



Química verde aplicada en los residuos de universidades

Green chemistry applied to university waste

Jonathan Steven Murcia Fandiño¹ y Luis Alfonso Esquiaqui Marín²

Recepción: 30-07-2020

Aceptación: 26-11-2020

Resumen

La química es una parte fundamental del desarrollo del hombre. Sin embargo, su inadecuado manejo, 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 in the management of chemical waste in laboratories at universities. For this, a search was made in two databases, in three different languages and selecting 50 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.

¹Universidad Santo Tomás, Colombia. Contacto: jho.est@hotmail.com

²Universidad del Atlántico, Colombia. Contacto: luisesiaqui@mail.uniantlantico.edu.co

Introducción

Los beneficios que la química ofrece a la sociedad son muchos, entre los que se encuentran los medicamentos, accesorios personales y de higiene, electrodomésticos, ordenadores, ropa, calzado, embalajes de alimentos, utensilios domésticos, componentes automotrices, fibras sintéticas, nuevas sustancias, y toda la variedad de productos, entre otros usos (Contreras, 2018; González & Valea, 2009; Halpaap & Dittkrist, 2018). La química, a pesar de ser una ciencia necesaria en el desarrollo del hombre, desempeña un papel importante en contribuir a los efectos negativos en el medio ambiente, debido a la generación de residuos peligrosos, emisión de contaminantes para agua, aire y suelo, que pueden bioacumularse, biomagnificarse y permanecer por cientos de años en el entorno (Mera *et al.*, 2007). Por esa razón, la química enfrenta el desafío de buscar la sustentabilidad ambiental a través de procesos más eficientes de transformación y minimización en la generación de residuos peligrosos (Castro *et al.*, 2011; Contreras, 2018; Halpaap & Dittkrist, 2018; Mera *et al.*, 2007; Vargas & Ruiz, 2007).

En los años 90, la transición hacia el concepto de sostenibilidad, llevó al surgimiento de la Química Verde, considerada una área multidisciplinar de la química que busca la sustentabilidad a través de la aplicación de procesos económicamente viables, socialmente aceptables y ambientalmente amigables, incluyendo también, la eliminación de sustancias peligrosas mediante diferentes alternativas de compatibilidad ambiental en procesos y productos (P. T. Anastas *et al.*, 2000; Paul Anastas & Eghbali, 2009; Paul Anastas & Warner, 1998; Aparecida *et al.*, 2018; Benavides *et al.*, 2012; Castro *et al.*, 2011; Contreras, 2018; C. S. Doria, 2009; Escobedo *et al.*, 2016; Garritz, 2009; González & Valea, 2009; Kirchhoff, 2005; Leal, 2005; Maximiano *et al.*, 2009; Mooney, 2004; Morales *et al.*, 2011; Rodríguez & Espinoza, 2002; Vargas & Ruiz, 2007), concluyendo así, que la Química Verde funciona a partir de la prevención de impactos ambientales a nivel atómico y molecular y no en su remediación (M. S. Doria & René, 2013; Fernandes *et al.*, 2013; Frontana-Uribe *et al.*, 2010; Mooney, 2004). Este concepto se vio reforzado en el año de 1997 cuando se creó el Instituto de Química Verde (GCI), con la misión de facilitar la aplicación de los principios de la Química Verde en todas las empresas químicas del mundo y en toda la sociedad (ACS, 2020; Escobedo *et al.*, 2016).

La Química Verde tiene 12 principios, entre ellos: prevenir la creación de residuos; maximizar la economía atómica; realizar una síntesis química menos peligrosa; diseñar productos y compuestos menos peligrosos; utilizar disolventes y condiciones de reacciones seguras; proyectar la eficiencia energética; utilizar materias primas renovables; evitar derivados químicos; utilizar catalizadores; diseñar productos fácilmente degradables al final de su vida útil; monitorear procesos químicos en tiempo real para evitar contaminación e prevenir accidentes (P. T. Anastas & Williamson, 1996; P. Anastas & Kirchhoff, 2002; Paul Anastas & Eghbali, 2009; Paul Anastas & Warner, 1998; Aparecida *et al.*, 2018; Benavides *et al.*, 2012; Castro *et al.*, 2011; Contreras, 2018; C. S. Doria, 2009; Gałuszka *et al.*, 2013; González & Valea, 2009; Morales *et al.*, 2011; Vargas & Ruiz, 2007).

