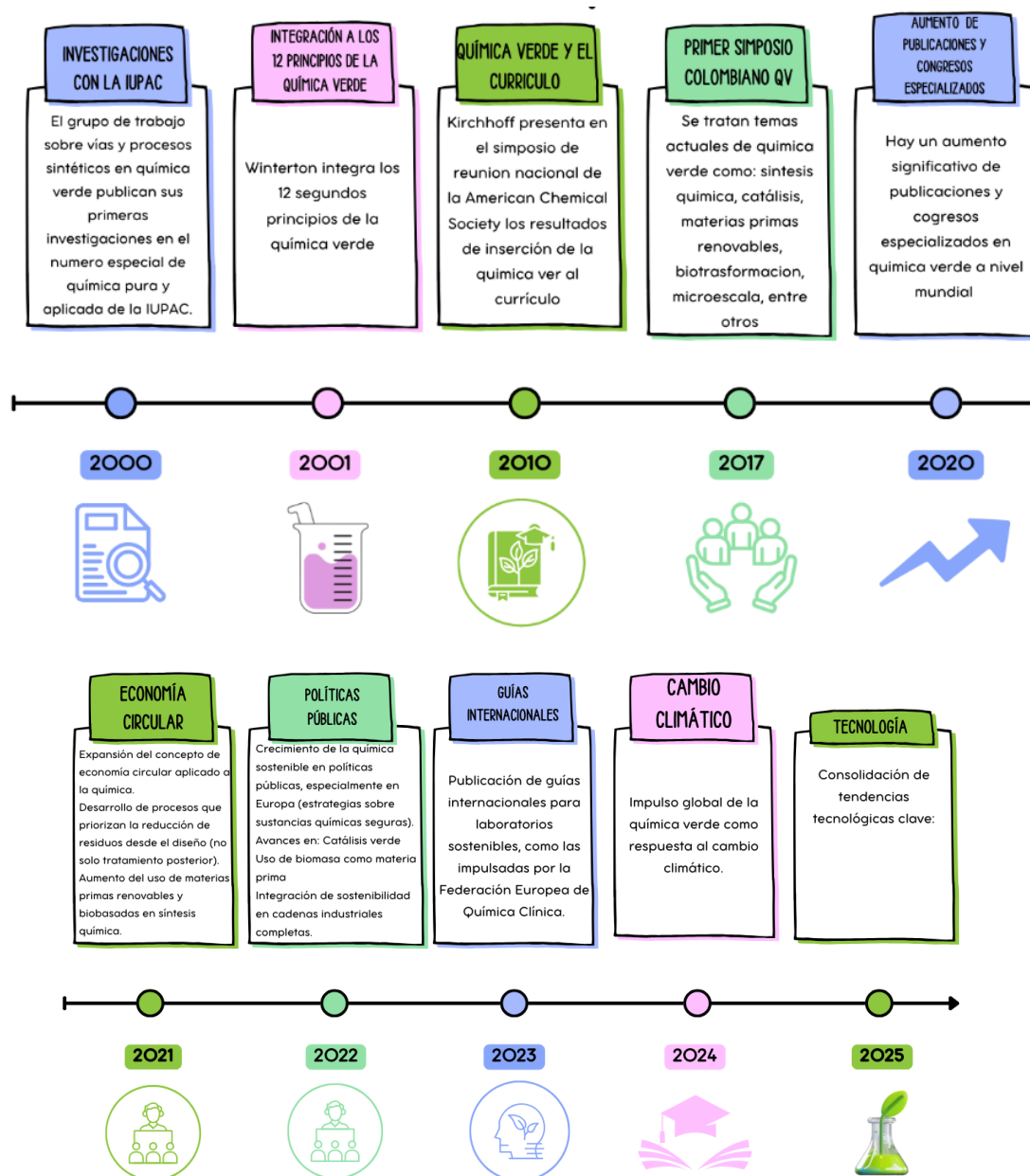


Figura 1 Línea del tiempo de la química verde.

Elaboración propia.

Prevención de la contaminación

La prevención de la contaminación fue prescrita por la ley de prevención de la contaminación para reducir la cantidad de contaminantes y residuos generados en los procesos industriales, lo que adquirió una gran relevancia en el campo de la industria química. A diferencia de las estrategias clásicas de contención de la contaminación, después de su producción se pretende priorizar el cambio de procesos químicos y el aumento de su eficiencia para reducir la cantidad de contaminantes y residuos producidos en las

instalaciones industriales, pero en un principio esta se enfocó en actividades externas a la producción, tales como reciclaje, tratamiento de residuos peligrosos, entre otros.

Una de las ideas principales de la química verde se ve reflejada por el primer principio (principio de la prevención), integrándose en particular la reducción en la fuente, teniendo como objetivo fundamental minimizar o eliminar contaminantes y residuos químicos de los procesos químicos.

Minimizar residuos

Estas actividades hacen parte de la prevención de la contaminación, pero son mencionados porque surgieron en la industria de manera independiente y apuntaron de manera más directa al problema de residuos, buscando minimizar los residuos generados por un proceso, entre las estrategias propuestas se puede encontrar también el reciclaje durante el proceso, recuperación y tratamiento seguro de residuos.

Procesos con mayor seguridad inherente

Sugiere una nueva postura en diseño de procesos industriales en la industria química, en el que se busca garantizar la seguridad por parte de los ingenieros químicos desde comienzo del desarrollo de los procesos de fabricación de compuestos químicos, con el fin de eliminar de forma proactiva los peligros de forma permanente del proceso.

Cuidado responsable

Se origina como una iniciativa de la industria química, con el objetivo de mejorar su desempeño en materia de salud humana, seguridad y medio ambiente. La iniciativa refleja un enfoque innovador desde la cooperación de la industria para abordar problemas ambientales desde una perspectiva de resolución temprana de problemáticas, además tuvo un gran incentivo económico evitando gastos asociados a procesos legislativos.

Uno de sus aportes más importantes en materia ambiental es la consolidación de la idea que la proactividad es más efectiva que la reactividad para la resolución de problemas ambientales causados por procesos químicos, además permite entender porque la química verde comenzó a ganar terreno en el ámbito industrial y no en el académico.

Diseño para el ambiente

El termino plantea la concepción del diseño de procesos y productos que desde un inicio tengan el mínimo impacto sobre el ambiente, teniendo como objetivo que en cada una de las etapas del proceso de producción se tomen medidas proactivas para reducir o eliminar factores negativos sobre el ambiente.

El diseño para el ambiente generó un cambio de paradigma en cuanto al diseño clásico que va orientado a la reducción de costos, estética, entre otros, permitiendo que otros aspectos se contemplen durante el diseño del producto o proceso, así como el cumplimiento de las regulaciones para el objeto, la manufactura, y el desmontaje del producto para permitir la recuperación y reutilización de las piezas. Según lo anterior, se pueden observar conexiones entre la química verde y el desarrollo para el ambiente, donde la química verde busca implementar el desarrollo para el ambiente en el campo de la química.

Ecología industrial

Surge de los problemas de reciclaje de residuos industriales, en los cuales se busca que el proceso sea cíclico en vez de lineal, reduciendo la generación de residuos o permitiendo que los subproductos de un proceso puedan volver a integrarse en la producción. En muchos procesos industriales se emplean productos químicos, lo que hace importante la química en la ecología industrial y, por ende, da una gran importancia a la química verde como una vía para el desarrollo sostenible. Los conceptos anteriores surgieron en un entorno industrial como respuesta a las crecientes problemáticas que se presentaron durante mediados del siglo XX, pero en el ámbito académico también se crearon diferentes concepciones, entre las que tenemos.

Economía atómica

Relaciona la masa de los átomos de los reactivos estequiométricos incorporados al producto deseado y la masa total de los átomos de los reactivos en porcentaje, en el que en un proceso se busca que la totalidad de la masa de los reactivos sea empleada en el producto deseado, evitando la generación de subproductos; en estos casos se habla de una economía atómica del 100%.

Uso atómico

Realiza una comparación entre la masa del producto deseado y la suma de las masas de todas las sustancias producidas en la reacción (producto y subproducto), expresadas en porcentaje, buscando que en el proceso químico el producto obtenga una mayor cantidad de masa en comparación con los subproductos.

Factor E

Representa la cantidad real de residuos producidos por kg de producto, incluyendo las pérdidas de solventes y los reactivos usados en el procesamiento. Los factores E de cada etapa son aditivos, por lo que se puede calcular fácilmente para procesos de una o varias etapas. Para cumplir con el primer principio de la química verde, el factor E ideal es cero (Sheldon, et. al., 2022).

$$\text{Factor E} = \frac{\text{Residuos totales}}{\text{Total productos}}$$

En el siguiente gráfico se ilustran, en resumen, los 12 principios de la química verde (Anastas & Warner, 1998; Zacconi, et. al., 2024).

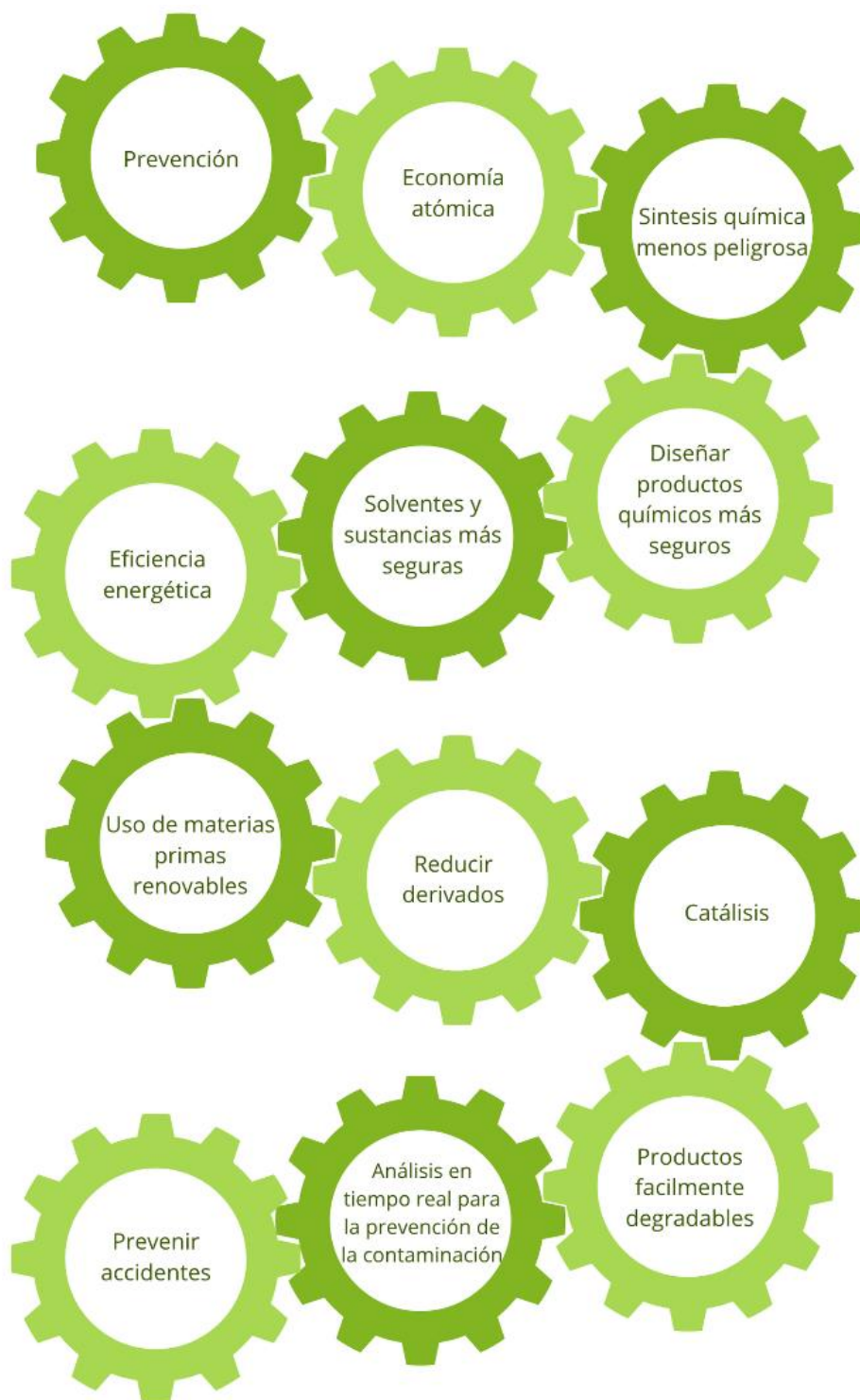


Figura 2. 12 principios de la química verde. Elaboración propia, a partir de (Anastas & Warner, 1998; Zacconi, et. al., 2024).

4.2.2. Perspectivas de la educación en química verde.

B.L. Reyes (2012) plantea las ciencias como un producto de la actividad humana en la que el conocimiento se construye a través de la enseñanza, y la enseñanza como actividad cognitiva se desarrolla de forma organizada a través de la educación institucional en el aula de los diferentes niveles educativos. De este modo, hoy las ciencias prácticas y las que se enseñan presentan diferentes problemáticas complejas como el deterioro del medio que habitamos y la educación requerida para abordar dichas problemáticas y así alcanzar un desarrollo sostenible.

Lo anterior implica la necesidad de visualizar, observar, estudiar e interpretar estas problemáticas desde diferentes perspectivas de las ciencias, con el fin de conocer todo en su integridad y no solo de manera parcial, así ofreciendo alternativas de solución que permitan un avance hacia la construcción de un desarrollo sostenible. Para alcanzar este desarrollo desde la enseñanza y la práctica de las ciencias, se requieren planteamientos, metodologías e interpretaciones que permitan crear y acceder a un conocimiento integrado e implica la enseñanza de pensamientos, procedimientos y acciones interdisciplinarias que hagan posible resolver problemáticas ambientales.

En el caso de la ciencia química, la filosofía de la química verde propone partir desde la práctica de procesos ambientalmente amigables y económicamente reductibles, que permita también avanzar a una química socialmente viable y éticamente aceptable.

Por otro lado, se plantea al desarrollo sostenible como aquel desarrollo que satisface las necesidades actuales sin afectar las capacidades de las generaciones futuras a poder satisfacer sus propias necesidades; para ello es necesario que la actividad humana no represente una sobrecarga sobre las funciones ambientales, ni el deterioro de la calidad ambiental del planeta. Lograrlo exige a las comunidades científicas y docentes generar e impulsar, a través de la educación en todos sus niveles, la respuesta resiliente de la ciudadanía, pues un progreso global es posible a través de la construcción y unión de todos y cada uno de los procesos.

Ahora bien, la química verde permite aproximarse a una química cuyos productos y procesos busquen alcanzar un equilibrio ambientalmente viable, económicamente viable y éticamente aceptable, y en las manos de los científicos y docentes está el reto para alcanzar este ideal, contribuyendo a lograr un desarrollo sostenible de la química.

La enseñanza de las ciencias como una actividad científica debe tener un objetivo, método y campo de aplicación en el contexto escolar y respondiendo a las necesidades actuales debe ser encaminado al desarrollo sostenible (Sanmartí, 1998), lo que hace necesario vincular perspectivas del cuidado del ambiente y la formación de ecociudadanías en el currículo de ciencias en todos los niveles educativos como un principio integrado y no solo ocasional, para que la enseñanza de las ciencias se aborde desde un conocimiento del mundo en toda su complejidad. Desde lo anterior, los autores plantean tres retos para las comunidades científicas y docentes.

- Formar ciudadanos y científicos con una perspectiva ambiental del desarrollo de las ciencias.
- Lograr que la práctica científica cotidiana se desarrolle desde alternativas naturales, utilizando materiales originarios del país y de mínimo impacto ambiental.

- Generar e impulsar respuestas resilientes en la ciudadanía a través de la educación y práctica socialmente responsable.

5. METODOLOGÍA

5.1. Tipología de la investigación

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, esta investigación adoptó un enfoque mixto cualitativo-cuantitativo (Vasilachis, 2006). Frente a las precisiones teóricas necesarias para evitar ambigüedades en el diseño, se aclara que el estudio no se limita a un rastreo bibliográfico lineal, sino que se define operativamente como un diseño documental de análisis de contenidos.

Bajo esta perspectiva, el componente cualitativo y el cuantitativo se ejecutan de manera simultánea e interdependiente para facilitar la comprensión de los resultados, estructurándose a través de dos dimensiones metodológicas bien delimitadas:

Dimensión Cuantitativa: Se orienta a la identificación, registro y tabulación de frecuencias de variables externas y formales de la producción científica. Esto incluye la cuantificación cronológica, la distribución geográfica de las publicaciones, la clasificación de los artículos y la visibilidad de las revistas de difusión.

Dimensión Cualitativa: Se enfoca en el análisis crítico e interpretativo del discurso pedagógico y didáctico presente en los artículos seleccionados. A través de una codificación axial, esta dimensión permite caracterizar las tendencias educativas, pedagógicas y didácticas que configuran el estado del arte de la química verde en la región.

En tal sentido, se espera que en el periodo 2018-2025 haya un aumento considerable de la producción académica relacionada con la vinculación del enfoque de química verde en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales y, en correspondencia, se amplíen las áreas temáticas a desarrollar.

5.2. Fases de la investigación

Para el desarrollo de esta investigación se plantearon tres fases, la primera se centró en la búsqueda de las publicaciones realizadas en revistas especializadas en didáctica de las ciencias experimentales en Iberoamérica sobre el tema objetivo del estudio, la segunda fase consistió en diligenciar la base de datos consolidando la información más relevante de las publicaciones como: revista, título, año, autor o autores, palabras clave, tipología del artículo, entre otros aspectos y la fase tres se centró en el análisis de los resultados obtenidos de la información tabulada.

Fase 1. Selección de revistas y criterios de búsqueda

Para la selección de revistas se tuvo como criterio la indexación en bases de datos de reconocido prestigio nacional e internacional y especializadas en didáctica de las ciencias experimentales.

Para garantizar la representatividad, validez y el rigor en la recolección de los datos, el proceso de muestreo se rigió por criterios explícitos de inclusión. Si bien las bases de datos como SciELO, Dialnet y Latindex albergan un catálogo extenso de publicaciones, la muestra de este estudio se acotó intencionalmente a ocho revistas especializadas que cumplen de manera estricta con las siguientes condiciones.

- Tiene una linealidad editorial consolidada en didáctica de las ciencias experimentales o educación química.
- Posee indexación activa y vigente en bases de datos de alta exigencia científica regional o global durante toda la ventana temporal evaluada.
- Registro histórico constante de publicaciones asociadas a la química verde, o sustentabilidad.

Según lo anterior, se tuvieron en cuenta las siguientes revistas para la revisión documental y el respectivo análisis del abordaje del enfoque de química verde.

Tabla 1. Lista revistas especializadas

Revista	País de origen	Clasificación en las bases de datos
Alambique	España	Dialnet C4
Ciencia & Educação	Brasil	SciELO H5
Educación Química	México	SciELO H5 SCImago Q4
Enseñanza de las Ciencias	España	Dialnet C1 SCImago Q3
Química Nova na Escola	Brasil	Latindex
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	España	Dialnet C4 CIRC D
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias	España	Dialnet C1 SCImago Q3 CIRC B JCI Q3 SJR Q2
Tecné, Episteme y Didaxis	Colombia	Latindex CIRC D Minciencias categoría: B

Fuente. Elaboración propia.