La Química Verde se dispersó por todo el mundo y actualmente existen industrias (Summerton *et al.*, 2013), tecnologías (Nameroff *et al.*, 2004), gobiernos e instituciones educativas que trabajan en su aplicación (Warner *et al.*, 2004), siendo considerada uno de los avances históricos más notables de la química (Paul Anastas & Warner, 1998;

Summerton *et al.*, 2013). Los beneficios presentados por esta química, se traducen en costos reducidos de gestión de residuos, reducción de costos de consumo de energía, reducción de tiempo, reducción de los costos de conformidad, aumento de productividad y procesamiento más simple, mayor seguridad (trabajadores, comunidad y ambiente), mayor flexibilidad operacional y ventajas competitivas (Mooney, 2004; Nameroff *et al.*, 2004). Además, proporciona soluciones a desafíos como el cambio climático, la agricultura sostenible, la energía, las toxinas en el medio ambiente y el agotamiento de los recursos naturales (Kirchhoff, 2005).

La industria, es el sector que más residuos químicos peligrosos genera, y viene adelantando varios estudios en la aplicación de la Química Verde. Sin embargo, no se puede ignorar el sector educativo, pues es el sector que mayor variedad de residuos químicos peligrosos genera y puede influir directamente en la industria (Ramos & Peña, 2008), proporcionando soporte para tecnologías limpias a través del conocimiento fundamental de nuevos productos y procesos químicos (Kirchhoff, 2005). No obstante, el papel de la educación es extremadamente importante para atender el desarrollo sustentable (Gutiérrez & Martínez, 2010), los Objetivos de Desarrollo Sostenible (M. S. Doria & René, 2013; Hurst, 2020; Safitri *et al.*, 2016; Smyth *et al.*, 2010; Solís, 2008; Sudicky & Huyakorn, 1991). Además, desde el punto de vista de la educación química, esta permitirá formar ciudadanos conscientes que podrán asegurar un futuro sostenible (Vilches & Gil, 2011).

Existen estudios que muestran resultados satisfactorios en la aplicación de la Química Verde en el sector educativo, principalmente en química analítica, los cuales, podrían ser usados como herramientas para la enseñanza en las universidades (Águila *et al.*, 2005; Aparecida *et al.*, 2018; Avila & Vidal, 2019; Benavides *et al.*, 2012; Contreras, 2018; Cornejo *et al.*, 2014; M. S. Doria & René, 2013; Galicia & Miranda, 2008; Gauza, 2019; Izzo, 2000; León-Cedeño, 2009; Mansilla *et al.*, 2014; Mera *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2011; Nameroff *et al.*, 2004; Ramírez *et al.*, 2017; Safitri *et al.*, 2016; Solís, 2008). En este contexto, la aplicación de la Química Verde en la enseñanza ha recibido atención en la literatura reciente (Fernandes *et al.*, 2013; Hurst, 2020; Maximiano *et al.*, 2009; Mooney, 2004; Smyth *et al.*, 2010; Summerton *et al.*, 2013; Veiga *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2018).

A pesar de todos los estudios desarrollados en el área de Química Verde, todavía hay necesidad de llevar a cabo investigaciones para solucionar algunos aspectos relacionados a la aplicación de nuevas tecnologías y procesos ambientales responsables (Ramírez *et al.*, 2017), que incluya un cambio en la forma en que los reactivos se utilizan en los laboratorios de las instituciones educativas (P Anastas & Kirchhoff, 2002; Contreras, 2018; M. S. Doria & René, 2013; Franco *et al.*, 2020; Jad *et al.*, 2019; Mansilla *et al.*, 2014). Por tanto, en el presente trabajo se realiza un aporte al campo de la Química Verde, a través de una revisión bibliográfica realizada en diferentes bases de datos, con el fin de describir los trabajos recientes que se hayan desarrollado en relación a la aplicación de la Química Verde en la gestión de residuos de laboratorios de las universidades. Este trabajo brinda un panorama de la manera en que las universidades están llevando a cabo la implementación de la Química Verde, en función de las contribuciones de los estudios en relación a tres enfoques: (i) práctico, (ii) diagnóstico y, (iii) teórico, asimismo, el trabajo sirve como un compilado bibliográfico para futuras investigaciones.

Metodología

El desarrollo de esta revisión fue realizado en tres fases: (i) revisión bibliográfica, (ii) consolidación de las investigaciones relacionadas con el objetivo del trabajo y, (iii) descripción y análisis de las contribuciones de los autores en relación al tema de estudio.

En la primera fase, se realizó una revisión de las bases de datos de Science Direct y Google Académico, buscando las investigaciones que realizan estudios en el área de la Química Verde aplicada al manejo de residuos de laboratorios en las universidades. La búsqueda se realizó en idioma portugués, español e inglés para cada una de las bases de datos y no se tuvo restricciones el tiempo, lugar o de otro tipo. Además, en cada idioma se establecieron distintas formas de búsqueda con frases constituidas por palabras claves. El periodo de tiempo de búsqueda fue de seis meses comenzando en febrero de 2020 y finalizando en Julio de 2020.

En la segunda fase, se tiene la Tabla 1, la cual contiene el nombre de las bases de datos en las que se hizo la búsqueda, los idiomas y palabras claves establecidas, la cantidad de resultados de cada una de las búsquedas, y el número de artículos seleccionados. El criterio de selección de los artículos, se hizo con base en la lectura previa del título y el resumen de cada una de las bases de datos, teniendo en cuenta que para Google Académico se estableció una restricción en los primeros 150 artículos que aprecian en la búsqueda, esto a causa de la cantidad de resultados que mostraba. De esta manera, fueron seleccionados 55 artículos que proporcionaban información suficiente en relación a los criterios establecidos para el análisis.

Base de datos	Idioma	Palabras claves	Resultados	Seleccionados
Science Direct	Portugués	Química Verde laboratório universidade	176	2
		Ecoeficiência laboratório universidade	28	
		Produção mais limpa laboratório universidade.	31	
		Minimização resíduos laboratório universidade	14	
	Español	Química Verde laboratorio universidad	176	3
		Ecoeficiencia laboratorio universidad	97	
		producción más limpia laboratorio universidad	48	
		Minimización residuos laboratorio universidad	7	
	Inglés	Green chemistry waste laboratory university	22.471	18
		Eco-efficiency waste laboratory university / college	7.947	
		Cleaner production waste laboratory university	9.329	
		Waste minimization lab university	19.281	

Tabla 1. Resultados de la revisión y selección de las bases de datos.

Base de datos	Idioma	Palabras claves	Resultados	Seleccionados
<i>Google académico</i>	Portugués	Química Verde laboratório universidade	1.520.000	4
		Ecoeficiência laboratório universidade	8.040	
		Produção mais limpa laboratório universidade	145.000	
		Minimização resíduos laboratório universidade	104.00	
	Español	Química Verde laboratorio universidad	20.800	21
		Ecoeficiencia laboratorio universidad	2.040	
		producción más limpia laboratorio universidad	18.700	
		Minimización residuos laboratorio universidad	24.300	
	Inglés	Green chemistry waste laboratory university	1.060	7
		Eco-efficiency waste laboratory university / college	2.160	
		Cleaner production waste laboratory university	16.300	
		Waste minimization lab university	20.000	

Finalmente, se realizó una agrupación de los artículos en tres (3) enfoques principales, con base a las contribuciones realizadas al tema de investigación (práctico, diagnóstico y teórico), además se hace un análisis en cada uno de ellos.

Resultados y Discusión

De acuerdo con la Tabla 2, se seleccionaron cincuenta y cinco (55) artículos entre los diferentes idiomas, palabras claves y bases de datos. En el Gráfico 1 se muestra el número de artículos seleccionados por idioma y por base de datos.

Los resultados de esta revisión muestran que existe un número mayor de investigaciones encontradas Google Académico, una posible explicación de esto, podría ser que las publicaciones en el tema de estudio se realizan a través de la página web de las propias universidades, o en sus respectivas revistas, además, esta base de datos considera una variedad mayor de productos científicos, como lo son trabajos presentados en congresos, conferencias, foros académicos, entre otros. Lo que es interesante acerca de los datos, es que se pueden encontrar hasta un 28% más de información que en Science Direct, teniendo en cuenta que no hubo restricción por tipo de publicación. Por otro lado, se puede observar que, con mucho, Science Direct mostró mejores resultados con el idioma en inglés (78% de los artículos en esta base datos), caso contrario se produjo con Google Académico, que mostró mejores resultados en el idioma español (66% de los artículos en esta base datos). En el caso de Science Direct, la mayor cantidad de resultados arrojados están enfocados en artículos de investigación, artículos de revisión y capítulos de libros, representando el 87% de todos los tipos de publicaciones que se muestran con la búsqueda de “Green chemistry waste laboratory university”.