Respecto al acceso a las publicaciones, la mayoría de estas revistas son de acceso libre, por lo que la descarga de los artículos se pudo realizar directamente en las páginas web de cada una. En el caso de la revista Alambique, el acceso es por suscripción; este se obtuvo gracias a la mediación de investigadores españoles, quienes facilitaron los contenidos debido a que la Universidad Pedagógica Nacional ya no cuenta con dicha afiliación y la editorial cobra por el acceso.

El criterio de inclusión para los artículos radicó en su vinculación explícita con la química verde. Esta relación se verificó en secciones clave de las publicaciones: título, palabras clave, resumen, cuerpo del documento y la bibliografía. La exploración se ejecutó mediante ecuaciones de búsqueda con los términos: *Química verde*, *Química sostenible*, *Green Chemistry*, *Sustainable Chemistry* y *Química Sustentável*.

Fase 2. Construcción de la base de datos.

Para la construcción de la base de datos se tomó como referencia la propuesta de Franco y Ordóñez (2020). Este instrumento cuenta con siete campos, los cuales se completaron con la información suministrada por cada artículo producto de la revisión documental:

- Revista
- Código – Título – Año – Volumen – Número
- Autor(es).
- Palabras clave.
- Clasificación del artículo.
 - Artículo de revisión (AR)
 - Artículo de investigación (AI)
- Tendencias educativas-pedagógicas – didácticas.
- Temáticas centrales en química.

Fase 3. Análisis de los resultados obtenidos

En esta fase se filtraron los registros obtenidos en la base de datos realizada mediante el programa Microsoft Excel, con el fin de obtener la información tabulada y construir las gráficas correspondientes para cada uno de los parámetros establecidos.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez realizada la revisión documental de las revistas especializadas en investigación en didáctica de las ciencias, a continuación, se presentan los principales resultados y sus correspondientes análisis. Para el ejercicio analítico correspondiente y de conformidad con los objetivos propuestos, se derivan los siguientes ejes de referencia y contrastación:

Eje 1. Publicaciones relacionadas con la educación en química verde, en el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales en Iberoamérica: 2018-2025.

Eje 2. Áreas temáticas, tendencias académicas y tipologías de las publicaciones.

Eje 3. Aportes de la producción bibliográfica relacionada con química verde al ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias.

6.1. Eje 1. Publicaciones relacionadas con la educación en química verde, en el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias experimentales en Iberoamérica; 2018-2025.

En la clasificación de los artículos encontrados se tienen en cuenta dos criterios, primero el tipo de contribución (artículos de revisión e investigación) y segundo las tendencias temáticas que se encuentren durante la investigación documental.

La siguiente tabla muestra los parámetros por los cuales se le dio selección a las revistas a analizar, así como también se realiza la caracterización de las revistas seleccionadas.

Tabla 2. Caracterización de artículos en revistas especializadas.

Revista	Código- Título-Año- Volumen- Número	Autores	Palabras clave	Clasificación (tipología) artículo		Tendencias educativas- pedagógicas - didácticas	Temáticas centrales en química
				AR	AI		
Alambique	01-Química verde para el profesorado en formación- 2023-N. 111	Iriux Almodovar Fajardo; Damián Ruz López; Belén Campos Madrid; Fernanda Rojas Osorio; Javiera Cardenas Martínez	Química verde, ciencias experimentales, sostenibilidad.		X	Se plantea una estrategia para la formación de profesores enfocada en la incorporación de la química verde a los procesos de enseñanza-aprendizaje. Orientándose a una educación para la sostenibilidad y el desarrollo de habilidades investigativas, empleando estrategias como aprendizaje activo y trabajo colaborativo, así como la articulación de enfoques didácticos como CTS y ABP.	Química verde

Ciencia & Educação	02- Proposições acerca da experimenta- ção formativa para Educação Química- 2023-Vol. 29	Rosivânia da Silva Andrade; Vânia Gomes Zuin Zeidler	Enseñanza de la química; Experimentació n; desarrollo sustentable; formación critica; teoría critica.		X	Plantea un desarrollo metodológico de actividades experimentales enfocadas en la educación para el desarrollo sostenible, la formación crítica y el desarrollo de dimensiones sociocientíficas, empleando estrategias como aprendizaje activo, trabajo colaborativo y pedagogía crítica, así como la articulación de enfoques didácticos como TPL.	Química verde
Educación Química	03- Sustitución de una práctica de Laboratorio con enfoque a Química Verde como herramienta para la reducción de residuos peligrosos- 2018-Vol. 29- N. 1	Ligia Dina Solis Torres Adriana Vega Botto	Química verde, minimización de residuos, retrovaloración.		X	El trabajo propone la evaluación de prácticas de laboratorio y la propuesta de alternativas más verdes, con el fin de proponer una educación en la que se reconozcan los diferentes estilos de aprendizaje de los estudiantes, manteniendo estrategias como el aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades prácticas, y la integración de diferentes enfoques didácticos TPL y CTSA.	El estudio se centra en la sustitución de una práctica de retrovaloración tradicional que emplea dicromato de potasio altamente tóxico por una alternativa basada en la determinación de ácido acetilsalicílico empleando reactivos menos peligrosos.

	04-Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base (parte ii): extração e armazenamento-2018-Vol. 29- N. 2	Dirlei Badotti da Silva, Marcello de Mello Gonçalves, Yohanne Dangui Kreve, Keller Paulo Nicolini, Jaqueline Nicolini	Enseñanza de la química, indicador de pH, química verde, extracción de productos naturales.		X	Propone una alternativa didáctica basada en el uso de indicadores naturales para la enseñanza del concepto ácido-base, teniendo como fin la educación interdisciplinaria y la formación crítica, por medio del aprendizaje significativo, el desarrollo del pensamiento científico y la implementación de enfoques interdisciplinarios y contextualizados.	Uso de extractos naturales como indicadores ácido-base.
	05-Determinação do grau de saponificação de óleo residual: uma experiência no ensino de Química sob as perspectivas CTSA e Química Verde-2019-	Flávia de Mello, Sandra Inês Adams Angnes Gomes, Edneia Durli Giusti, Marilei Casturina Mendes Sandri y Samuel Robaert	Química verde, CTSA, optimización de jabones, índice de saponificación, docencia-investigación-extensión.		X	Presenta una propuesta de enseñanza a partir de problemas socioambientales, empleando un enfoque CTSA y promoviendo la alfabetización científica, usando estrategias basadas en la pedagogía crítica, el aprendizaje significativo y la formación integral.	Reacciones de saponificación, índice de saponificación.

	Vol. 30 – N.1						
	06- Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos- 2019 – Vol.30 – N. 2	Leslie Tauany Schneider da Luz, Sandra Inês Adams Angnes Gomes, Marilei Casturina Mendes Sandri, Flávia de Mello, Juliana Aparecida Bolzan.	Ácido acetilsalicílico, eficiencia energética, métricas de masa, enseñanza.		X	Realiza una propuesta didáctica basada en la síntesis del ácido acetilsalicílico, promoviendo la educación para la sostenibilidad y la toma de decisiones, empleando estrategias de aprendizaje basado en contexto e interdisciplinariedad, tomando enfoques didácticos como TPL y CTS.	Optimización de la síntesis del ácido acetilsalicílico integrando los principios de la química verde.
	07- Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química- 2019 – Vol. 30 – N. 4	Marilei Casturina Mendes Sandri, Ourides Santin Filho	Química verde, propuestas didácticas, enseñanza de la química.		X	Plantea la química verde como un eje articulador en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la química orientado al diseño de procesos químicos que reduzcan o eliminen el uso y generación de sustancias peligrosas, promoviendo la alfabetización científica y la formación de una ciudadanía crítica, empleando estrategias como el aprendizaje	Química verde

						activo, interdisciplinariedad y pedagogía crítica. Toma un abordaje didáctico de la química verde basado en un enfoque experimental técnico, integración curricular y enfoque crítico y transversal.	
	08 - EL ENFOQUE DE QUÍMICA VERDE EN LA INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. SU ABORDAJE EN REVISTAS IBEROAMERICANAS : 2002-2018 – 2020 – Vol 31 – N. 1	Ricardo Andrés Franco Moreno, Leydi Yurani Ordoñez Carlosam a	Didáctica de la química, investigación documental, química verde, revistas especializadas.	X		Presenta un análisis documental de la producción científica en torno a la química verde en el campo de la educación en química. Se sitúa en el marco de la educación para la sustentabilidad, destacando la química verde como una disciplina clave para la formación de ciudadanos y la necesidad de una renovación curricular.	Química verde
	09 - Química	Jonathan Steven	Química verde, residuos de	X		Aborda la incorporación de la química verde en el contexto	Química verde

	verde aplicada en los residuos de universidades – 2021 – Vol. 34 – N. 2	Murcia Fandiño, Luis Alfonso Esquiaqui Marín	universidades guías de laboratorio, revisión bibliográfica			universitario, desde la gestión de residuos químicos generados en laboratorios, impulsando la química verde como parte del currículo, así como la formación integral.	
	10 - Diseño experimental con enfoque verde en la reacción de Kröhnke para la síntesis de terpiridinas – 2023 – Vol. 34 – N. 4	Diego Alexander Fajardo Perafan, Danny Arteaga, Luis Alberto Lenis Velasquez	Reacción de Krohnke, síntesis orgánica, 2,2':6',2'-terpiridinas, química verde, irradiación microondas		X	Se propone una estrategia didáctica mediante la síntesis de terpiridinas, promoviendo la formación basada en la investigación y el desarrollo de competencias científicas, empleando estrategias como el aprendizaje activo y la pedagogía constructivista, tomando enfoques didácticos como los TPL y ABP.	Síntesis de terpiridinas mediante la reacción de Kröhnke con un enfoque en química verde
	11 - Ensino de química verde no Brasil: mapeamento de publicações a partir da análise de redes sociais	Caio Sereno Gaspar, Júlia Damazio Bouzon, Juliana Barreto Brandão,	Química verde, enseñanza de la química, redes sociales.	X		Analiza la evolución en el campo de la enseñanza de la química verde en Brasil mediante el uso de redes sociales, en el contexto de la creciente preocupación ambiental global y la necesidad de integrar la sostenibilidad en el currículo de ciencias, especialmente la química.	Química verde

	– 2023 – Vol. 34 – N. 4	Alvaro Chripino					
	12 - Evaluación de una metodología de enseñanza- aprendizaje en Química verde – 2024 – Vol. 35 – N. 3	Ana Laura Pino	Química verde, sustentabilidad, educación, aprendizaje participativo, multidisciplinari edad, enfoque sistémico.		X	Se evalúa una metodología de enseñanza-aprendizaje en química verde para la formación de profesionales, empleando estrategias con enfoques sistémicos, multidisciplinarios, el aprendizaje participativo y la formación ética y ciudadana.	Química verde
Química Nova Na Escola	13 - Tabela de Tempo de Decomposiç ão de Materiais: Contexto para a Abordagem de Química Ambiental no Ensino Profissional de Nível Médio – 2019 -Vol. 41 – N. 3	Alfredo L. M. L. Mateus, Andréa H. Machado e Patrícia A. Aguiar	Enfoque CTS, química ambiental, formación profesional		X	Presenta una experiencia educativa en el ámbito de la enseñanza técnica de nivel medio en química, empleando el análisis del ciclo de vida útil de algunos materiales, en pro de la formación de profesionales socialmente responsables, el desarrollo de habilidades científicas y tecnológicas, empleando métodos desde el constructivismo, el aprendizaje crítico y la formación integral. Así mismo, la integración del trabajo colaborativo, CTS y el análisis crítico.	Degradación de materiales.

	14 - Aplicação de princípios de Química Verde em experimento s didáticos: um reagente de baixo custo e ambientalme nte seguro para detecção de íons ferro em água – 2021 – Vol. 43 – N. 2	Ana Lúcia de S. Ventapane e Paula M. L. dos Santos	Enseñanza de la química, ambiente, experimentación .		X	Realiza una propuesta didáctica basada en la implementación de los doce principios de la química verde en el diseño de experimentos escolares. Así mismo, basada en una educación socio-científica, empleando estrategias desde el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias.	Identificación de Fe^{3+} en agua, mediante la formación de complejos de salicilato.
	15- Avaliando Métricas em Química Verde de Experimento s Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas	Kayanne Maria S. Santos, Lylian M. A. Lima, Tatiane S. Santos e Ângelo F. Pitanga	Química verde, métricas, adaptación de experimentos, amarillo de tartrazina.		X	Aborda la integración de la química verde en la educación secundaria por medio de adaptaciones experimentales, centrándose en evaluar, a través de métricas específicas, la verdu ra de los experimentos y su pertinencia educativa.	Procesos de degradación de colorantes

	no Ensino Médio – 2021 – Vol. 43 – N. 4						
	16 - Síntese do Ácido Acetilsalicílico: Uma proposta para Laboratórios de Graduação empregando a Química Verde – 2022 – Vol. 44 – N. 2	Larissa de A. Domingues, Cássia G. Magalhães e Marilei C. M. Sandri	Ácido acetilsalicílico, experimentos didáticos, verdura química.		X	Propone la optimización del proceso de síntesis del ácido acetilsalicílico en un contexto de enseñanza universitaria. Así mismo, desarrollando competencias y el pensamiento crítico, el uso de estrategias como la STEM.	Síntesis orgánica de ácido acetilsalicílico desde una perspectiva de la química verde.
	17 - Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel através da Química Verde – 2022 – Vol. 44 – N. 2	Raquel G. Jacob, Márcio S. Silva, Daniela Hartwig e Eder J. Lenardão	Química verde, educación ambiental, currículo.		X	Presenta el análisis de incorporación de la educación ambiental en los programas de formación en química de la UFPel, tomando como eje la química verde, promoviendo una educación en pro de la formación integral de los estudiantes, con pensamiento crítico y reflexivo.	Química verde.
	18 - Ambiente	Patricia L. Rüntzel e	Ambiente temático virtual,		X	Propone el diseño e implementación de un Ambiente	Química verde y síntesis química.

	temático virtual de Química Verde para simulações de sínteses no Ensino de Química na perspectiva do desenvolvimento sustentável – 2022 – Vol. 44 – N. 2	Carlos Alberto Marques	enseñanza de la química verde, objetivos para el desarrollo sustentable			Temático Virtual de Química Verde como un recurso didáctico para la enseñanza de la química en el marco de educación para el desarrollo sostenible, empleando estrategias como el aprendizaje activo y el uso de los ambientes virtuales de aprendizaje.	
	19 - Rota Verde: um jogo educativo e potencialmente inclusivo para o ensino de Química Verde para surdos – 2024 – Vol. 46 – N. 4	Maria Caroline S. Velozo, Júlia Maria S. Ferraz, José Lucas de C. Campos, Carlos Alberto da Silva Júnior, Niely S.	Juegos, inclusión, química verde.		X	Realiza el análisis del diseño, implementación y evaluación del juego educativo “ <i>Rota Verde</i> ” como una estrategia didáctica para la enseñanza de la química verde en miras de una educación inclusiva. Toma un abordaje didáctico desde la integración de un enfoque lúdico-didáctico y el aprendizaje significativo.	Química verde

		de Souza e Alessandra Marcone T. A. de Figueirêdo					
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	20 - Una visión sobre propuestas de enseñanza de la Química Verde – 2018 – Vol. 17 – N. 1	Carlos Alberto Marques Adélio A. S. C. Machado.	Química verde, enseñanza de la química, publicaciones educativas.	X		Tiene como propósito analizar la producción científica internacional en la enseñanza de la química verde, con el fin de identificar propuestas, enfoques y fundamentos teóricos para orientar la inserción en el currículo de química.	Química verde
	21 - A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio –	Alessandra Carvalho de Sousa, Cristina Emanuell y da Silva, Tairiz Tatiani da Costa	Química verde, sustentabilidad, libro didáctico, enseñanza promedio, enseñanza de la química.	X		Realiza un análisis de la incorporación de los principios de la química verde en libros de texto de educación media en Brasil.	Química verde.

	2020 – Vol. 19 – N. 3						
	22 - A química verde e sustentável: Dos princípios à inserção na educação química – 2025 – Vol. 24 – N. 1	Rosivânia da Silva Andrade, Vania G. Zuin Zeidler	Química verde, química sustentable, investigación bibliográfica, educación química.	X		Analiza cómo la química verde y la química sostenible han sido conceptualizadas e incorporadas en la educación química a nivel internacional en un periodo de 1998-2019. Los autores examinan las tendencias en literatura científica, identifican los principales enfoques, categorías analíticas y formas de implementación educativa.	Química verde.
Total de artículos	22	Cantidad de artículos por clasificación		6	16		

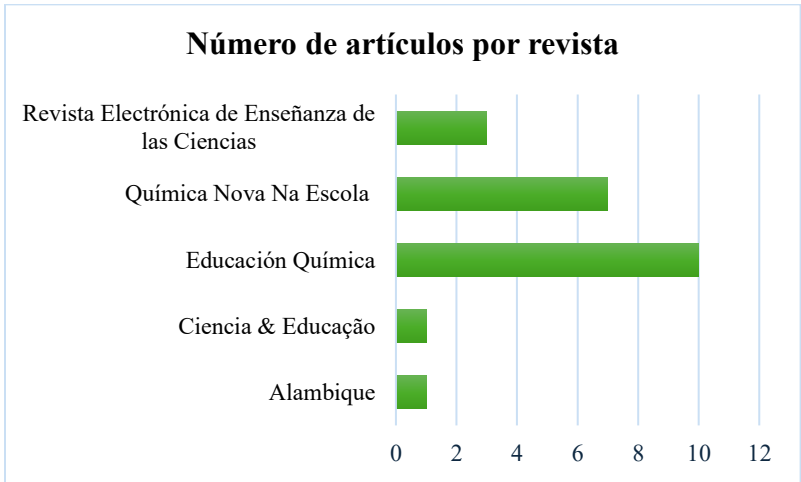
Fuente: Elaboración propia.

Como parte de la investigación, se ha evidenciado que la cantidad de artículos varía de forma clara entre revistas, lo que hace necesario denotar las publicaciones realizadas por cada revista, por lo que se elabora una clasificación desde el número de artículos por revista.

Tabla 3. Número de artículos por revista.

Revistas	Número de artículos
Alambique	1
Ciencia & Educação	1
Educación Química	10
Química Nova na Escola	7
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	3

Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 1. Cantidad de artículos por revista. Elaboración propia.

En la gráfica 1 se muestra el número de artículos por revista. Se puede afirmar que, en primer lugar, se encuentra la revista Educación Química con 10 artículos publicados (45%); en segundo lugar, Química Nova na Escola con 7 artículos (32%); en tercer lugar, la Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, con 3 artículos publicados (14%); y, por último, las revistas Alambique y Ciencia & Educação con 1 artículo publicado cada una (4,5% respectivamente).

De acuerdo con esta información, es posible afirmar que existe una concentración de la producción académica en química verde en un número reducido de revistas, particularmente en las revistas Educación Química y Química Nova na Escola, las cuales reúnen en conjunto alrededor del 77% de los artículos analizados. Esto sugiere que dichas revistas actúan como espacios centrales para la difusión de estas líneas temáticas dentro del ámbito iberoamericano de la didáctica de las ciencias experimentales.

No obstante, es importante aclarar que, aunque la revista Educación Química es una revista de origen mexicano, no es adecuado inferir que la mayor producción científica provenga exclusivamente de dicho país. La elevada frecuencia de publicaciones en esta

revista puede asociarse con diferentes factores, tales como las políticas de la editorial, alcance temático, visibilidad y redes académicas, más que con el desarrollo investigativo nacional.

Por otro lado, la baja presencia de artículos en las revistas *Alambique* y *Ciencia & Educação* podría indicar que la química verde no constituye una línea prioritaria dentro de las publicaciones. Asimismo, el enfoque editorial de dichas revistas podría privilegiar otras áreas temáticas o perspectivas didácticas.