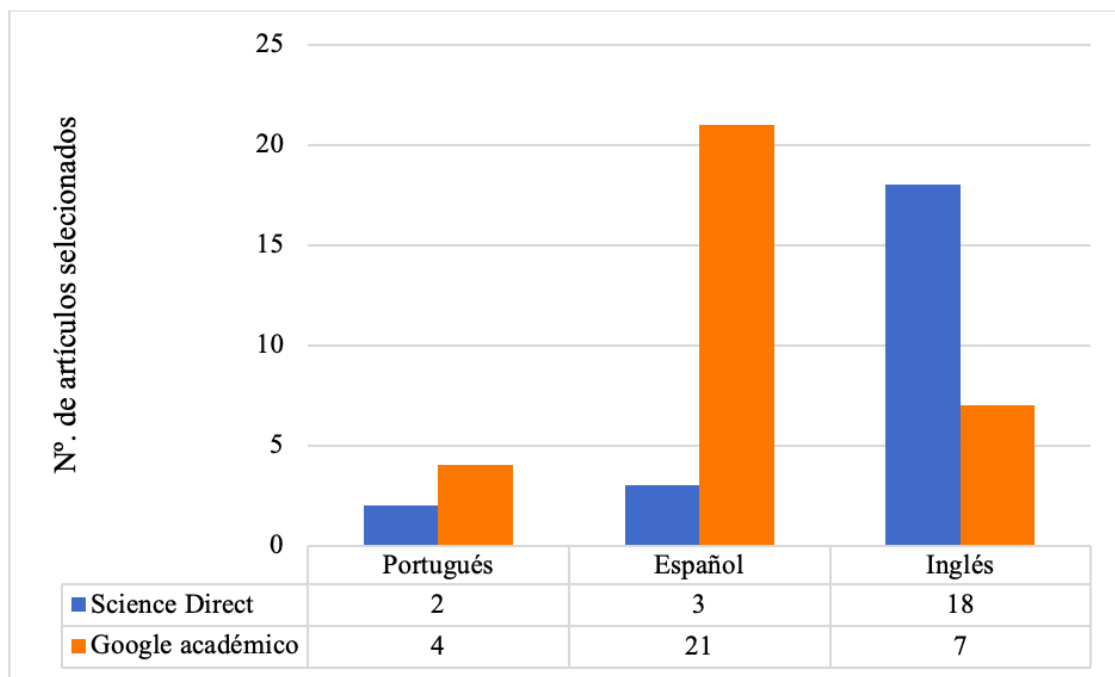


Gráfico 1. Número de artículos seleccionados por base de datos e idioma.

En el Gráfico 2 se muestra el número de artículos escogidos por idioma. Se evidencia que las referencias en inglés representan el 45% de los artículos seleccionados, seguido del idioma español que representa el 44% del total de artículos seleccionados, el porcentaje restante del 11%, corresponde a los artículos de idioma portugués. Conforme el estudio, se puede inferir que las investigaciones sobre la Química Verde aplicada en la gestión de residuos de laboratorios en universidades, están siendo desarrolladas y publicadas de manera proporcional en inglés y español. No obstante, hay mayor precisión en los resultados encontrados cuando se hace la búsqueda en idioma español, por lo que se puede deducir que muchas universidades hispanas están trabajando en este tema, siendo un componente relevante para demostrar calidad institucional y compromiso ambiental de ellas.