En la siguiente tabla se relacionan los países de origen de los autores de los diferentes artículos.

Tabla 4. País de origen de los autores.

Autores	Chile	Brasil	Costa Rica	Colombia	Argentina	Alemania	Portugal
67	2	53	2	7	1	1	1

Fuente. Elaboración propia.

Del análisis del país de origen de los autores se identifica que la distribución evidencia una marcada concentración geográfica en la producción científica. De los 67 autores encontrados, Brasil concentra 53 autores (79%). En contraste, países como Colombia, con 7 autores (10%), representan una participación significativamente menor, mientras que Chile y Costa Rica cuentan con 2 autores cada uno (2,99% cada uno). Finalmente, Argentina, Alemania y Portugal registran una presencia marginal, con un autor cada uno (1,49% cada uno).

Este comportamiento pone de manifiesto una alta centralización de la producción científica en Brasil, lo que sugiere la existencia de comunidades académicas consolidadas en torno a la enseñanza de la química y, particularmente, a la integración de la química verde en la didáctica de las ciencias experimentales.

En contraste, la participación de otros países iberoamericanos es considerablemente menor, lo que evidencia una distribución desigual de la producción científica de la región. En el caso de Colombia, aunque se identifica una presencia relevante en comparación con otros países, esta se encuentra distante de la producción brasileña, lo que sugiere un campo en proceso de consolidación. Por otra parte, la baja representación de países como Chile, Costa Rica y Argentina podría estar relacionada con una menor visibilidad de estas investigaciones o con diferencias en los procesos de publicación y circulación científica en las revistas analizadas.

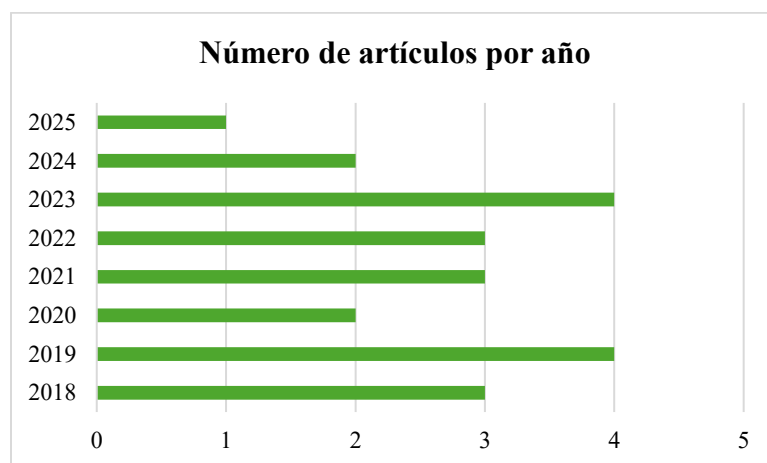
Otro aspecto relevante es la limitada participación de autores de países no iberoamericanos, como Alemania y Portugal, lo cual indica que, aunque existe cierta apertura internacional, la producción científica en este campo se mantiene predominantemente regional. Esto refuerza la idea de que la química verde, en el contexto de la didáctica de las ciencias experimentales, ha sido abordada principalmente desde problemáticas, intereses y enfoques propios de Iberoamérica.

En la siguiente tabla se analiza el número de publicaciones por año.

Tabla 5. Publicaciones por año

Año	Número de publicaciones
2018	3
2019	4
2020	2
2021	3
2022	3
2023	4
2024	2
2025	1

Fuente. Elaboración propia



Gráfica 2. Cantidad de artículos por año. Elaboración propia.

En la gráfica 2 se observa la tendencia de publicaciones por año. Al respecto, se destaca que en los años 2019 y 2023 se realizaron 4 publicaciones en cada uno (18,18% por cada año). En los años 2018, 2021 y 2022 se registraron 3 publicaciones por año (13,64% por cada año), mientras que en 2020 y 2024 se presentaron 2 publicaciones por año (9,09% por cada año). Finalmente, en el año 2025 se registró 1 publicación (4,55%).

De acuerdo con lo anterior, puede afirmarse que los años con mayor producción de artículos científicos fueron 2019 y 2023, los cuales concentran conjuntamente el 36,36% de los artículos totales analizados. Por otra parte, en 2025 la producción de artículos se redujo a una sola publicación, lo que representa el 4,55% del total. Esto permite inferir que, para dicho año, la producción de conocimiento sobre química verde en revistas especializadas en

didáctica de las ciencias experimentales fue relativamente inferior en comparación con años anteriores.

Finalmente, cabe señalar que 22 artículos en un periodo de ocho años siguen representando una producción científica reducida. Esto resulta significativo si se tiene en cuenta que cada revista estudiada publica, en promedio, cuatro números al año y que cada revista cuenta con una media de 14 artículos por número. En consecuencia, se estima que entre 2018 y 2025 se produjeron alrededor de 2100 artículos, en los que aquellos relacionados con química verde representan aproximadamente el 1% de la producción científica total.

Además, es importante señalar que, aunque la producción enfocada en química verde representa únicamente el 1% de la producción total de las revistas analizadas, se evidencia un incremento respecto a estudios anteriores, como el realizado por Franco y Ordoñez en 2020, en los que se identificaron 39 artículos durante el periodo 2002-2018. Por otro lado, la presente investigación identificó 22 artículos en el periodo 2018-2025, lo que evidencia un incremento aproximado del 12,8% en la producción de química verde en el periodo más actual. Este aumento, aunque moderado, es significativo si se tiene en cuenta que el campo de la didáctica de las ciencias experimentales suele presentar un crecimiento gradual.

Esta tendencia plantea una consolidación progresiva de la química verde como línea de investigación en el ámbito educativo. En otras palabras, no se trata de un incremento exponencial, sino más bien de una expansión sostenida. Esto puede interpretarse como un proceso de maduración del campo, en el cual la temática comienza a estabilizarse dentro de las agendas de investigación.

Dado que en las diferentes secciones de los artículos se encontraron alusiones relacionadas con el enfoque de química verde, se realizó una clasificación específica con los siguientes criterios. La marca (X) indica las secciones de los manuscritos en las que se aborda dicho enfoque.

Tabla 6. Criterios de clasificación de los artículos.

Cód.	Idioma	Título	Palabras clave	Resumen	Contenido	Bibliografía
01	Español	X	X	X	X	X
02	Portugués			X	X	X
03	Español	X	X	X	X	X
04	Portugués		X		X	X
05	Portugués	X	X	X	X	X
06	Portugués			X	X	X
07	Portugués	X	X	X	X	X
08	Español	X	X	X	X	X
09	Español	X	X	X	X	X
10	Español		X	X	X	X
11	Portugués	X	X	X	X	X
12	Español	X	X	X	X	X
13	Portugués			X	X	X
14	Portugués	X		X	X	X
15	Portugués	X	X	X	X	X
16	Portugués	X		X	X	X

17	Portugués	X	X	X	X	X
18	Portugués	X	X	X	X	X
19	Portugués	X	X	X	X	X
20	Español	X	X	X	X	X
21	Portugués	X	X	X	X	X
22	Portugués	X	X	X	X	X
Total de menciones		17	17	21	22	22

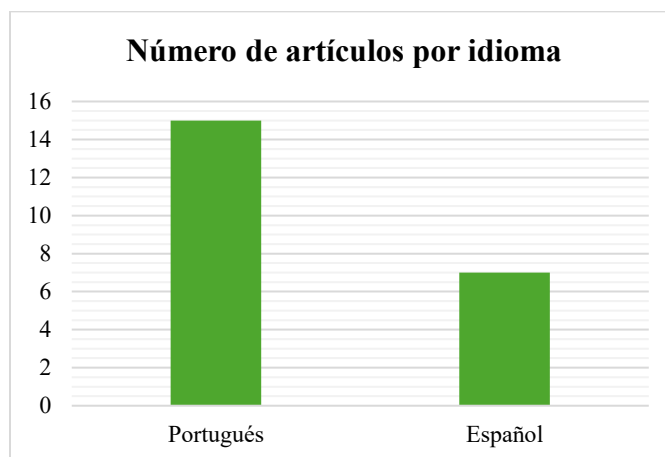
Fuente. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran las publicaciones por idioma.

Tabla 7. Publicaciones por idioma

Idioma	Número de publicaciones
Portugués	15
Español	7

Fuente. Elaboración propia



Gráfica 3. Cantidad de artículos por idioma. Elaboración propia.

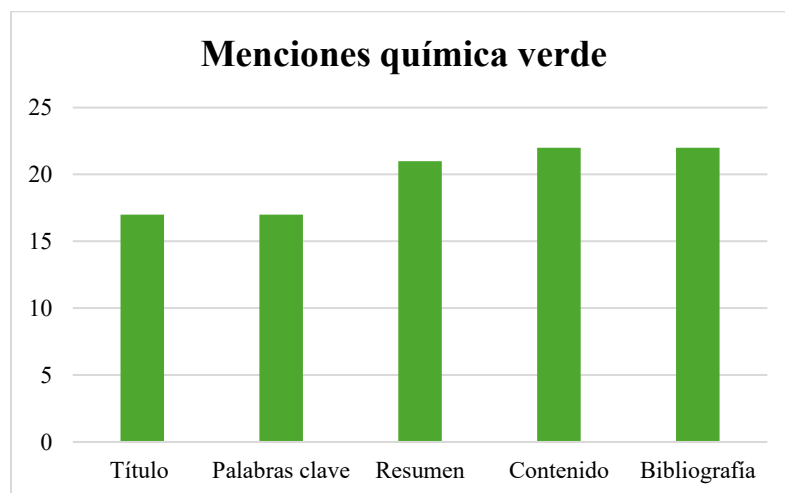
A partir de la gráfica 3 se identifica el idioma en el que se encuentran los artículos analizados: predominantemente en portugués, con 15 artículos (68%), y en español, con 7 artículos (32%). Con base en lo anterior, puede afirmarse que una parte significativa de las publicaciones sobre química verde en revistas especializadas en didáctica de las ciencias se presenta en portugués; por lo tanto, la producción científica tiende a concentrarse en países de habla portuguesa.

En la siguiente tabla se realiza el conteo de las menciones de química verde a lo largo de los artículos.

Tabla 8. Menciones de química verde.

Sección de los artículos	Menciones Química verde
Título	17
Palabras clave	17
Resumen	21
Contenido	22
Bibliografía	22

Fuente. Elaboración propia



Gráfica 4. Secciones de los artículos donde se hace alusión a la QV. Elaboración propia.

La gráfica 4 presenta la distribución de las menciones de la química verde en diferentes secciones de los artículos analizados: título, palabras clave, resumen, contenido y bibliografía. Se evidencia que la mayor frecuencia de mención se concentra en el contenido (22) y la bibliografía (22), seguidas del resumen (21), mientras que el título y las palabras clave registran valores menores (17 en ambos casos).

Lo anterior sugiere que la química verde posee una fuerte presencia a nivel del desarrollo interno de los artículos, particularmente en la construcción teórica y la fundamentación bibliográfica. El alto número de menciones en la bibliografía indica que los autores de los artículos fundamentan su trabajo en marcos conceptuales relacionados con la química verde, lo que evidencia su reconocimiento como un campo de estudio relevante en la didáctica de las ciencias experimentales.

Por otra parte, la alta presencia en el contenido y los resúmenes permite deducir que la química verde no se restringe a un elemento accesorio, sino que forma parte del eje argumentativo y metodológico de las investigaciones, integrándose en el análisis, la discusión o la implementación de propuestas didácticas. No obstante, cabe resaltar la escasa frecuencia de menciones en química verde en secciones como el título y en las palabras clave. Lo que puede implicar que, pese a la presencia de la química verde en el desarrollo de las investigaciones, no siempre se ubica como núcleo principal o como categoría primordial de

indexación. Esta situación puede afectar la recuperación de los artículos en las bases de datos y, en consecuencia, restringir su visibilidad dentro de la comunidad científica.

Finalmente, estos resultados permiten discernir que la química verde se encuentra parcialmente integrada en la producción científica. Si bien su incorporación a nivel conceptual y argumentativo es notable, su posición estratégica en los metadatos del artículo (título y palabras clave) aún es escasa. Por esta razón, surge la necesidad de fortalecer prácticas de redacción académica que reconozcan la relevancia de destacar explícitamente este enfoque, especialmente en un campo emergente que aspira a consolidarse.

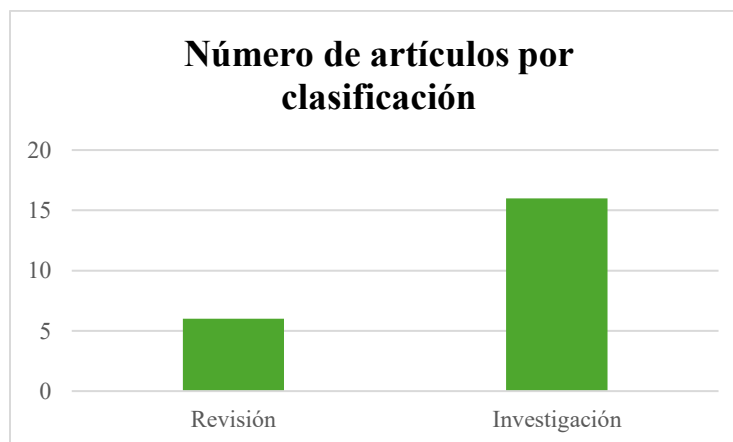
Eje 2. Áreas temáticas, tendencias académicas y tipologías de las publicaciones.

En la siguiente tabla se clasifican las publicaciones por su tipología

Tabla 9. Clasificación de los artículos

Clasificación de artículos	Número de artículos
Revisión	6
Investigación	16

Fuente. Elaboración propia



Gráfica 5. Cantidad de artículos por clasificación. Elaboración propia.

En la gráfica 5 se presenta la distribución de los artículos según su tipología, la cual se encuentra diferenciada entre artículos de investigación (AI) y artículos de revisión (AR). Los resultados muestran un claro predominio de los artículos de investigación, con 16 publicaciones, que representan el 73% del total analizado, frente a 6 artículos de revisión, que corresponden al 27%.

El predominio de los artículos de investigación sugiere que la comunidad académica está priorizando la generación de conocimiento a partir de estudios aplicados, como intervenciones en el aula, diseños de propuestas didácticas, implementación de prácticas de laboratorio o análisis de procesos de enseñanza-aprendizaje relacionados con la química verde. Desde esta perspectiva, la alta fracción de AI puede entenderse como un indicio de que la química verde no solo se está considerando como un marco teórico, sino como un campo en proceso de convertirse en un enfoque didáctico, en el que se busca validar estrategias pedagógicas y evaluar su impacto en contextos educativos reales.

Por otro lado, la baja cantidad de AR resalta una posible debilidad en los procesos de sistematización teórica del campo. Los AR juegan un papel clave en el desarrollo de líneas de investigación, ya que permiten integrar resultados, identificar tendencias, reconocer vacíos y guiar futuras agendas de investigación. En este sentido, el 27% de participación de los AR, aunque no es significativamente bajo, sugiere que aún hay margen para mejorar este tipo de producción.

En conjunto, estos resultados reflejan un campo en desarrollo, donde predomina la producción práctica. Sin embargo, se necesita un mayor equilibrio con estudios de revisión que ayuden a estructurar su base teórica y epistemológica. Por lo tanto, se hace preciso promover investigaciones que no solo generen evidencias del contexto educativo, sino que también ayuden a integrar y articular el conocimiento existente. Esto fortalece la consolidación de la química verde como una línea de investigación en didáctica de las ciencias experimentales.

Tras la organización de los artículos, el análisis del discurso educativo, pedagógico y didáctico de las publicaciones dio lugar a una matriz. Esta clasificación conceptual no es una división aleatoria de los textos, sino una jerarquización epistemológica de los niveles presentes en los procesos de enseñanza. Las tendencias educativas se sitúan en el nivel macro del sistema y responden principalmente a los objetivos de las instituciones, así como a los valores y contextos sociopolíticos que explican el propósito de enseñar ciencias. En los artículos analizados, las menciones a la química verde funcionan como impulsores de macropolíticas destinadas a cambiar los perfiles ciudadanos y profesionales. En este nivel se destacan las siguientes líneas.

La renovación curricular se consolida como una de las apuestas de mayor relevancia conceptual en los artículos analizados. Los resultados muestran que la renovación curricular es necesaria para cambiar la forma tradicional de enseñar química, que se basaba en modelos descontextualizados y algorítmicos. Ahora se busca incluir la química verde en el currículo de diferentes niveles educativos (Anastas y Warner, 1998; Zuin et al., 2021).

En cuanto a la educación para el desarrollo sostenible, se busca enseñar la química de manera que se considere la protección del ambiente y la agenda 2030 de la UNESCO. Los resultados documentales indican que la EDS cambia la forma de entender la educación científica, buscando dar a los futuros profesionales habilidades completas para resolver problemas actuales sin dañar el equilibrio ambiental del planeta (Vilches y Gil Pérez, 2013).

Por otro lado, la formación integral es importante para complementar las reformas curriculares, ya que se enfoca en el desarrollo ético y social de los estudiantes. Esto se debe a que busca ir más allá de la instrucción técnica y operativa de la química, promoviendo una combinación sólida entre la excelencia en el saber químico y el ejercicio de una ciudadanía ambientalmente responsable (Morin, 1999).

Finalmente, el enfoque Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) se considera importante porque ofrece una visión pública y contextualizada de la ciencia. Los artículos analizados utilizan este enfoque para examinar de manera sistémica las interacciones entre la química, la producción industrial, las decisiones gubernamentales y su impacto ambiental (Aikenhead, 2005).

Las tendencias pedagógicas se ubican a un nivel meso, ayudando a entender cómo se aprende y como se enseña. Estas tendencias dicen por qué los profesores y los estudiantes interactúan de cierta manera en el aula. Al estudiar la educación en química verde en Iberoamérica, se encontró que los modelos constructivistas y socio-críticos son muy comunes.

El aprendizaje activo se define como una postura pedagógica que busca cambiar la forma tradicional de enseñar. En lugar de que el profesor sea el que habla todo el tiempo, el estudiante se convierte en el actor principal de su propio proceso de aprendizaje. Esto significa que el estudiante tiene más control sobre lo que aprende y cómo lo aprende (Prince, 2004).

La formación y la pedagogía críticas también son fundamentales en la educación en química verde. Esto se debe a que la química verde busca cambiar la forma en que producimos y consumimos cosas. El fin es que los estudiantes puedan pensar de manera crítica y reflexiva sobre los problemas ambientales y sociales, y puedan proponer soluciones (Freire, 1970; Hodson, 2010).

El aprendizaje significativo es otro enfoque pedagógico que se centra en que los estudiantes procesen la información. Esta tendencia se caracteriza en la muestra por asegurar que los conceptos teóricos de la sustentabilidad y las métricas verdes no se asimilen de manera memorística, sino que se conecten de manera lógica con su entorno (Ausubel, 1968; Moreira, 2012).

Finalmente, el trabajo colaborativo se centra en la cooperación y el diálogo. Los estudiantes trabajan juntos para aprender y resolver problemas, en lugar de hacerlo de manera individual. Esto es importante debido a que las ciencias y la investigación contemporánea requieren que las personas trabajen juntas para resolver problemas complejos (Johnson, 1994).