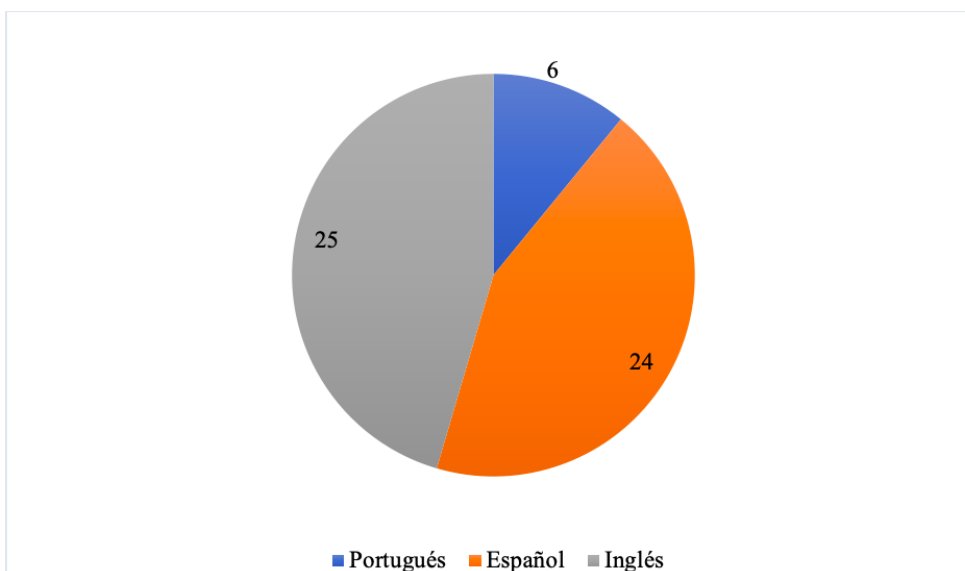


Gráfico 2. Número de artículos seleccionados por idioma.

En la Tabla 3 se describen todas las contribuciones hechas por los autores a la Química Verde aplicada en los residuos químicos generados en las universidades. Estas investigaciones fueron realizadas por investigadores alrededor del mundo y a partir de este milenio; es necesario resaltar que, aunque se hace una investigación sin restricciones de tiempo, los resultados se obtuvieron en este milenio, mostrando así que los trabajos en esta área son muy recientes, hecho que se refuerza con otros estudios ya realizados en el área (Fernandes *et al.*, 2013; Summerton *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2018).

Después de leer los artículos, se evidenció que existe una variedad de enfoques importantes en esta área de estudio, esos enfoques están representado en la Tabla 2. La gestión y el análisis de los resultados se realizaron considerando la agrupación en tres enfoques, el primero, representa los trabajos con contribuciones prácticas, es decir, aquellas que aplicaron el concepto de Química Verde en el área de la educación; fueron 24 artículos (44%) los definidos en esta categoría. Segundo, los trabajos con contribuciones en forma de diagnóstico, ósea, investigaciones con informaciones primarias, tales como cuestionarios o análisis del desempeño de la Química Verde en universidades y otras instituciones de enseñanza, en este grupo, fueron seleccionados 8 artículos (15%). Tercero, se encuentran los trabajos con contribuciones en la parte teórica, siendo muy importantes ya que sirven como un referente para los trabajos que hacen aplicación en la Química Verde; aquí se encontraron 23 artículos (42%).

Conforme los criterios definidos, se consigue evidenciar que existe un rango de años prevalentes en que estas investigaciones fueron desarrolladas. Para las contribuciones prácticas, hay una prevalencia de investigaciones entre os años 2018 y 2020, siendo el enfoque con investigaciones más recientes. Las contribuciones en forma de diagnóstico, fueron desarrolladas mayormente entre los años 2013 y 2014. Por último, las contribuciones teóricas fueron desarrolladas entre el 2004 y 2013. Tomados en conjunto, estos resultados sugieren que en la actualidad hay una transición de la teorización a la práctica, con un auge en aportes prácticos que validan la aplicación de la Química Verde en el campo de la gestión de residuos sólidos aplicado a las universidades.

Ítem	Prácticos	Diagnósticos	Teóricos
1	(Benavides <i>et al.</i> , 2012)	(Fernandes <i>et al.</i> , 2013)	(Castro <i>et al.</i> , 2011)
2	(Mera <i>et al.</i> , 2007)	(Maximiano <i>et al.</i> , 2009)	(Vargas & Ruiz, 2007)
3	(Cornejo <i>et al.</i> , 2014)	(Mansilla <i>et al.</i> , 2014)	(Gałuszka <i>et al.</i> , 2013)
4	(Contreras, 2018)	(Acevedo & Severiche, 2013)	(Morales <i>et al.</i> , 2011)
5	(Galicía & Miranda, 2008)	(Franco <i>et al.</i> , 2020)	(C. S. Doria, 2009)
6	(Águila <i>et al.</i> , 2005)	(Altava & Burguete, 2013)	(M. S. Doria & René, 2013)
7	(Ramírez <i>et al.</i> , 2017)	(Summerton <i>et al.</i> , 2013)	(Garritz, 2009)
8	(Safitri <i>et al.</i> , 2016)	(Wang <i>et al.</i> , 2018)	(Ramos & Peña, 2008)
9	(Izzo, 2000)		(Solís, 2008)
10	(Smyth <i>et al.</i> , 2010)		(Paul Anastas & Eghbali, 2009)
11	(Vitalino, 2019)		(Burmeister <i>et al.</i> , 2012)