Las tendencias didácticas representan el nivel micro, es decir, la transposición práctica y la operativización de los saberes en el escenario vivo del aula y los laboratorios; responden al cómo enseñar contenidos específicos de la disciplina. En los documentos revisados, este nivel describe herramientas y secuencias diseñadas de manera intencional para poner en práctica el enfoque de sustentabilidad.

El trabajo práctico de laboratorio (TPL) es la tendencia didáctica que más se repite en todos los documentos de la investigación. Esto cambia mucho la forma en que se enseña y se centra en cambiar las guías tradicionales, a través de la sustitución de reactivos de alta toxicidad por productos naturales de bajo riesgo, el escalamiento a microescala, la optimización energética y la aplicación de métricas de masa para la reducción y minimización de residuos peligrosos (Izquierdo et. al., 1999; Morales-Giraldo et al., 2019).

Las propuestas didácticas, como las unidades y secuencias, son planes detallados que el profesor prepara de manera minuciosa para facilitar el aprendizaje de conceptos químicos concretos de acuerdo con los doce principios de la química verde (Sanmartí, 2000).

La interdisciplinariedad se clasifica didácticamente por la necesidad de quebrar las fronteras rígidas de la química aplicada en el entorno escolar, combinando la química con saberes de la ecología, la biología, la ingeniería y la economía, para que los estudiantes

tengan una visión más completa de las ciencias. Se caracteriza por ser un recurso metodológico indispensable para que los estudiantes modelen y resuelvan problemas ambientales complejos que, por su naturaleza sistémica, resultan inabordables desde una sola disciplina (Sjostrom y Talanquer, 2014).

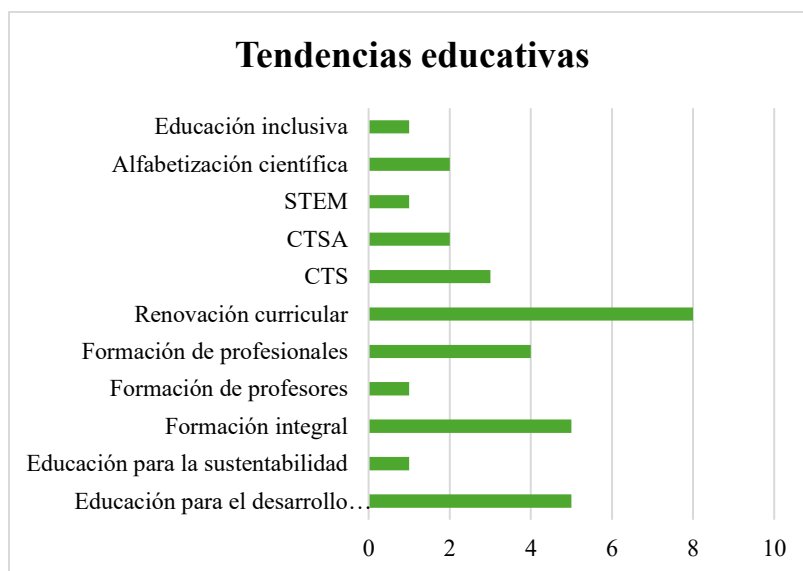
El aprendizaje basado en contexto y las dimensiones sociocientíficas son estrategias didácticas que anclan deliberadamente la enseñanza química a fenómenos, controversias o realidades del entorno local del estudiante. Se caracterizan por utilizar la realidad empírica y cotidiana como el motor y el eje motivacional para articular y dar sentido a los contenidos disciplinares específicos de la materia (Gilbert, 2006; Martínez-Pérez, 2018).

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta la siguiente tabla de clasificación para las diferentes tendencias.

Tabla 10. Tendencias educativas, pedagógicas y didácticas.

Tipo	Tendencia	Cantidad
Educativas	Educación para el desarrollo sostenible	5
	Educación para la sustentabilidad	1
	Formación integral	5
	Formación de profesores	1
	Formación de profesionales	4
	Renovación curricular	8
	CTS	3
	CTSA	2
	STEM	1
	Alfabetización científica	2
	Educación inclusiva	1
Pedagógicas	Aprendizaje activo	8
	ABP	2
	Aprendizaje significativo	4
	Pedagogía constructivista	1
	Pedagogía crítica	3
	Formación crítica	8
	Trabajo colaborativo	3
	Estilos de aprendizaje	1
Didácticas	Secuencias didácticas	1
	Resolución de problemas	1
	Dimensiones sociocientíficas	2
	Interdisciplinariedad	4
	Propuesta didáctica	5
	Desarrollo de habilidades prácticas	2
	Desarrollo de competencias científicas	2
	Desarrollo de habilidades científicas	1
	Desarrollo de habilidades investigativas	1
	TPL	7
	Aprendizaje basado en contexto	2
	AVA	2

Fuente. Elaboración propia



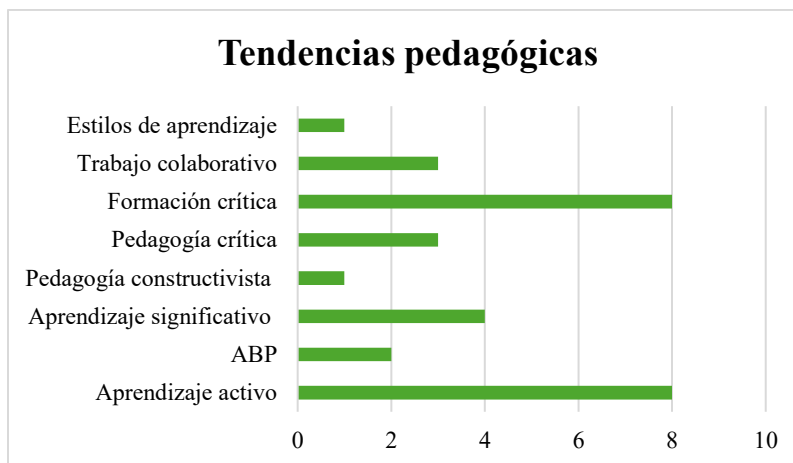
Gráfica 6. Tendencias educativas. Elaboración propia.

Los resultados evidencian que la renovación curricular (8) y la educación para el desarrollo sostenible (5), junto con la formación integral (5), constituyen las tendencias educativas más representativas. Este predominio sugiere que la química verde se está posicionando como un eje articulador en procesos de transformación curricular, orientado a responder las demandas actuales de sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

Se pueden ver enfoques como CTS (3) y CTSA (2) que refuerzan esta implementación, ya que estos enfoques promueven la comprensión de la relación entre la ciencia y su impacto en la sociedad y el ambiente. Esto es muy coherente con los principios de la química verde. Entonces, se puede decir que la producción científica analizada muestra una alineación con enfoques educativos que buscan enseñar la química de manera más contextualizada y no solo de forma tradicional.

Por otro lado, hay tendencias como la alfabetización científica (2), educación inclusiva (1) y STEM (1) que presentan una menor frecuencia. Aunque están presentes, aún no forman parte de los ejes centrales en la integración de la química verde. Sin embargo, esto podría ser una oportunidad de articulación futura, especialmente en cuanto a la inclusión y la interdisciplinariedad.

En resumen, las tendencias educativas muestran que la química verde se está incorporando principalmente en los cambios curriculares y la formación de ciudadanos críticos que puedan pensar de manera crítica sobre los problemas ambientales.



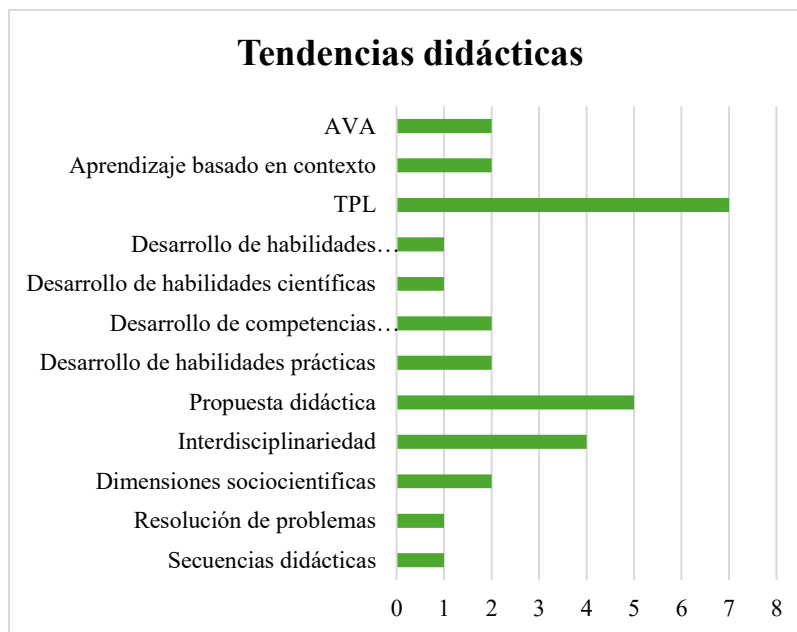
Gráfica 7. Tendencias pedagógicas.

En el ámbito pedagógico, hay una clara preferencia por el aprendizaje activo (8) y la formación crítica (8). Esto significa que los enfoques se centran en el estudiante y en el desarrollo del pensamiento reflexivo. Este resultado es coherente con la naturaleza de la química verde, que implica tomar decisiones informadas y evaluar impactos ambientales.

El aprendizaje significativo (4) y el trabajo colaborativo (3) también presentan una presencia importante. Esto muestra que las propuestas pedagógicas buscan fortalecer la construcción de conocimiento a partir de la interacción social y la conexión con saberes previos. Asimismo, la pedagogía crítica (3) refuerza la idea de que la enseñanza de la química verde no se limita a contenidos conceptuales, sino que incorpora dimensiones éticas y sociales. Esto promueve la reflexión sobre el papel de la química en la sociedad y el ambiente.

Por otro lado, enfoques como la pedagogía constructivista (1), el ABP (2) y estilos de aprendizaje (1) tienen menos representación. Esto podría indicar que, aunque están presentes, no son los enfoques pedagógicos principales ni los más explícitamente declarados en los estudios analizados.

En general, esto muestra una tendencia pedagógica hacia la transición a modelos de enseñanza más participativos, críticos y centrados en el estudiante. Esto es coherente con los retos formativos que plantea la química verde.



Gráfica 8. Tendencias didácticas. Elaboración propia.

En la gráfica 8, el trabajo práctico de laboratorio (TPL) (7) destaca mucho, seguido por las propuestas didácticas (5) y la interdisciplinariedad (4). Esto muestra que la química verde se está implementando principalmente a través de estrategias concretas de enseñanza, en las que la experimentación y el diseño de actividades ocupan un lugar central.

El uso de los TPL implica que el laboratorio escolar se está redefiniendo. Ahora se enfoca en prácticas más seguras, sostenibles y contextualizadas, en concordancia con los principios de la química verde. Por otra parte, la interdisciplinariedad muestra la necesidad de abordar problemáticas más complejas que trascienden los límites de la química como una disciplina aislada.

Otras tendencias, como el aprendizaje basado en contexto (2), las dimensiones sociocientíficas (2), los AVA (2) y el desarrollo de competencias científicas (2), reflejan una diversificación de las estrategias didácticas.

Finalmente, las tendencias didácticas muestran que la integración de la química verde se materializa principalmente a un nivel operativo del aula, a través de actividades prácticas y propuestas aplicadas; sin embargo, aún existe un margen para fortalecer enfoques más estructurados y basados en la investigación escolar.

6.2. Eje 3. Aportes de la producción bibliográfica relacionada con química verde al ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias.

A continuación, se muestra un análisis complementario de las citaciones realizadas en los artículos estudiados, en relación con el enfoque de química verde, para lo cual se tuvieron en cuenta los títulos de los artículos citados y referenciados, las revistas en las que fueron publicados, el idioma de las publicaciones, entre otros.

Tabla 11. Estudio de citas y referencias con enfoque en química verde.

Cód.	Número de referencias con enfoque en Q.V.	Revistas referenciadas	Idiomas de las referencias
01	4	Educación Química Catalysis Today	Español (3) Inglés (1)
02	16	Educação Química em Ponto de Vista Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências Química Nova Chemical Society Reviews Journal of Chemical Education Minerva The Royal Society of Chemistry Spring Sustainable Chemistry and Pharmacy Sustainable chemistry	Portugués (3) Inglés (13)
03	3	Avances en Ciencias e Ingeniería. Educación química.	Español (3)
04	4	Educación Química. Food and Bioproducts Processing. Sustainable Chemical Processes. Green Chemistry	Español (1) Inglés (3)

05	7	Educación química. Química Nova Accounts of chemical research	Portugués (5) Inglés (2)
06	5	Química Nova Mestrado em química para o ensino Chemistry Education Research and Practice	Portugués (4) Inglés (1)
07	3	Rev Virtual Química Revista Brasileira de Ensino de Química Foundations of Chemistry	Portugués (2) Inglés (1)
08	28	Educación Química Tecné, Episteme y Didaxis Escenarios Química Nova Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Enseñanza de las ciencias Alambique Ciencia e ingeniería Neogranadina Journal of chemical education	Español (19) Portugués (5) Inglés (4)
09	39	Educación Química Ciencia e Ingeniería Neogranadina Química verde Revista Noria Investigación Educativa	Español (14) Portugués (4) Inglés (21)
10	3	Educación química	Español (1)

			Inglés (2)
11	16	Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas Química Nova Educación Química Matogrosso: Universidade Federal do Mato Grosso ACS Symposium Series Green Chemistry	Portugués (10) Español (3) Inglés (3)
12	10	Educación química Revista Educação Química em Punto de Vista Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Revista de Investigación e Innovación Educativa Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry International Journal of environmental Reach and Public Health Green Chemistry	Español (4) Portugués (2) Inglés (4)
13	3	Química Nova Chemical Society Reviews	Portugués (1) Inglés (2)
14	2	Química Nova Educación Química	Portugués (2)
15	6	Educación Química Boletim da Sociedade Portuguesa de Química Revista Ensaio	Portugués (5) Español (1)

		Enseñanza de Las Ciencias	
16	13	Acta Tecnológica Química Nova Revista Brasileira de Ensino de Química Revista Debates em Ensino de Química Dissertação de Mestrado Catalysis Today Chemistry Education Research and Practice Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry	Portugués (9) Inglés (4)
17	8	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências Química Nova Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento Green chemistry: designing chemistry for the environment. ACS Symposium Series Foundations of Chemistry Journal of Chemical Education	Portugués (3) Inglés (5)
18	15	Química y Medio Ambiente Boletim da Sociedade Portuguesa de Química Revista de Química Industrial Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Revista Virtual de Química	Español (2) Portugués (6) Inglés (7)

		Química Nova Chemical Society Reviews Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry Foundations of Chemistry Journal of Chemical Education	
19	7	Química Nova Química Nova na Escola Green Chemistry Education. Pure and Applied Chemistry	Portugués (3) Inglés (4)
20	35	Educación Química Boletim da Sociedade Portuguesa de Química Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Química Nova Revista Virtual de Química Accounts of Chemical Research Journal of Chemical Education Technological Forecasting & Social Change The Chemist International Journal of Sustainability in Higher Education Worldwide Trends in Green Chemistry Foundation of Chemistry Green Chemistry	Español (3) Portugués (10) Inglés (22)

		Science Education Research and Education for Sustainable Development	
21	11	Educación Química Química Nova Enseñanza de las Ciencias Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências Chemical Education Research and Practice	Español (4) Portugués (5) Inglés (2)
22	30	Educação Química en Punto de Vista Química Nova Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry Journal of Chemical Education .Energy Environ Sci Sustainable Chemistry and Pharmacy American Association for the Advancement of Science Physical Sciences Reviews Angewandte Chemie International Edition Found Chemistry Saudi Pharmaceutical Journal Worldwide Trends in Green Chemistry Science & Education Science Technology and Human Values	Portugués (5) Inglés (25)

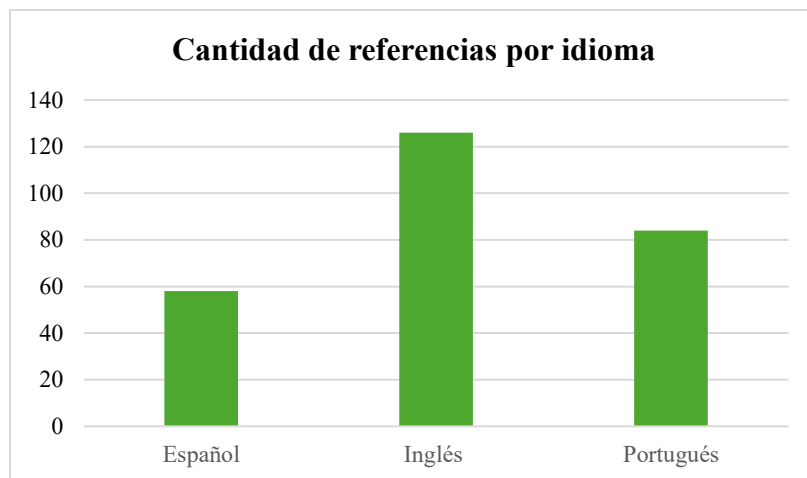
Fuente. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se realiza un conteo de los idiomas en los que se presentan las referencias citadas en cada una de las publicaciones.

Tabla 12. Idioma de las referencias citadas en los artículos.

Idioma referencias	Cantidad de referencias
Español	58
Inglés	126
Portugués	84

Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 9. Referencias por idioma. Elaboración propia.

En la gráfica 9 se muestran las referencias por idioma, en la que, en primer lugar, se encuentran las referencias en inglés, con 126 referencias (47%); le siguen las referencias en portugués, con 84 (31%) y, por último, las referencias en español con 58 (22%).

De lo anterior, se puede inferir que la mayoría de los artículos publicados enfocados en química verde se encuentran en inglés, lo que demuestra una concentración de la producción de conocimiento científico hacia los países angloparlantes.

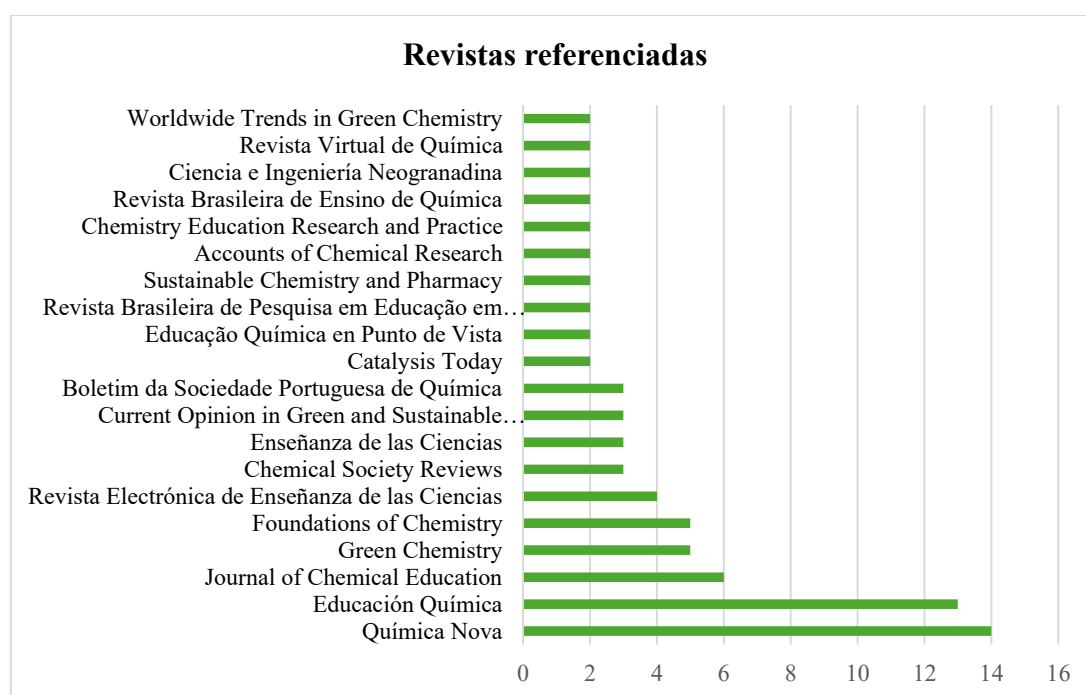
En la siguiente tabla se describen las revistas citadas en las publicaciones y la cantidad de veces que es mencionada.

Tabla 13. Revistas citadas.

Revista	Número de veces que aparece
Química Nova	14
Educación Química	13
Journal of Chemical Education	6
Green Chemistry	5
Foundations of Chemistry	5
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	4
Chemical Society Reviews	3
Enseñanza de las Ciencias	3
Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry	3
Boletim da Sociedade Portuguesa de Química	3
Catalysis Today	2
Educação Química em Punto de Vista	2

Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	2
Sustainable Chemistry and Pharmacy	2
Accounts of Chemical Research	2
Chemistry Education Research and Practice	2
Revista Brasileira de Ensino de Química	2
Ciencia e Ingeniería Neogranadina	2
Revista Virtual de Química	2
Worldwide Trends in Green Chemistry	2

Fuente. Elaboración propia.



Gráfica 10. Cantidad referencias por revista. Elaboración propia.

En la gráfica 10 se identifican las revistas más referenciadas en los artículos analizados. En primer lugar, se encuentra la revista Química Nova con 14 menciones (17,7%); en segundo lugar, está la revista Educación Química, con 13 referencias (16,5%); en tercer lugar, está la revista Journal of Chemical Education, con 6 referencias (7,6%). En cuarto lugar, se encuentran las revistas Green Chemistry y Foundations of Chemistry, con 5 menciones cada una (6,3% cada revista). En quinto lugar, se encuentra la Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, con 4 referencias (5,1%). Por último, se encuentran las revistas Chemistry Society Reviews, Enseñanza de las Ciencias, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, con 3 menciones cada una (3,8% cada revista).

En los diferentes artículos se identifica bibliografía publicada en revistas de alto prestigio, como la Journal of Chemical Education, Chemical Society Reviews, The Royal Society of Chemistry, Spring, entre otras.

7. CONCLUSIONES

El análisis de la producción científica permite concluir que la química verde, en el ámbito de la didáctica de las ciencias experimentales en Iberoamérica, se encuentra en un proceso de desarrollo emergente con tendencias a una consolidación progresiva. Aunque la cantidad de publicaciones identificadas (22 artículos en 8 años) representa una producción reducida frente al total de la producción académica en dicho periodo, al comparar con estudios realizados en periodos anteriores, se evidencia un crecimiento sostenido.

Esta situación muestra directamente el problema de investigación. La química verde no es aún una línea central dentro de la investigación en didáctica de las ciencias, pero sí muestra claras señales de incorporarse en las agendas académicas. La continua presencia de publicaciones sugiere que el campo de la química verde ya pasó la fase inicial de introducción conceptual y avanza hacia una etapa de apropiación didáctica.

En este sentido, se puede concluir que la química verde no debe entenderse como un tema secundario, sino como un campo en expansión. Su consolidación dependerá del fortalecimiento de las comunidades investigativas, la diversificación de enfoques y de que se integren de manera sistemática en los procesos de enseñanza de la química.

Los resultados dan evidencia de una alta concentración de la producción científica, tanto a nivel editorial como geográfico, lo que implica unos hallazgos clave en el estudio. La predominancia de revistas específicas y la participación mayoritaria de autores brasileños indica que el desarrollo del campo no es homogéneo en la región.

Esta situación revela una desigualdad en la generación y circulación del conocimiento, en donde ciertos países y comunidades académicas lideran la investigación, mientras otros presentan una participación limitada. En coherencia con los objetivos de esta investigación, este hallazgo permite comprender no solo qué se investiga, sino también quién produce el conocimiento y desde dónde se produce.

En consecuencia, se concluye que la consolidación de la química verde en didáctica de las ciencias requiere procesos de descentralización académica, en la que se promueva la participación de más países, instituciones y grupos de investigación, con el fin de promover las perspectivas y ampliar el impacto de la química verde.

El predominio de los artículos de investigación (73%) frente a la revisión (27%) permite concluir que la química verde se está desarrollando principalmente desde un enfoque aplicado, centrándose en la implementación de propuestas didácticas y experiencias en el aula.

Por lo cual los resultados evidencian cómo se está construyendo el conocimiento en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales. Sin embargo, también se pone de manifiesto una debilidad estructural en la sistematización teórica, lo que limita la consolidación epistemológica de la química verde como línea de investigación.

Por lo tanto, se concluye que, si bien el campo presenta avances significativos en la práctica educativa, es necesario fortalecer la producción de estudios de revisión y

análisis teórico que permitan integrar, organizar y proyectar el conocimiento científico existente, favoreciendo su madurez académica.

Teniendo en cuenta la caracterización metodológica de cada uno de los artículos realizada en la tabla 2, la producción científica en educación en química verde en Iberoamérica en el periodo 2018-2025 no solo se fragmenta en sus intenciones conceptuales, sino que exhibe una correlación entre las tendencias declaradas y el diseño metodológico de los investigadores. En primer lugar, las tendencias educativas operan fundamentalmente desde enfoques cualitativos de alcance analítico documental, caracterizados por la interpretación y el análisis de contenidos aplicados a mallas temáticas, planes de estudio curricular en diferentes niveles del sector educativo, así como propuestas de alternativas curriculares; en segundo lugar, las tendencias pedagógicas identificada en las publicaciones prevalecen los diseños metodológicos correspondientes a casos de estudio y la investigación formativa, utilizando como instrumentos la recolección de información cuestionarios de respuesta abierta, entrevistas semiestructuradas y matrices de seguimiento de grupos focales. Se caracterizan metodológicamente por permitir el desarrollo de pensamiento crítico y la reconfiguración conceptual de docentes en formación, así como el punto de vista de los estudiantes hacia el riesgo químico y la crisis socioambiental. En tercer lugar, las tendencias de origen didáctico corresponden a investigaciones con un enfoque mixto y el diseño de propuestas de investigación-acción en el aula, caracterizándose por el diseño, implementación y validación de secuencias de enseñanza-aprendizaje, unidades didácticas y guías de laboratorio modificadas.

Los trabajos prácticos de laboratorio constituyen el núcleo metodológico experimental más dinámico del campo, caracterizado por hibridación analítica. Los artículos adscritos a esta tendencia no limitan su metodología a la evaluación cualitativa del aprendizaje conceptual, sino que integran métricas desde la química verde. Esta combinación de variables cualitativas y cuantitativas dotan a la química verde de un rigor praxeológico único, demostrando empíricamente la viabilidad de la transición hacia laboratorios escolares menos contaminantes, sin vertimientos y más seguros.

Por otro lado, las tendencias revelan una articulación coherente entre los factores educativos, pedagógicos y didácticos, lo que constituye uno de los principales aportes de la producción científica analizada. Desde un nivel educativo, se ve el predominio de una orientación hacia la sostenibilidad y la renovación curricular; desde un punto de vista pedagógico, se destacan enfoques activos y críticos y desde la didáctica, se evidencia una fuerte presencia de estrategias prácticas, especialmente TPL.

Esta coherencia sugiere que la química verde no se está incorporando de manera fragmentada, sino como un enfoque integral que atraviesa diferentes dimensiones del proceso educativo. Particularmente, el énfasis en los laboratorios como un espacio de implementación refleja una resignificación de la enseñanza experimental, orientada hacia prácticas más seguras, sostenibles y contextualizadas.

Sin embargo, es importante señalar también los desafíos que se presentan todavía, como la baja presencia de enfoque inclusivos, el limitado desarrollo de habilidades investigativas y la escasa visibilidad del enfoque en elementos como el título y las palabras clave. Este aspecto, evidencia que, aunque el campo presenta avances

significativos, aun requiere procesos de profundización, diversificación y sistematización que permitan consolidar el enfoque de la química verde en la didáctica de las ciencias experimentales.

Al contrastar los hallazgos con el estudio realizado por Franco y Ordoñez (2020), quienes examinaron una ventana de 16 años (2002-2018) e identificaron 39 artículos, la presente investigación puntualiza nuevos aportes determinantes para el campo. En primer lugar, se constata la aceleración en la tasa de publicación por año para el periodo 2018-2025, lo que confirma el creciente interés de los investigadores. En segundo lugar, mientras que en el periodo basal la producción científica se centró en la formulación de justificaciones epistemológicas e instrucciones teóricas, el estudio realizado demuestra un desplazamiento hacia dimensiones didácticas, caracterizadas por la resignificación de los trabajos prácticos de laboratorio y la introducción de sistemas métricos verdes en las actividades experimentales.

A partir de este trabajo monográfico, se pone de presente la necesidad de realizar transformaciones en los currículos de ciencias en general y en los de química en particular, pues a la luz de la documentación analizada, la producción académica enfocada desde la educación en química verde refleja un compromiso de la comunidad académica por socializar en las aulas de clase, una versión de química no contaminante y con la cual se aporte en la configuración de un discurso y prácticas científicas socialmente responsables.

7.1. Recomendaciones y proyecciones

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se hace necesario presentar una serie de recomendaciones orientadas a fortalecer el desarrollo de la química verde en el campo de la didáctica de las ciencias experimentales en el contexto iberoamericano. En primer lugar, se evidencia la necesidad de promover una mayor producción teórica del campo, especialmente a través de artículos de revisión, estudios bibliométricos y análisis epistemológicos que permiten sistematizar el conocimiento existente. Si bien los estudios de carácter aplicado han contribuido significativamente en la implementación de propuestas didácticas, resulta fundamental avanzar hacia la construcción de marcos conceptuales sólidos que orienten y articulen futuras investigaciones.

En segundo lugar, se recomienda fortalecer las estrategias de visibilización de la química verde en la producción científica. Los resultados muestran que, aunque el enfoque está presente en el desarrollo de los artículos, no siempre se ve reflejado de manera explícita en elementos como el título y palabras clave. Esta situación puede reducir la recuperación de la información en bases de datos académicas y limitar el impacto de las investigaciones. Por tanto, es importante fomentar prácticas de escritura académica que contribuyan al posicionamiento de manera clara de la química verde como eje central de los estudios.

De igual manera, se sugiere ampliar la integración de la química verde en diferentes enfoques educativos, pedagógicos y didácticos. Aunque se identificó una fuerte presencia en tendencias de sostenibilidad, aprendizaje activo y el trabajo práctico de laboratorio, aún existen oportunidades de articulación con enfoques como la educación inclusiva, alfabetización científica. Esta diversificación permitirá

enriquecer las prácticas educativas y responder de manera más integral a las demandas actuales de la educación científica. En cuanto a las proyecciones, se plantea la necesidad de desarrollar investigaciones que profundicen en el impacto de la química verde en procesos de enseñanza-aprendizaje, particularmente en niveles de educación media, donde su presencia es limitada. Así también, se proyecta la realización de estudios comparativos entre países iberoamericanos que permitan identificar similitudes, diferencias y oportunidades de mejoras en la implementación de este enfoque.

Por otro lado, resulta pertinente avanzar en el diseño y evaluación de modelos curriculares que integren la química verde de manera transversal, articulándola con problemas ambientales, sociales y tecnológicos. En este sentido, la incorporación de herramientas digitales, AVA y simulaciones representa una línea de investigación con alto potencial, especialmente en contextos educativos mediados por las TIC's.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aikenhead, G. S. (2005). *Science Education for Everyday Life: Evidence-based Practice*. Teachers College Press.

Anastas, P. T., & Warner, J. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.

Andrade, R. da S., & Zeidler, V. G. Z. (2023). Proposições acerca da experimentação formativa para Educação Química. *Ciência & Educação* (Bauru), 29(e23012). <https://doi.org/10.1590/1516-731320230012>

Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart and Winston.

Badotti da Silva, D., De Mello Gonçalves, M., Dangui Kreve, Y., Paulo Nicolini, K., & Nicolini, J. (2018). Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base (parte II) extração e armazenamento. *Educación química*, 29(2), 3. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63702>

Caroline S. Velozo, M., Maria S. Ferraz, J., Lucas de C. Campos, J., Alberto da Silva Júnior, C., S. de Souza, N., & Marcone T. A. de Figueirêdo, A. (2024). Rota Verde: um jogo educativo e potencialmente inclusivo para o ensino de Química Verde para surdos. *Química Nova na Escola*, 46(4), 491–499. <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160386>

Carson, R. (1962). *Primavera silenciosa*. Barcelona. Crítica.

Collins, T. (1995). Introducing Green Chemistry in Teaching and Research. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/ED072P965>

da Silva Andrade, R., & Zuin Zeidler, V. G. (2025). A química verde e sustentável: Dos princípios à inserção na educação química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 24(1), 208–229.

de A. Domingues, L. (2022). Síntese do Ácido Acetilsalicílico: Síntese do Ácido Acetilsalicílico: Uma proposta para Laboratórios de Graduação Uma proposta para Laboratórios de Graduação empregando a Química Verdeempregando a Química Verde. *Química Nova na Escola*, 44(2), 105–114. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160301>

de Sousa, A. C., da Silva, C. E., & da Costa, T. T. (2020). A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 593–616.

Fajardo, I. A., López, D. R., Madrid, B. C., Osorio, F. R., & Martínez, J. C. (2023). Química verde para el profesorado en formación. *Alambique*, 111, 54–60. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8759060>

Fajardo Perafan, D. A., Arteaga, D. y Lenis Velasquez, L. A. (2023, julio-septiembre).

Diseño experimental con enfoque verde en la reacción de Kröhnke para la síntesis de

terpiridinas. *Educación Química*, 34(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.3.85009>

Franco, R. A. y Ordoñez, L. Y. (2020). El enfoque de química verde en la investigación en didáctica de las ciencias experimentales. Su abordaje en revistas iberoamericanas: 2002-2018. *Educación en Química*. 31(1) 84-104 DOI: <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.70414>

Franco-Moreno, R. A., & Quintero-Duque, L. X. (2022). La química verde: entre libros, fronteras y educación. *Boletín P.P.D.Q.*, (65), 3–5. Recuperado a partir de <https://revistas.upn.edu.co/index.php/PPDQ/article/view/17214>

Freire, P. (1970). *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI.

Gaspar, C. S., Damazio Bouzon, J., Brandão, J. B., y Chrispino, A. (2023, octubre-diciembre). Ensino de química verde no Brasil: mapeamento de publicações a partir da análise de redes sociais. *Educación Química*, 34(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.4.84696>

- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>

González-García, P. J., Pérez-Mendez, C., & Figueroa-Duarte, S. (2016). La enseñanza de la química desde la perspectiva de la Química Verde. *Revista científica*, 24, 24-40. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.rc.2016.24.a3>

Hodson, D. (2010). Science education as a call to action., *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*. 10(3), 197-206. <https://doi.org/10.1080/14926156.2010.504478>

Izquierdo, M., Sanmartí, N., & Espinet, M. (1999). Fundamentación y diseño de las prácticas escolares de Ciencias Experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 45-59.

Jacob, R. G., Silva, M. S., & Lenardão, D. H. e. E. (2022). *Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel através da Química Verde através da Química Verde*. 44(2), 173–182. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160307>

Johnson, D. W. (1994). *Cooperative learning in the classroom*. Association for Supervision and Curriculum Development, 1250 N. Pitt St., Alexandria, VA 22314.

Lemke, J. (1997). Aprender a hablar ciencias. Lenguaje, aprendizaje y valores. Barcelona: PAIDOS.

Linthorst, J. A. (2010). An overview: origins and development of green chemistry. *Foundations of Chemistry*, 12(1), 55–68. <https://doi.org/10.1007/s10698-009-9079-4>

Machado, A. A. S. C.. (2011). Da gênese ao ensino da química verde. *Química Nova*, 34(3), 535–543. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000300029>

Mangua, L. L. (2020). Energías alternativas en la investigación en didáctica de las ciencias. Análisis documental de la producción científica iberoamericana: 2000-2019.. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/12230>

Marques, C. A., & Machado, A. A. S. C. (2018). Una visión sobre propuestas de enseñanza de la Química Verde. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 19-43.

Martínez-Pérez, L. F. (2018). Cuestiones sociocientíficas en la enseñanza de las ciencias: Tendencias e implicaciones didácticas. *Revista de Investigación Educativa*, 36(2), 421-435.

Mateus, A. L. M. L., Machado, A. H., & Aguiar, P. A. (2019). Tabela de Tempo de Decomposição de Materiais: Contexto para a Abordagem de Química Ambiental no Ensino Profissional de Nível Médio. *Química Nova na Escola*, 41(3). <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160165>

Mello, F. D., Angnes Gomes, S. I. A., Giusti, E. D., Mendes Sandri, M. C., & Robaert, S. (2019). Determinação do grau de saponificação de óleo residual: uma experiência no ensino de Química sob as perspectivas CTSA e Química Verde. *Educación química*, 30(1), 21. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.1.64110>

Morales-Giraldo, L., Franco, R. A., & Pérez, R. (2019). Resignificación del trabajo práctico de laboratorio de química orgánica bajo principios de sustentabilidad ambiental. *Revista Colombiana de Química*, 48(2), 12-25.

Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. UNESCO.

Mendes Sandri, M. C. y Santin Filho, O. (2019). Os modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química. *Educación Química. Vol 30(4)*, 00-00. DOI: <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.4.68335>

Moreira, M. A. (2012). La Teoría del Aprendizaje Significativo Crítico: un referente para organizar la enseñanza contemporánea. *UNIÓN - REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA*, 8(31). Recuperado a partir de <https://www.revistaunion.org/index.php/UNION/article/view/835>

Murcia Fandiño, Jonathan Steven y Esquiaqui Marín, Luis Alfonso. (2021, abril-junio). Química verde aplicada en los residuos de universidades. *Educación Química*, 32(2). DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.2.76534>

Olarte, A. C. (2022). El enfoque de química verde en la formación de profesionales en áreas de la química en Colombia. Una cartografía documental. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12209/17958>

Olivia, del P. M., Gerardo, N. C. R., Omar, E. G. J., Francisco, M. J., Morales, C. R. V., Bertha, M. L., Miranda, R. S. R., & Cid, R. K. (2024). *Química verde. Principio por principio*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Pájaro Castro, N. P., & Olivero Verbel, J. T. (2011). Química verde: Un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 169–182. <https://doi.org/10.18359/rcin.265>

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

Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, 93(3), 223-231. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x>

Reyes-Sánchez, L. B. (2012). Aporte de la química verde a la construcción de una ciencia socialmente responsable. *Educación química*, 23(2), 222–229. [https://doi.org/10.1016/s0187-893x\(17\)30113-1](https://doi.org/10.1016/s0187-893x(17)30113-1)

Rüntzel, P. L., & Marques, C. A. (2022). Ambiente temático virtual de Química Verde para simulações de sínteses no Ensino de Química na perspectiva do

desenvolvimento sustentável. *Química Nova na Escola*, 44(2), 183–193. <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160308>

Sanmartí, N. (1998). *¿De que parlem, quan parlem d'educar i d'educar ambientalment?* Publicado en memorias del seminario sobre educación ambiental. Barcelona, España. Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Ciencias de la Educación, 1-8.

Sanmartí, N. (2000). El diseño de unidades didácticas. *Didáctica de las ciencias experimentales*, 1, 239-276.