Tabla 2. Referencias de los artículos seleccionados por enfoques.

12	(Avila & Vidal, 2019)	(Aparecida et al., 2018)
13	(Gauza, 2019)	(Slack <i>et al.</i> , 2007)
14	(Leite & Santos, 2019)	(Mooney, 2004)
15	(Torres, 2019)	(Nameroff <i>et al.</i> , 2004)
16	(Almeida & Demito, 2019)	(Warner <i>et al.</i> , 2004)
17	(Tomas <i>et al.</i> , 2020)	(Armenta <i>et al.</i> , 2005)
18	(Patrocinio, 2019)	(Veiga et al., 2017)
19	(Yang <i>et al.</i> , 2019)	(Kirchhoff, 2005)
20	(Zhao et al., 2019)	(Hurst, 2020)
21	(Hu <i>et al.</i> , 2019)	(Jad <i>et al.</i> , 2019)
22	(Gavilán-García <i>et al.</i> , 2015)	(Frontana-Uribe <i>et al.</i> , 2010)
23	(Ávila-Zárraga <i>et al.</i> , 2010)	(León-Cedeño, 2009)lel
24	(Escobedo <i>et al.</i> , 2016)e	

Los trabajos con enfoque práctico, en general, estos estudios resaltan la necesidad de realizar un buen levantamiento de los tipos, las características y la cantidad de los residuos generados en los laboratorios en las universidades (Contreras, 2018). A partir de eso, surge otro componente importante descrito en la literatura, el hecho de elaborar o mejorar las técnicas y procedimientos, con el objeto de reducir y sustituir los reactivos químicos tóxicos (Smyth *et al.*, 2010); finalmente, los autores concuerdan que la conciencia ambiental es una contribución muy importante en la educación, y de este modo, a futuro, puede ser mejorar el desarrollo en las industrias.

En lo que se refiere a las contribuciones hechas en forma diagnósticos. Estos estudios se desarrollaron mayormente por medio de encuestas dirigidas a los estudiantes y profesores. Los autores notaron que los estudiantes, en gran parte, demostraron falta de conocimiento en la aplicación de la Química Verde, a pesar que muchos de ellos hagan parte de un programa relacionado con este tema. En la misma línea, casi todos los artículos confirmaron la existencia de impactos ambientales relacionados con los residuos químicos generados en los laboratorios de universidades. Sin embargo, tales estudios, muestran que las instituciones que imparte cursos de Química Verde, consolidan lineamientos que promueven, a través del conocimiento y buenas prácticas de laboratorio, estrategias en dirección a la sustentabilidad. Un ejemplo de esto es el caso en países como España y China (Altava & Burguete, 2013; Wang *et al.*, 2018), donde, además, afirman la necesidad por parte de las industrias de tener profesionales que puedan aplicar estos principios en sus procesos. Se ha encontrado que existen instituciones de enseñanza, alrededor del mundo, que trabajan en la implementación de cursos específicos de Química Verde, o bien, dentro de un contenido específico de la formación académica profesional. Algunos estudios diagnósticos ya demuestran el éxito en su desarrollo través de sus profesionales, tal es el caso del estudio de Summerton *et al.*, (2013) el que evidencia que muchos profesionales adquieren habilidades que les ayudan a abrir puertas en el campo laboral e industrial.