Santos, K. M. S., Lima, L. M. A., Santos, T. S., & Pitanga, Â. F. (2021). Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, 43(4). <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160260>

Schneider da Luz, L. T., Adams Angnes Gomes, S. I., Casturina Mendes Sandri, M., De Mello, F., & Bolzan, J. A. (2019). Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos. *Educación química*, 30(2), 54. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.67393>

Sheldon, R. A., Bode, M. L., & Akakios, S. G. (2022). Metrics of green chemistry: Waste minimization. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100569>

Sjöström, J., & Talanquer, V. (2014). Humanizing chemistry education: From simple contextualization to multifaceted problematization. *Journal of Chemical Education*, 91(8), 1125-1131. <https://doi.org/10.1021/ed5000718>

Solis Torres, L. D., & Vega Botto, A. (2018). Sustitución de una práctica de Laboratorio con enfoque a Química Verde como herramienta para la reducción de residuos peligrosos. *Educación química*, 29(1), 110. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63809>

Vasilachis de Gialdino, I. (Coord.). (2019). Estrategias de investigación cualitativa: Volumen II. Gedisa. <https://books.google.com.co/books?id=8qm0DwAAQBAJ>

Ventapane, A. L. de S., & Santos, P. M. L. dos. (2021). Aplicação de princípios de Química Verde em experimentos didáticos: um reagente de baixo custo e ambientalmente seguro para detecção de íons ferro em água. *Química Nova na Escola*, 43(2). <https://doi.org/10.21577/0104-8899.20160253>

Vilches Peña, A., & Gil Pérez, D. (2013). La ciencia de la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación De Las Ciencias*, 10, pp. 749–762. Recuperado a partir de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2820>

Winterton, Neil. (2001). Twelve more green chemistry principles. *Green Chemistry*. 3. G73-G75. DOI <https://doi.org/10.1039/B110187K>

Zacconi, F., Gallego, F., Pabón, C., & Ratjen, L. (2024). Química Verde y políticas públicas: actualidad, desafíos y propuestas para un futuro sustentable. Centro Políticas Públicas UC. <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/publicacion/quimica-verde-y-politicaspUBLICAS-actualidad-desafios-y-propuestas-para-un-futuro-sustentable/>

Zuin, V. G., Eilks, I., Elschami, M., & Kümmerer, K. (2021). Education in green chemistry and in sustainable chemistry: perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, 23(4), 1594-1608. <https://doi.org/10.1039/D0GC03313H>

ANEXOS

Anexo 1

BASE DE DATOS CONSTRUIDA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

TRABAJO DE GRADO

LA EDUCACIÓN EN QUÍMICA VERDE EN IBEROAMÉRICA: ESTUDIO
DOCUMENTAL DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA (2018-2025)

REALIZADO POR

LUISA MARÍA AVENDAÑO SUÁREZ

BASE DE DATOS ARTÍCULOS SELECCIONADOS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Revista	Código- Título-Año- Volumen- Número	A Autores	Palabra s clave	Clasifica ción (tipología) artículo	Tend encias educativas- pedagógicas - didácticas	Te máticas centrales en química

Anexo 2

Rubrica de validación de recursos de indagación

Para la validación del recurso de indagación se propone la siguiente evaluación de carácter cuantitativo

3 = Alto cumplimiento

2 = Cumplimiento medio

1 = Bajo cumplimiento

Criterio	Descripción del criterio	Valoración
Pertinencia de los documentos	Relación directa de los artículos con química verde en didáctica de las ciencias	3
Claridad de criterios de selección	Definición explícita de cómo se eligieron los artículos	2
Consistencia en la clasificación	Uso uniforme de categorías (AR, AI, tendencias)	3
Exhaustividad de la información	Inclusión de variables relevantes (revistas, autores, tendencias, idioma, etc.)	3
Validez interna del análisis	Coherencia entre datos y su interpretación	3
Confiabilidad (replicabilidad)	Posibilidad de que otro investigador replique el estudio	2
Triangulación de datos	Cruce de diferentes variables en el análisis	3
Rigor en la categorización	Claridad y fundamentación de categorías analíticas	2
Coherencia con objetivos	Relación entre resultados, análisis y objetivos del estudio	3

Anexo 3
Pantallazos artículos seleccionados



Química verde para el profesorado en formación

Iriux Almodovar Fajardo, Damián Ruz López, Belén Campos Madrid
 Universidad de Santiago de Chile (USACH)
 Fernanda Rojas Osorio
 Liceo Pedro Poveda, Santiago de Chile
 Javiera Cardenas Martinez
 Universidad de Santiago de Chile (USACH)

A partir de la implementación de un curso de química verde para estudiantes de Pedagogía en Química y Biología cuyo objetivo era promover la incorporación de los principios de la química verde en la enseñanza de las ciencias, el proyecto final del curso permitió evidenciar el desarrollo de la capacidad para identificar problemáticas, así como para diseñar de forma coherente estrategias de intervención educativa.

PALABRAS CLAVE
 QUÍMICA VERDE
 EDUCACIÓN SUPERIOR
 SOSTENIBILIDAD



Proposições acerca da experimentação formativa para Educação Química

Propositions related to the formative experimentation for Chemical Education

Rosivânia da Silva Andrade¹
 Vânia Gomes Zúñ Zeidler²

¹Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Centro de Educação e Ciências Humanas, São Carlos, SP, Brasil.
 Autora Correspondente: rosivania.andrade@ufscar.br
²Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Química, São Carlos, SP, Brasil.

Resumo: Este artigo tem o objetivo de apresentar um desenho metodológico para atividades experimentais, que busca o desenvolvimento de uma formação crítica, por meio da transformação do pensamento, para uma consciência crítica sobre a ciência e suas relações sobre a realidade social, econômica e ambiental. Para tanto, os principais referenciais teóricos que configuram esta metodologia derivam da Teoria Crítica, a partir do conceito de formação crítica, das características que orientam o trabalho experimental investigativo e sobre as concepções e princípios da Química Verde e Sustentável. Baseada nessas perspectivas teórico-metodológicas emerge a *Abordagem Experimental Formativa* que, organizada em cinco fases, se propõe a contribuir na superação das visões simplistas que comprometem a compreensão sobre o papel da Experimentação e a construção de caminhos teóricos e metodológicos que viabilizem uma formação mais crítica para o Desenvolvimento Sustentável.

Palavras-chave: Ensino de química; Experimentação; Desenvolvimento sustentável; Formação crítica; Teoria crítica.

Abstract: This article aims to present a methodological design for experimental activities that seeks to develop a critical, reflexive education, through the change of mind and critical awareness of science and its relations to social, economic, and environmental realities. Therefore, the primary theoretical references that configure this methodology derive from Critical Theory, from the characteristics that guide investigative experimental work, and the concepts and principles of Green and Sustainable Chemistry. Based on these theoretical-methodological perspectives, the *Formative Experimental Approach* emerges, organized into five phases. The study aims to contribute to overcoming simplistic visions that compromise the understanding of the role of Experimentation and the construction of theoretical and methodological paths that enable a more critical approach to sustainable development.

Keywords: Chemistry teaching; Experimentation; Sustainable development; Critical training; Critical theory.

Recebido: 24/08/2022
 Aprovado: 13/12/2022



©ISSN 1980-858X. Todo o conteúdo deste periódico está sob uma licença Creative Commons [CC Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), exceto onde está indicado o contrário.



"Sustitución de una práctica de laboratorio con enfoque a Química Verde como herramienta para la reducción de residuos peligrosos".
 Adriana Vega Botto^a y Lijia Dina Solís Torres
 Vol. 29 | Núm. 1 | Page: 1-10-20 | Marzo 2018
 DOI: [10.15446/dq.v29n1.43882](https://doi.org/10.15446/dq.v29n1.43882)

SUSTITUCIÓN DE UNA PRÁCTICA DE LABORATORIO CON ENFOQUE A "QUÍMICA VERDE" COMO HERRAMIENTA PARA LA REDUCCIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Resumen

Los laboratorios de química permiten una educación técnica en una gran cantidad de carreras. Sin embargo, en el área ambiental, deberían tener un enfoque menos contaminante, donde el estudiantado pueda manejar los conceptos, pero de una forma inocua. El cambio de prácticas de laboratorio a prácticas con enfoque a química verde permite esta adquisición de conocimientos, pero con la mejora de ser ambientalmente responsable. Se realizó una evaluación básica de una serie de prácticas del laboratorio de Medición de Agentes Contaminantes con respecto al uso de energía y la generación de residuos. A partir de esta valoración se sustituyó una práctica pasando de una valoración verde de 3 a una con una valoración verde de 8, logrando incorporar en ambos casos los mismos conceptos. Con la sustitución de la práctica de retrovaloración no se aprecia una diferencia significativa en la adquisición de conocimientos, pero sí en la generación de residuos la cual pasó de 3.3 mol de residuos de peligrosidad alta a 0.2 mol de residuos de peligrosidad incipiente. Se concluye que la química verde permite trabajar una educación con una generación de residuos mínima. © 2017 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Keywords: Química verde; Minimización de residuos; Retrovaloración

SUBSTITUTION OF A LABORATORY PRACTICE WITH A FOCUS ON "GREEN CHEMISTRY" AS A TOOL FOR THE REDUCTION OF HAZARDOUS WASTE

Abstract

Chemistry labs allow technical education in a lot of professions. However, in the environmental area, they should have a cleaner approach, where the students can handle the concepts, but in a harmless form. Changing laboratory practices to practices with a green chemistry approach, allows the acquisition of knowledge, but with the improvement of being environmentally responsible. A basic assessment of a number of laboratory practices from the Pollutants Measurement course regarding energy use and waste generation was performed. Based on this assessment, a practice was substituted, moving from one with a green assessment of 3 to one with a green assessment of 8, achieving the incorporation of the same concepts in both cases. With the replacement of the back-titration practice, there is no significant difference in the acquisition of knowledge. But in waste generation the improvement was notorious, from 3.3 mole of highly dangerous waste to 0.2 mole of incipient hazardous waste. It is concluded that green chemistry allows to have an education with minimal waste generation. © 2017 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Palabras clave: Green chemistry; Waste minimization; Back-titration

Autoras: Adriana Vega Botto^a y Lijia Dina Solís Torres^a

^a Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional de Costa Rica, Heredia, Costa Rica

Química

*"Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base (parte II): extração e armazenamento",
Dirlei Radotti da Silva, Marcello de Mello Gonçalves, Yohanne Dangul Krevé,
Keller Paulo Nicolini, Jaqueline Nicolini
Vol. 38 | Núm. 2 | Maio, 1 - 08 | Maio 2020
DOI: 10.22026/1913-0263.2019.0014*

COLEÇÃO DE PROPOSTAS UTILIZANDO PRODUTOS NATURAIS PARA A INTRODUÇÃO AO TEMA ÁCIDO-BASE (PARTE II): EXTRAÇÃO E ARMAZENAMENTO

Resumo

Na Parte I da coleção de experimentos utilizando indicadores alternativos de pH, foram testados repolho roxo, beterraba, cebola roxa e berinjela. Na Parte II dessa coleção foi investigado o comportamento colorimétrico dos extratos de açafrão-da-terra (*Curcuma* sp.), coque-de-lava (*Colenzstemon* sp.), feijão-preto (*Phaseolus* sp.) e trapoeraba-roxa (*Trodescontis* sp.). Os extratos foram obtidos a partir da extração em meio aquoso, sendo monitorado o tempo de armazenamento de cada extrato e a coloração observada na presença de produtos do cotidiano dos estudantes, investigando assim o pH dos mesmos.

Palavras-chave: Ensino de Química; Indicador de pH; Química Verde; Extração de Produtos Naturais.

SET OF PROPOSALS USING NATURAL PRODUCTS TO INTRODUCE THE ACID-BASE THEME (PART II): EXTRACTION AND STORAGE

Abstract

Compounding the set proposals using alternative pH indicators from vegetables and leaves, in Part I purple cabbage, beet, purple onion and eggplant were tested. In this manuscript (Part II) was investigated, from products of students daily life, the behavior of extracts from saffron (*Curcuma* sp.), coque-de-lava (*Colenzstemon* sp.), black beans (*Phaseolus* sp.) and purple trapoeraba (*Trodescontis* sp.). The extracts were obtained from the aqueous medium extraction. The time storage of each extract and the coloration observed was monitored. These allow investigating the pH of the daily products using extracts from natural products.

Keywords: Chemistry teaching; pH Indicator; Green Chemistry; Natural Products Extraction.

Autores: Dirlei Radotti da Silva,¹ Marcello de Mello Gonçalves,² Yohanne Dangul Krevé,³ Keller Paulo Nicolini,⁴ Jaqueline Nicolini⁵

¹ *Isacrapé – Laboratório de Corantes e Processos Pigmentares, Instituto Federal do Paraná – IFPR, Departamento de Química, Palmas – PR, Brasil. E-mail: jaqueline.nicolini@ifpr.edu.br*

² *Instituto Federal do Paraná – IFPR, Departamento de Ciências Biológicas, Palmas – PR, Brasil.*

³ *Instituto Federal do Paraná – IFPR, Curso Técnico em Alimentos, Palmas – PR, Brasil.*

⁴ *Universidade Regional de Blumenau – FURB, Brasil. Autor para correspondência: keller@furb.br*

⁵ *Instituto Federal do Paraná, Brasil, Doutora em Física*

3

Química

*"Determinação do grau de saponificação de óleo residual: uma experiência no ensino de Química sob as perspectivas CTS e Química Verde",
Flávia de Mello, Sandra Inês Adams Angnes Gomes, Edineia Durl Glust,
Mariele Casturina Mendes Sandri
Vol. 38 | Núm. 2 | Maio, 20-30 | Maio 2020
DOI: 10.22026/1913-0263.2019.0015*

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE SAPONIFICAÇÃO DE ÓLEO RESIDUAL: UMA EXPERIÊNCIA NO ENSINO DE QUÍMICA SOB AS PERSPECTIVAS CTS E QUÍMICA VERDE

Resumo

Neste artigo relata-se um trabalho de ensino, articulado à pesquisa e à extensão sob a perspectiva Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) e Química Verde (QV). Por meio do projeto de extensão Fábrica Escola do Detergente realizou-se a arrecadação do óleo residual da friteira a fim de produzir um sabão ecológico. Posteriormente, realizou-se a otimização da formulação do sabão por meio da investigação da veridica química empregando métricas ecológicas e de massa. Todas essas etapas estiveram associadas a atividades de ensino, tais como aulas teórico-experimentais, minicursos e oficinas para alunos e comunidade local. A investigação da veridica química da formulação inicial do sabão mostrou o emprego de hidróxido de sódio em excesso (160,77%), sendo que na melhoria da formulação foi possível ajustar a quantidade de reagente para a incorporação total dos átomos de reagentes ao produto, como prevê o segundo princípio da QV. No tocante ao ensino, o projeto permitiu aos licenciandos tomar contato com um problema socioambiental e buscar soluções mediante a investigação científica. Com isso, o projeto mostrou grande potencialidade para trabalhar aspectos conceituais na formação de professores e na Educação Básica, na perspectiva CTS e da QV, ao trazer uma problemática socioambiental de grande impacto, como o descarte inadequado de óleo residual.

Palavras-chave: Química Verde, CTS, Otimização de sabões, Índice de Saponificação, Ensino-Pesquisa-Extensão.

DETERMINATION OF RESIDUAL OIL SAPONIFICATION: AN EXPERIENCE IN CHEMISTRY EDUCATION UNDER THE STSE AND GREEN CHEMICAL PERSPECTIVES

Abstract

This article reports an outreach project, linked to research and extension under the Science, Technology, Society, Environment (STSE) and Green Chemistry (GC) perspectives. Through the extension project "Fábrica Escola do Detergente" (Detergent Factory at the school), residual frying oil was collected in order to produce ecological soap. After that, the optimization of soap formulation was carried out through the investigation of chemical greenness using holistic and mass metrics. All the stages were connected to teaching activities, such as theoretical-experimental classes, minicourses and workshops for students and locals. The investigation of the chemical greenness in the initial soap formulation demonstrated the excessive use of sodium hydroxide (160.7%), and in the formulation improvement it was possible to adjust the amount of reagent for the total incorporation of the reagent atoms into the product, as described in the second GC principle. Regarding the teaching, this project allowed the undergraduate students to get in touch with a socio-environmental issue and seek solutions through scientific research. In this way, the project showed great potential to work conceptual aspects in the teachers' formation and in the basic education, under the STSE and GC perspectives, by bringing a great impact socio-environmental issue like the inadequate waste oil disposal.

Keywords: Green Chemistry, STSE, Soap Optimization, Saponification Value, Teaching-Research-Extension.

Autores: Flávia de Mello,^{1*} Sandra Inês Adams Angnes Gomes,² Edineia Durl Glust,³ Mariele Casturina Mendes Sandri⁴ y Samuel Robaert⁵

¹ *Universidade Regional de Blumenau – FURB, Brasil. Autor para correspondência: flavia@furb.br*

² *Instituto Federal do Paraná, Brasil, Mestre em Química*

³ *Instituto Federal do Paraná, Brasil, Doutora em Física*

⁴ *Instituto Federal do Paraná, Brasil, Doutora em Física*

⁵ *Instituto Federal do Paraná, Brasil, Doutor em Física*

21

Química

*"Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos",
Leslie Tassany Schneider da Luz, Sandra Inês Adams Angnes Gomes, Mariele Casturina Mendes Sandri, Flávia de Mello y Juliana Aparecida Bolzan
Volume 38 | Número 2 | Maio 2020
DOI: 10.22026/1913-0263.2019.0016*

AValiação E OTIMIZAÇÃO DAS CONdições DE Obtenção DO ÁCIDO ACETILSalicÍlico PARA FINS DIDÁTICOS

Resumo

A síntese do ácido acetilsalicílico (AAS) é muito empregada em aulas experimentais de Química para explorar o ensino de reações nucleofílicas e o processo de purificação por recristalização. Considerando a diversidade de protocolos disponíveis na literatura, com divergências nas condições experimentais, este trabalho teve como objetivo otimizar as condições de tempo e temperatura da síntese do AAS e, concomitantemente, melhorar a veridica química do processo visando maior eficiência mássica e energética, de acordo com os princípios 1, 2 e 6 da Química Verde (QV). Para isso, propôs-se a síntese de AAS a temperaturas de 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 e 90 °C durante 10, 20, 30 e 40 minutos de reação. Os resultados apontam que o AAS obtido em 20 minutos a 80°C apresentou os melhores resultados: um bom rendimento, 77,70 ± 0,01 %, com ponto de fusão 133 °C-134 °C, com Eficiência de Massa 24 % e Fator E 3,10; as melhores métricas de energia, Throughput 0,101 g min⁻¹, Intensidade de Tempo 9,869 min g⁻¹, Intensidade de Energia 0,073 Kw h g⁻¹ e o menor consumo de energia, 0,1485 kWh, um ganho de eficiência energética de aproximadamente 200 %, contribuindo principalmente com melhorias no P6 da QV.

Palavras-chave: Ácido acetilsalicílico; Eficiência Energética; Métricas de Massa, Ensino.

EVALUATION AND OPTIMIZATION OF THE CONDITIONS FOR OBTAINING ACETILSALICYLIC ACID FOR DIDACTIC PURPOSES

Abstract

The synthesis of acetylsalicylic acid (ASA) is widely used in experimental chemistry classes for the teaching of nucleophilic reactions and the process of purification by recrystallization. Considering the diversity of protocols available in the literature, with divergences in the experimental conditions, this work had as objective to optimize the time and temperature conditions of the ASA synthesis and, at the same time, to improve the chemical greenness of the process aiming at greater mass and energetic efficiency, according to with principles 1, 2 and 6 of Green Chemistry (GC). For this, the synthesis of ASA was proposed at temperatures of 40 °C, 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 and 90 °C for 10, 20, 30 and 40 minutes of reaction. The results indicate that the ASA obtained in 20 minutes at 80 °C presented the best results: a good yield, 77.70 ± 0.01%, with melting point 133 °C-134 °C, with Experimental Mass Efficiency 24% and Environmental Factor E 3.10; the best energy metrics, Throughput 0.101 g min⁻¹, Time Intensity 9.869 min g⁻¹, Energy Intensity 0.073 Kw h g⁻¹ and the lowest power consumption, 0.1485 kWh, an efficiency gain approximately 200 %, contributing mainly to improvements in P6 of GC.

Keywords: Acetylsalicylic acid; Energy Efficiency; Mass Metrics, Teaching.

Autores: Leslie Tassany Schneider da Luz,¹ Sandra Inês Adams Angnes Gomes,² Mariele Casturina Mendes Sandri,³ Flávia de Mello⁴ y Juliana Aparecida Bolzan⁵

¹ *Licenciada em Química pelo Instituto Federal do Paraná, Brasil.*

² *Mestre em Química / Doutora do Instituto Federal do Paraná, Brasil.*

³ *Doutora em Educação para a Ciência e o Ensino de Matemática / Professora da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil.*

⁴ *Mestre em Química pela Universidade Regional de Blumenau, Brasil.*

⁵ *Graduada em Farmácia pelo Instituto Federal do Paraná, Brasil.*

53



OS MODELOS DE ABORDAGEM DA QUÍMICA VERDE NO ENSINO DE QUÍMICA

Marilei Casturina Mendes Sandri¹ y Ouirides Santin Filho²

Resumo

A Química Verde (QV) é um tema crescente no ensino de Química. Todavia, seu ensino pode tender ao viés técnico/instrumental ou crítico, a depender da forma como é inserida nos currículos e na didática da sala de aula. Diante disso, este trabalho busca contrastar possíveis modelos de abordagem da Química Verde no ensino de Química considerando as tendências acima mencionadas, sendo que o Modelo 1 está inteiramente associado à tendência tecnicoinstrumental, o Modelo 2 consegue trazer elementos mais críticos do ensino da QV e o Modelo 3, se insere inteiramente numa proposta crítica da QV. Utilizando-se dos modelos concebidos, buscou-se analisar 8 (oito) propostas didáticas de licenciandos em Química de uma instituição de ensino superior brasileira, a fim de identificar o modelo adotado pelos acadêmicos para inserir a QV nas aulas voltadas ao Ensino Médio. Os resultados demonstraram que 4 (quatro) propostas mantiveram-se inteiramente sob o Modelo 1; 2 (duas) conseguiram atingir o Modelo 2 e as outras duas mencionaram elementos dos Modelos 2 e 3. Dependendo, portanto, que a inserção da QV na formação de professores deve considerar os diferentes modelos de abordagem dessa temática para assim nortear propostas críticas de aplicação no Ensino Médio.

Palavras-chave:
Química Verde; propostas didáticas;
ensino de química

The Green Chemistry Approach Models in Chemistry Teaching

Abstract

Green Chemistry (GC) is a growing subject in Chemistry teaching. However, its teaching may tend to technical / instrumental or critical bias, depending on how it is embedded in classroom curriculum and didactics. Therefore, this work sought to build possible models of approach to Green Chemistry in Chemistry teaching, considering the aforementioned trends, with Model 1 being entirely associated with technical / instrumental tendency, Model 2 is able to bring more critical elements of GC teaching and Model 3 is entirely within a critical GC proposal. Using the designed models, we tried to analyze 8 (eight) didactic proposals of undergraduate Chemistry teaching students of a Brazilian higher education institution, in order to identify the model adopted by the academics to insert the GC in the classes directed to High School. The results show that 4 (four) proposals remained entirely under Model 1; 2 (two) were able to reach Model 2 and the other two merged elements of Models 2 and 3. It is understood that the insertion of GC in teacher training must consider the different models of approach to this theme in order to guide critical proposals for application in High School.

Keyword
Green Chemistry teaching proposals;
chemistry teaching

¹Universidade Estadual de Ponta Grossa - Paraná - Brasil
²Universidade Estadual de Maringá - Paraná - Brasil



EL ENFOQUE DE QUÍMICA VERDE EN LA INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES. SU ABORDAJE EN REVISTAS IBEROAMERICANAS: 2002-2018

Ricardo Andrés Franco Moreno¹ y Leydi Yurani Ordoñez Carlosama²

Resumen

En este artículo se comunican los resultados de una investigación documental orientada al análisis de la producción escrita en el área de la didáctica de la química verde enfocada a la investigación en didáctica de las ciencias experimentales en el ámbito iberoamericano durante el periodo 2002-2018, con base en criterios clasificatorios, identificando proyectos, propuestas y tendencias generales para la vinculación de este enfoque en la educación química. Puede afirmarse que en los últimos 15 años la publicación de artículos sobre química verde en revistas especializadas en didáctica de las ciencias representa un aspecto de la innovación didáctica, producción que se incrementó durante los últimos 5 años, poniendo de presente que esta disciplina transversal de la química, hoy comienza el interés de la comunidad de especialistas en didáctica de la química.

Palabras clave
Didáctica de la química, investigación documental, química verde, revistas especializadas

The green chemistry approach in the didactic research of experimental sciences. His approach in Latin American journals: 2002-2018

Abstract

This article communicates the results of the documentary research oriented to the analysis of the written production in the area of green chemistry. It is focused on didactic of experimental sciences research in the Ibero-American context during the period 2002-2018, based on classificatory criteria, identifying projects, proposals and general trends for linking this focus on research in chemistry education. It can be said that in the last 15 years the publication of articles on green chemistry in specialized journals in Didactics of the sciences represents an aspect of educational innovation, its production increased during the last 5 years, putting in mind that this cross discipline of chemistry today announces the interest of the community of specialists in Didactics of chemistry.

Keywords
Didactics of chemistry, documentary research, green chemistry specialized magazines

¹Universidad Pedagógica Nacional, Colombia.
²Universidad Pedagógica Nacional, Colombia.



Química verde aplicada en los residuos de universidades

Green chemistry applied to university waste

Jonathan Steven Murcia Fandiño^a y Luis Alfonso Esquivel Marín^b

Recepción: 30-07-2020
Aceptación: 26-11-2020

Resumen

La química es una parte fundamental del desarrollo del hombre. Sin embargo, su inadecuada manipulación, la hace también una fuente importante de contaminación. Gran parte de esta contaminación es atribuida a las industrias, debido a que generan una cantidad significativa de residuos peligrosos a los que no se les realiza una adecuada gestión. Por otro lado, las instituciones educativas generan una mayor variedad de estos residuos y, por tanto, de impactos ambientales. No obstante, la Química Verde propone como uno de sus principios, el reducir la generación de residuos peligrosos, trabajando en el uso de vías sintéticas limpias, utilización de recursos renovables, uso de condiciones alternativas de reacción y diseño de sustancias químicas menos tóxicas y/o biodegradables. El presente trabajo, realizó una revisión bibliográfica de la Química Verde aplicada en la gestión de residuos químicos de laboratorios en las universidades. Para ello, se hizo una búsqueda en dos bases de datos, en tres idiomas diferentes y seleccionando 55 artículos científicos, siendo los más relevantes en el tema de estudio. Los resultados fueron presentados en tres enfoques (estudios prácticos, estudios diagnósticos y estudios teóricos), la mayoría de ellos, afirman la necesidad de incluir la Química Verde en la educación como medio para garantizar el desarrollo sostenible en el mundo.

Palabras clave:

Química verde, Residuos de Universidades, guías de laboratorio, revisión bibliográfica.

Abstract

Chemistry is a fundamental part of human development. However, its inadequate handling also makes it an important source of contamination. Much of this pollution is attributed to industries, because they generate a significant amount of hazardous waste that is not properly managed. On the other hand, educational institutions generate a greater variety of these wastes and, therefore, environmental impacts. However, Green Chemistry proposes as one of its principles, reducing the generation of hazardous waste, working on the use of clean synthetic routes, the use of renewable resources, the use of alternative reaction conditions and the design of less toxic chemical substances or biodegradable. The present work carried out a bibliographic review of Green Chemistry applied to the management of chemical waste in laboratories at universities. For this, a search was made in two databases, in three different languages and selecting 55 scientific articles, being the most relevant in the subject of study. The results were presented in three approaches (practical studies, diagnostic studies and theoretical studies), most of them, affirm the need to include Green Chemistry in education as a means to guarantee sustainable development in the world.

Keywords:

Green chemistry, University waste, laboratory guides, bibliographic review.

^aUniversidad Santa Teresa, Colombia. Contacto: jmurcia@stateresa.com

^bUniversidad del Atlántico, Colombia. Contacto: luisaquinque@mau.comunicacion.edu.co

© Gómez Murcia Fandiño, Jonathan Steven y Esquivel Marín, Luis Alfonso. (2021). Química verde aplicada en los residuos de universidades. *Educación Química*, 32(7). DOI: <https://doi.org/10.17728/eq.4878> ISSN: 2255-2621



Ensino de química verde no Brasil: mapeamento de publicações a partir da análise de redes sociais

Green chemistry teaching in Brazil: mapping publications based on social network analysis

Caio Sereno Gaspar¹, Júlia Damazio Bouzon¹, Juliana Barreto Brandão² y Alvaro Chirizpino³

Resumo

A Química Verde (QV) emerge em consequência de uma série de discussões ambientais globais no final do século XX, preocupando-se com a minimização ou eliminação de resíduos gerados nas rotas sintéticas. Em razão desta gênese, este modelo inicialmente industrial e laboratorial tem resultado em uma lenta apropriação na área de ensino. Em 2018, o grupo CTS e Educação do CEFET/RJ realizou um mapeamento de artigos sobre o ensino de QV no Brasil publicados até o 1º semestre de 2017 e constatou essa atuação incipiente. Sendo assim, com o objetivo de rever e atualizar esses dados até o 1º semestre de 2022, o presente trabalho apresenta os resultados de um novo mapeamento realizado a partir da análise de redes sociais. Os dados expuseram um crescimento acentuado do número de publicações e instituições vinculadas nos últimos anos, salientando que o cenário brasileiro de publicações sobre o ensino de QV está em ascensão. Além disso, notou-se um avanço na relevância do enfoque CTS e da experimentação para a concretização da área. Por fim, Vânia Zúñ e Carlos Alberto Marques consagraram-se mais uma vez como referências de autores, destacando-se, nos resultados atuais, os trabalhos de Marilei Sandri.

Palavras-chave

Química verde; ensino de química; redes sociais.

Abstract

Green Chemistry (GC) emerged due to a series of global environmental discussions at the end of the 20th century, concerned with minimizing or eliminating waste generated in synthetic routes. Due to this genesis, this mainly industrial and laboratorial approach has resulted in a slow appropriation in education. In 2018, the STS and Education group of CEFET/RJ mapped articles on GC teaching in Brazil published until the 1st semester of 2017 and found this incipient performance. Thus, to review and update this data until the 1st semester of 2022, the present work presents the results of a new mapping using social network analysis. The graphs exposed a noticeable growth in the number of publications and associated institutions in recent years, highlighting the rising Brazilian scenario of publications on GC teaching. Moreover, it was noted an advance in the relevance of STS approach and experimentation for the area realization. Finally, Vânia Zúñ and Carlos Alberto Marques have established themselves once again as author references, highlighting, in the current results, the work of Marilei Sandri.

Keywords

Green chemistry; chemistry teaching; social network.

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil, Flávia ORCID.

²COMO QVAB: Gaspar, C. S., Damazio Bouzon, J., Brandão, J. B., y Chirizpino, A. (2023). Ensino de química verde no Brasil: mapeamento de publicações a partir da análise de redes sociais. *Educação Química*, 24(4). <https://doi.org/10.22301/eq.18708404a.2023.4.84696>



Diseño experimental con enfoque verde en la reacción de Kröhnke para la síntesis de terpiridinas

Experimental design with a green approach in the Kröhnke reaction for the synthesis of terpyridines

Daniel Alexander Fajardo Perafán¹, Danny Arteaga² y Luis Alberto Leiva Velásquez³

Resumen

Las 4,4',6,6'-terpiridinas se consideran estructuras versátiles para la obtención de complejos metálicos con gran uso en importantes aplicaciones, tanto en ciencia básica como aplicada, razón por la cual deben explorarse metodologías de síntesis con rutas alternativas que, al ser comparadas con las tradicionales, se destacan por presentar mejores resultados y con un mayor impacto en nuestro entorno. La apropiación de estas alternativas, junto con el cumplimiento de un diseño experimental bien planeado, permitirá trascender en la formación de nuestros estudiantes en conceptos de síntesis orgánica con un enfoque enmarcado dentro de la química verde. En esta investigación, se describe el uso de la reacción de Kröhnke, como estrategia modelo para evaluar la conveniencia de un diseño experimental 3x2 enfocado en la obtención de una serie de 4'-aril-2,2',6,2'-terpiridinas, mediante calentamiento por irradiación microondas. Para lo cual se desarrolla una secuencia didáctica como método de enseñanza-aprendizaje en el laboratorio para que estudiantes de química y ciencias afines, puedan desarrollar un diseño experimental en diferentes contextos, por medio de una metodología guiada paso a paso, con la cual se logren los objetivos de aprendizaje esperados. De este modo, se estudian los parámetros, potencia de microondas, y tiempo de irradiación, como variables determinantes en el proceso y en los rendimientos de reacción. La caracterización de los compuestos obtenidos se realizó a través de técnicas espectroscópicas y espectrofotométricas.

Palabras clave

Reacción de Kröhnke, síntesis orgánica, 2,2',6,2'-terpiridinas, química verde, irradiación microondas.

Abstract

The 2,2',6,2'-terpyridines are considered versatile precursors for obtaining metal complexes widely used in important applications, both in basic and applied science. For this reason, synthetic methodologies with alternative routes should be explored that, when compared with traditional ones, stand out for presenting better results and with a greater impact on our environment. The appropriation of these alternatives, together with the fulfillment of a well-planned experimental design, will allow us to transcend the training of our students in concepts of organic synthesis with an approach framed within green chemistry. In this research, the use of the Kröhnke reaction is described as a model strategy to evaluate the suitability of a 3x2 experimental design focused on obtaining a series of 4'-aryl-2,2',6,2'-terpyridines, by microwave irradiation heating. For which a didactic sequence is proposed as a teaching-learning method in the laboratory, so that chemistry and related sciences students can carry out an experimental design in various contexts, through a step-by-step guided methodology, in which the expected learning objectives are achieved. The parameters, microwave power and irradiation time, were studied as determining variables in the process and the reaction yields. The characterization of the compounds was carried out through the measurement of their physical properties, spectroscopic and spectrophotometric techniques. Keywords

Kröhnke reaction, organic synthesis, 2,2',6,2'-terpyridines, green chemistry, microwave irradiation.

¹Grupo de Investigación Química de Productos Naturales QPN, Universidad del Cauca, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-8558-1351>

²Grupo de Investigación Química de Productos Naturales QPN, Universidad del Cauca, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-1209-3542>

³Grupo de Investigación Química de Productos Naturales QPN, Universidad del Cauca, Colombia. <https://orcid.org/0000-0003-7027-1487>

⁴Este trabajo: Fajardo Perafán, D. A., Arteaga, D., y Leiva Velásquez, L. A. (2023). Diseño experimental con enfoque verde en la reacción de Kröhnke para la síntesis de terpiridinas. *Educação Química*, 24(4). <https://doi.org/10.22301/eq.18708404a.2023.4.84696>



Evaluación de una metodología de enseñanza-aprendizaje en Química verde

Evaluation of a teaching-learning methodology in green chemistry

Ana Laura Pínez¹

Resumen

La actual crisis socioambiental implica un desafío donde la educación universitaria tiene un papel central. La Química Verde es una ciencia que posibilita la aplicación de estrategias pedagógicas como el enfoque sistémico, la multidisciplinariedad, el aprendizaje participativo y los valores, y el constructivismo, para apuntar a la formación de profesionales comprometidos ambientalmente. Se describe la experiencia de 10 años en este sentido, en una cátedra de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Litoral (Argentina). Se utilizó una Encuesta para evaluar la metodología utilizada, concluyendo que la misma es superior a los modelos tradicionales de enseñanza, por integrar disciplinas, abordar la complejidad sistemáticamente, educar en forma colaborativa y apostar a un modelo de enseñanza con un estudiante activo y protagonista.

Palabras clave: Química Verde; Sustentabilidad; Educación; Aprendizaje participativo; Multidisciplinariedad; Enfoque sistémico.

Abstract

The present socio-environmental crisis implies a challenge where university education plays a central role. Green Chemistry is a science that enables the application of pedagogical strategies such as the systemic approach, multidisciplinary, participatory and values-based learning, and constructivism, to aim at the formation of environmentally committed professionals. The 10 years experience in this sense, in a chair at the Faculty of Chemical Engineering of the National University of the Litoral, is described. A survey was used to evaluate the methodology used, concluding that it surpasses traditional teaching models, for integrating disciplines, addressing complexity systematically, educating collaboratively and betting on a teaching model with an active student and protagonist.

Keyword: Green Chemistry; Sustainability; Education; Participatory learning; Multidisciplinary; Systemic approach.

Como citar:

Pínez, A. L. (2024, julio-septiembre). Evaluación de una metodología de enseñanza-aprendizaje en Química verde. *Educación Química*, 35(3). <https://doi.org/10.22201/eq.18708404x.2024.3.87434>

¹ Universidad Nacional de Litoral, Argentina.



Tabela de Tempo de Decomposição de Materiais: Contexto para a Abordagem de Química Ambiental no Ensino Profissional de Nível Médio

Alfredo L. R. L. Mateus, Andréa H. Machado e Patrícia A. Aguiar

Este trabalho apresenta o relato de utilização de atividades em aulas de Química Ambiental de um curso técnico em Química de nível médio, elaboradas tendo como referências a abordagem Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS), os princípios da Química Verde, da Análise de Ciclo de Vida de Produtos e ideias relacionadas à sustentabilidade. As atividades propostas têm como contornos principais as inscrições e impressões apresentadas em tabelas de tempo de decomposição de materiais. O objetivo das atividades é explicitar a complexidade de fatores envolvidos no ensino de materiais. A utilização dessas atividades evidências que a problematização de dados são de alto impacto presente nas interações dos alunos com as informações.

▶ abordagem CTS, química ambiental, educação profissional ◀

Recebido em 28/11/2021; aceito em 18/02/2022

Questões ambientais são complexas e tentativas para simplifi-las podem resultar em perda considerável no entendimento de aspectos significativos do problema. A complexidade dos temas ambientais surge, em grande parte, do seu caráter interdisciplinar, por ser assunto de diversas formas de ver o mundo. No que se refere ao ensino de Ciências, e da Química em particular, é especialmente importante considerar na abordagem em sala de aula aspectos referentes à parte técnica e científica do problema e às questões políticas, sociais, econômicas, entre outras. Este é um grande desafio para a formação dos profissionais técnicos em Química de nível médio.

As atividades descritas neste trabalho foram utilizadas na disciplina Química Ambiental de um colégio técnico da rede federal de ensino. A disciplina foi concebida com o objetivo de contribuir para a inserção de uma abordagem que considere essa complexidade. A disciplina enfoca, em sua primeira parte, as relações entre a Química e o sistema produtivo, discutindo a ideia de sustentabilidade e dos impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida dos produtos. A

proposta é relacionar a criação de produtos industrializados (tarefa que cabe ao designer de produtos) com a criação de materiais que são efetivamente utilizados nos produtos (tarefa que cabe ao químico).

Para o ensino profissional de Química de nível médio não encontramos materiais didáticos publicados ou de fácil acesso que considerem esses aspectos. Os cursos técnicos, em geral, utilizam livros cujo público-alvo são alunos de graduação em Química e Engenharia Química ou apostilas preparadas pelos próprios professores, que acabam não sendo divulgadas de forma mais ampla.

outras questões relacionadas com a sustentabilidade no uso dos materiais, das fontes de energia alternativas e tradicionais e, finalmente, dos impactos causados pela atividades humanas na atmosfera, incluindo o aquecimento global e o buraco na camada de ozônio.

Alguns materiais didáticos têm sido produzidos no Brasil para o ensino de Ciências por meio de temas Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS) para o ensino médio. Para o ensino profissional de Química de nível médio não encontramos materiais didáticos publicados ou de fácil acesso que

239

Quim., nova rev. – São Paulo-SP, 2021

Tabela de Tempo de Decomposição de Materiais

Vol. 42, N.º 4, p. 235-245, +GGOTO 2021

Avaliando Métricas em Química Verde de Experimentos Adaptados para a Degradação do Corante Amarelo de Tartrazina para Aulas no Ensino Médio

Rayanne Maria S. Santos, Ulysses M. A. Lima, Tatiane S. Santos e Angélio F. Pinheiro

A utilização de corantes tem sido uma preocupação mundial, em especial quando se trata de sua relação com os questões de saneamento ambiental. Diversos estudos têm sido desenvolvidos para a identificação de métodos que apresentem melhores resultados na degradação de corantes recalcitrantes. Neste momento inicial desta investigação, procedeu-se à adaptação de Protocolos de Processos em Química Verde (PPQV) para a degradação do corante amarelo de tartrazina (CT), para que pudessem ser reproduzidos em aulas de Ensino Médio. Contudo, os desafios nas propostas permitiram observar que a adaptação desses experimentos apresentou diversos desafios de química verde, e com isso, este artigo tem por objetivo apresentar uma avaliação das métricas em química verde de experimentos adaptados para a degradação do amarelo de tartrazina.

▶ química verde, métricas, adaptação de experimentos, amarelo de tartrazina ◀

Recebido em 22/06/2021; aceito em 28/02/2022

241

As demandas modernas sobre as questões ambientais apresentam uma extensa pauta que envolve diversos problemas, entre eles os relacionados à poluição por agentes químicos, com destaque para a classe dos corantes, definidos como “substâncias coradas, que quando aplicadas à fibras conferem-lhes uma cor permanente que é capaz de resistir ao desbotamento após exposição solar, luz, água e diversos produtos químicos” (Rock e Pinheiro, 2016, p. 613). Aditivos alimentares e compostos sintéticos são adicionados aos alimentos para diversos propósitos, buscando garantir estabilidade, evitando sua deterioração e ainda conferindo textura, aparência, sabor, frescor e cor. Os aditivos coloridos são bastante usados em alimentos, cosméticos, têxteis, indústrias e outras aplicações, dentre eles destacam-se os corantes do tipo azo (-N=N-), por apresentarem em suas estruturas químicas, ao menos um grupo azo ligado ao anel aromático, sua estabilidade química e sua alta solubilidade em água (Ferreira et al., 2018; Alshehri, 2020).

O sistema conjugado de elétrons π , entre o anel aromático e o grupo azo, é o responsável pela absorção de luz visível em comprimentos de onda específicos. A clivagem do grupo

azo leva à formação de duas aminas aromáticas, resultando na perda de cor. A cor dos corantes pode ser controlada pela seleção dos substituintes e número de grupos azo na estrutura química. Tons de coloração amarela, como amarelo de tartrazina, são obtidos usando haletos de ácido acetoxílico e compostos heterocíclicos. Tons azuis, como azul de metileno, resultam da substituição do derivado de anilina por um derivado de benzidina (König, 2015).

O amarelo de tartrazina, $C_{15}H_{10}N_4O_5S_2$, cuja estrutura química está representada na Figura 1, em sistemas vivos pode sofrer a redução do grupo azo, por ação enzimática das aminocetases na formação de compostos mais tóxicos, como é o caso do intermediário reacional, benzidina (4,4'-diaminodifenil) (Figura 1) (König, 2015; Alshehri, 2020).

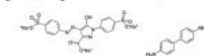
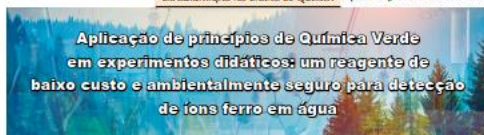


Figura 1. Estrutura química do amarelo de tartrazina (a estrutura) e do intermediário reacional, benzidina (4,4'-diaminodifenil) (Figura 1) (König, 2015; Alshehri, 2020).

Quim., nova rev. – São Paulo-SP, 2021

Vol. 42, N.º 4, p. 411-417, +GGOTO 2021

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons



Ana Lúcia de S. Venturini e Paula M. L. dos Santos

A contaminação química e biológica das águas naturais e de uso humano é uma preocupação de toda a sociedade. A água pode promover a disseminação de inúmeras doenças e contaminantes incluindo os íons de ferro. Esses e outros problemas relativos à forma como o desenvolvimento econômico e a sustentabilidade são tratados pelos diferentes setores da sociedade devem ser tratados para a sala de aula. Com o objetivo de propor um experimento dentro de princípios da Química Verde (QV), de baixo custo e de fácil aplicação para detectar qualitativamente a presença de ferro em água, recorreu-se à reação de formação do complexo entre os íons Fe^{3+} e os íons sulfato. Os resultados mostram que é possível produzir o reagente conveniente para determinar qualitativamente Fe^{3+} em água.

► ensino de química, ambiente, experimentação ◀

Recebido em 21/08/2022, aceito em 24/08/2022

No ano de 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) apresentou um plano de ações voltado para o desenvolvimento sustentável, a Agenda 2030, que é composta por dezesseis Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (17 ODS). Em sua essência, os ODS buscam contemplar os aspectos sociais, econômicos e ambientais que permeiam nossa relação com o planeta. A água é essencial para a vida no planeta Terra e, dentre os ODS propostos, dois deles são dedicados ao tema água e estão intrinsecamente relacionados: o ODS 6, cujo objetivo é assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos; e o ODS 14, cujo objetivo é a conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

No Brasil, a população tem vivenciado problemas relacionados à contaminação química e biológica das águas naturais e de uso humano. Em janeiro de 2019 ocorreu a contaminação do rio Parapeba por rejeitos de mineração devido ao rompimento de uma barragem no município

de Brumadinho-MG (Bohem, 2019). Um ano após esse incidente, a qualidade da água fornecida à população da região metropolitana do Rio de Janeiro foi profundamente afetada pelo excesso de despejo de efluentes e rejeitos industriais do Rio Guandu e afluentes (Hadar, 2020; CRQUH, 2020). Tais acontecimentos expõem os desafios que a sociedade e a gestão pública têm que enfrentar para ir em encontro do uso sustentável dos mananciais de águas doces, assim como da efetiva implementação de um sistema de extrativismo mineral seguro para as populações e para a Natureza. O debate acerca desses problemas pode ser levado à sala de aula numa proposta de abordagem sócio-científica e contextualizadora acerca da contaminação dos rios que fornecem água para as populações. Há vários tipos de contaminantes presentes nos mananciais e, no caso da contaminação por rejeitos de mineração, há presença de metais, sobretudo o ferro.

A abordagem de temas sócio-científicos no ensino de química é defendida por autores como Justen et al. (2014), que propõem uma educação para o desenvolvimento

de Brumadinho-MG (Bohem, 2019). Um ano após esse incidente, a qualidade da água fornecida à população da região metropolitana do Rio de Janeiro foi profundamente afetada pelo excesso de despejo de efluentes e rejeitos industriais do Rio Guandu e afluentes (Hadar, 2020; CRQUH, 2020). Tais acontecimentos expõem os desafios que a sociedade e a gestão pública têm que enfrentar para ir em encontro do uso sustentável dos mananciais de águas doces, assim como da efetiva implementação de um sistema de extrativismo mineral seguro para as populações e para a Natureza. O debate acerca desses problemas pode ser levado à sala de aula numa proposta de abordagem sócio-científica e contextualizadora acerca da contaminação dos rios que fornecem água para as populações. Há vários tipos de contaminantes presentes nos mananciais e, no caso da contaminação por rejeitos de mineração, há presença de metais, sobretudo o ferro.

A abordagem de temas sócio-científicos no ensino de química é defendida por autores como Justen et al. (2014), que propõem uma educação para o desenvolvimento

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

Quim. Nova, 2023, vol. 46, nº 2, p. 201-205, 10402 2023



LUDICIDADE NO ENSINO DE QUÍMICA <https://doi.org/10.21579/0046-889X.20160386>

Rota Verde: um jogo educativo e potencialmente inclusivo para o ensino de Química Verde para surdos

Maria Caroline S. Veloso, Júlia Maria S. Ferraz, José Lucas de C. Campos, Carlos Alberto da Silva Júnior, Nelly S. de Sousa e Alessandra Marcone T. A. de Figueiredo

O Ensino de Química é, em grande medida, desconectado do cotidiano dos estudantes. Temas transversais como a Química Verde (QV) e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são essenciais para a construção de uma sociedade mais consciente dos questões socioambientais. Assim, é crucial adotar alternativas didáticas que ampliem a contextualização, e o uso de jogos emerge como uma estratégia viável. No entanto, vale destacar a necessidade de incorporar a inclusão educacional nos instrumentos pedagógicos, especialmente para docentes surdos. Nesse contexto, este trabalho descreve a criação e aplicação do Jogo Rota Verde (RV), um jogo sobre a QV e o ODS 12 - consumo e produção responsáveis, com tradução em Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS). Os resultados demonstram que o RV é uma ferramenta valiosa para promover a inclusão no Ensino de Química e se sobrepõe, em comparação aos demais Jogos Educativos (JE) presentes na literatura, pela acessibilidade para alunos surdos.

► jogos, inclusão, química verde ◀

Palavras-chave: QV, ODS 12, inclusão, jogos educativos

Introdução

Além disso, há também grande relação com a Química Verde (QV), surgida nos anos 1990, que, com base em 12 princípios, busca tornar os produtos e processos químicos menos nocivos, considerando aspectos técnicos, sociais e ambientais (Anastas e Warner, 2000). No entanto, sua incorporação sistemática na educação ainda é limitada (Vaz *et al.*, 2024). Assim, é crucial desenvolver propostas didáticas que ampliem o ensino da QV (Giandácio *et al.*, 2023; Cannon *et al.*, 2024; Veloso *et al.*, 2024).

Nesse sentido, o desenvolvimento de Jogos Educativos (JE) emerge como uma estratégia viável para tornar o ensino das referidas áreas mais atrativo para os estudantes (Leite, 2022; Soares, 2023). O interesse por JE no Ensino de Química está crescendo, como mostram as pesquisas recentes (Carvalho Lima e Messeder Neto, 2021; Pereira e Leite, 2023). No entanto, apesar do potencial pedagógico, a implementação desses jogos enfrenta obstáculos significativos (Rizende e Soares, 2022), com poucos trabalhos no ensino da QV (Martins e Da Silva Júnior, 2024).

Um problema é a falta de inclusão educacional e acessibilidade para estudantes surdos. Historicamente, a educação de surdos foi dominada por métodos oralistas e pela falta de professores proficientes na Língua de Sinais (LS) (Rizende

O Ensino de Química é frequentemente visto como tradicional e distante da realidade dos estudantes. Figue e Amaral (2011) argumentam que a educação deveria ajudar os discentes a conectar conceitos químicos com suas implicações socioambientais. Isso inclui a redução de subprodutos, o consumo responsável e a aplicação segura de substâncias químicas, uma vez que certos produtos podem apresentar riscos significativos para a saúde humana e para o meio ambiente. Portanto, é essencial que a utilização desses produtos seja realizada de maneira a minimizar os perigos associados, garantindo tanto a segurança das pessoas quanto a proteção ambiental.

As questões mencionadas estão intimamente ligadas, por exemplo, aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, que buscam promover um progresso sustentável e inclusivo (ONU, 2015). A sociedade enfrenta desafios como o consumo irresponsável, que aumenta a quantidade de resíduos sólidos, especialmente plásticos, agora presentes até em órgãos humanos (Azevedo e Herbst, 2022). Esse problema motivou a criação do ODS 12, que visa promover consumo e produção responsáveis.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

Quim. Nova, Brasília, v. 45, n. 1, p. 481-488, 1/2024. DOI: 10.26434/chem-qv-2024

Una visión sobre propuestas de enseñanza de la Química Verde

Carlos Alberto Marques¹ e Adélio A. S. C. Machado²

¹ Departamento de Metodologia de Ensino, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC), Brasil. E-mail: carlos.marques@ufsc.br
² Departamento de Química e Bioquímica, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. E-mail: amachado@fc.up.pt

Resumen: La presente investigación analiza propuestas, informes sobre experiencias didácticas y fundamentaciones teóricas situadas en el ámbito de la enseñanza de la Química Verde (QV) en producciones científicas internacionales elaboradas por la comunidad epistemológica en QV, que podrían contribuir al diseño de un marco teórico general encaminado a la inserción de la QV en el currículo. A partir del análisis, se identificaron tres vertientes: La primera y más fuerte es la que no caracteriza la QV como disciplina específica, pero propone la inserción de "injeritos" puntuales de contenidos teóricos y/o actividades experimentales/prácticas dentro de las disciplinas clásicas de la química; la segunda, minoritaria, es la que propone la QV en la forma de una "disciplina" o un curso especial de carácter introductorio; y la tercera vertiente, que congrega varias proposiciones, concibe la presencia y estrategias para la enseñanza de la QV de modo transversal en el currículo, atravesando disciplinas y actividades.

Palabras clave: Química Verde, enseñanza de la química, publicaciones educativas.

Title: A vision of teaching proposals of Green Chemistry.

Abstract: This research reviews proposals, discussions on theoretical foundations and reports of didactics experiments in the field of Green Chemistry (GC) education in international scientific publications, produced by the GC epistemic community; and aims to contribute to the design of a general theoretical framework for insertion of GC in the chemistry curriculum. From the analysis, three lines of action have been identified: the first, and strongest, does not characterize GC as a specific discipline and proposes the insertion of patches of GC theoretical contents and/or experimental activities/practices within the classical disciplines of chemistry; the second, in minority, defends GC as a "discipline" and proposes the introduction of special courses in the field; and the third, bringing together several propositions, conceives the presence of, and discusses strategies for, transverse modes for teaching of GC, passing through other disciplines and activities.

Keywords: Green Chemistry, chemistry teaching, educational publications.

A abordagem dos princípios da Química Verde e sustentabilidade no livro didático de química do ensino médio

Alessandra Carvalho de Sousa¹, Cristina Emanuelli da Silva² e Tairiz Tatiani da Costa³

¹Universidade Federal do Paraíba (UFPB), Brasil. ^{2,3}Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Brasil. E-mails: alemelcarv@gmail.com; cristinsemanuelle@hotmail.com; tairiz.trn@gmail.com

Resumo: A temática central deste artigo se vincula às discussões sobre o ensino de química orientado a critérios de sustentabilidade, com o propósito de reorientar os programas educacionais em todos os seus níveis e modalidades na direção de uma ciência para a sustentabilidade, tal como preconiza a Agenda 2030 das Nações Unidas. Mediante um estudo de natureza qualitativa, realizou-se análise de conteúdo dos livros didáticos de química das três séries do ensino médio, com o objetivo de analisar a incorporação dos Princípios da Química Verde no currículo de química, no âmbito da rede pública de ensino do Estado do Rio Grande do Norte, região nordeste do Brasil. Delimitaram-se categorias de análises fundamentadas nos preceitos da química sustentável, como forma de identificar sua inclusão e aplicabilidade no contexto prático da última etapa da educação básica. Os resultados indicaram a incorporação dos princípios da Química Verde, tanto de forma implícita como de forma explícita, nas unidades de todos os livros analisados, em todas as inferências realizadas, mediante a triangulação das categorias de análise, unidades de registro e unidades de contexto.

Palavras-chave: química verde, sustentabilidade, livro didático, ensino médio, ensino de química.

Title: Green Chemistry principles and sustainability on the Secondary Education's Chemistry textbook

Abstract: The central theme of this paper is related to the discussions on Chemistry teaching oriented to sustainability criteria, aiming to redirect educational programs of every level and mode towards a science for sustainability, as the 2030 United Nations Agenda advocates. Through a qualitative research, the contents of the Chemistry textbooks organized for students of the secondary education were analyzed, aiming to find the incorporation of the Green Chemistry Principles on the Chemistry curriculum in the public education system of Rio Grande do Norte, in Brazil's Northeast region. Analytical categories were delineated, being based on the sustainable chemistry principles, as a way of identifying its inclusion and applicability on the practical context on the last stage of basic education. The results indicated an incorporation of Green Chemistry principles, both implicitly and explicitly, in the units of the analyzed books, in every realized

A química verde e sustentável: Dos princípios à inserção na educação química

Rosivânia da Silva Andrade¹ e Vania G. Zuin Zeidler²

¹Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Colegiado Acadêmico de Ciências da Natureza, Senhor do Bonfim, BA, Brasil. ²Leuphana Universität Lüneburg, Institut für Nachhaltige Chemie, Lüneburg, Germany. E-mails: rosivania.andrade@univasf.edu.br; vania.zuin@leuphana.de

Resumo: A química verde e sustentável têm se constituído como um dos pilares centrais para a construção de uma abordagem química mais adequada à formação sociocientífica. Dito isso, é importante conhecer sobre a origem, as definições, os princípios e os desdobramentos da química verde e sustentável para proporcionar um olhar analítico sobre sua implementação na educação química. Para tanto, inicialmente é apresentada uma revisão teórica sobre as definições e fundamentos da química verde e da química sustentável. Em seguida é realizada uma análise das publicações de circulação nacional e internacional que vem discutindo sobre a química verde e sustentável na educação química. O levantamento reuniu publicações realizadas no período de 1998 a 2019 a partir da metodologia de pesquisa bibliográfica. Os resultados indicam que a inserção da química verde e sustentável nas diferentes áreas e níveis de ensino tem caminhado para uma compreensão conceitual sobre o que é a química verde e a química sustentável e como ambas se integram para atender aspectos econômicos, ambientais e sociais como questões fundamentais.

Palavras-chave: química verde, química sustentável, pesquisa bibliográfica, educação química.

Title: Green and sustainable chemistry: From principles to insertion in chemical education

Abstract: Green and sustainable chemistry has become one of the central pillars for constructing adequate chemical approach to socio-scientific training. It is essential to know the origin, definitions, principles, and developments of green and sustainable chemistry to provide an analytical view at its implementation in chemical education. Therefore, initially a theoretical review is presented on the definitions and foundations of green chemistry and sustainable chemistry. Next, an analysis of national and international publications that have been discussing green and sustainable chemistry in chemical education is carried out. The survey gathered publications carried out in the period from 1998 to 2019 based on the methodology of bibliographic review. The results indicate that the insertion of green and sustainable chemistry, in different areas and levels of education, has been accompanied by a conceptual understanding of what green chemistry and sustainable chemistry are and how both are integrated to meet economic, environmental, and social aspects such as fundamental issues.