Con respecto a las contribuciones teóricas a la Química Verde. Estos estudios resaltan la importancia del desarrollo de la Química Verde, a través de la pedagogía y el desarrollo de nuevos métodos que conllevan al desarrollo de rutas sintéticas y técnicas analíticas que

minimizan los impactos ambientales. En consecuencia, los autores abordaron estudios contextuales de la Química Verde, relacionados con la química analítica, concluyendo que la inclusión de los doce principios de la Química Verde, podría ser un factor importante en la formación y vida universitaria de los estudiantes en un contexto global. Algunos estudios transversales, como por ejemplo Morales *et al.*, (2011), implementaron una metodología para evaluar el grado de aplicación de la Química Verde en un experimento o proceso químico. Otra investigación, realizada por Nameroff *et al.*, (2004), concluyeron que la educación es el segundo sector que más patentes tiene en Química Verde en el mundo. Esto respaldan la hipótesis de que la Química Verde es un área de oportunidades y por medio de iniciativas sustentables en el contexto académico/profesional, podría llevar a las instituciones educativas a ser un modelo y referencia de prácticas ecológicamente correctas.

Es importante resaltar que en las bases de datos existen contribuciones idóneas que pudiesen haber servido como referentes para el presente estudio. Por tanto, aunque no se tuvo en cuenta ninguna restricción en la búsqueda, algunas no fueron identificadas bajo la aplicación de la metodología descrita. Además, cabe mencionar que actualmente, muchas instituciones están trabajando en el campo de la aplicación de los principios de la Química Verde aplicada en las Universidades.

Conclusiones

Los estudios relacionados con la aplicación de la Química Verde en la educación han sido estudiados a partir de este milenio, logrando avances importantes desde el área de la química analítica y creación de nuevas rutas sintéticas, consiguiendo abrir camino a la implementación de técnicas y procedimientos nuevos que garantizan la afinidad con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Algunas universidades en el mundo ya presentan resultados de éxitos en la aplicación de la Química Verde en sus programas de formación relacionados a esta área del conocimiento.

Estudios relacionados con la Química Verde tienden a ser publicados en las páginas web y revistas propias de las universidades o en eventos científicos, por lo que son menos la cantidad de investigaciones que se publican en bases de datos externas.

En la actualidad está habiendo una transición de la teorización a la práctica, con un número creciente de aportes prácticos que validan la aplicación de la Química Verde en el campo de la gestión de residuos sólidos aplicado a las universidades.

El conocimiento de la Química Verde por parte de los estudiantes de las universidades todavía es débil y las investigaciones de Química Verde aplicadas en residuos químicos deben enfocarse en la prevención de su generación, pensando, además, en la Producción Más Limpia y en el Análisis de Ciclo de Vida de los productos.

Existen contribuciones importantes en el campo de la aplicación de la Química Verde a las Universidades. Sin embargo, las restricciones de acceso como los costos, la localización geográfica o la afiliación institucionalidad, impiden el acceso a una parte de estos estudios.

La Química Verde se encuentra estrechamente relacionada con la ecoeficiencia, comparten los principios de prevenir la creación de residuos, maximizar la economía, realizar productos menos peligrosos, proyectar la eficiencia energética, usar materias primas renovables, evitar derivados químicos, proyectar productos fácilmente degradables al final de su vida útil, evitar la contaminación y prevenir accidentes.

Referencias

- Acevedo, R., & Severiche, C. (2013). Evaluación de impactos ambientales en un laboratorio de calidad de aguas. *Producción + Limpia*, 8(2), 32–38.
- ACS. (2020). Instituto de Química Verde ACS. <https://www.acs.org/content/acs/en/greenchemistry/about.html>
- Águila, H., Díaz, A., Primelles, E., Guerra, B., Ríos, L., Escobar, J., Zorrilla, M., Pérez, M., López, M., & González, Y. (2005). Propuesta de Programa para Mejorar la Seguridad y Minimizar el Vertimiento de Residuos en Laboratorios Químicos de la UCLV. *Revista Cubana de Química*, XVII, 108–116. <https://doi.org/0258-5995>
- Almeida, G. Z. de, & Demito, M. L. (2019). *Desenvolvimento de processo químico para a recuperação de hexanos em mistura com acetato de etila, via hidrólise alcalina* [Universidade Tecnológica Federal do Paraná.]. http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12199/1/PG_COENQ_2018_2_16.pdf
- Altava, B., & Burguete, M. I. (2013). Educación cooperativa en Química Verde : la experiencia española. *Educación Química*, 24, 132–138. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72506-0](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72506-0)
- Anastas, P. T., Heine, L. G., & Williamson, T. C. (2000). Green Chemical Syntheses and Processes: Introduction. In P. T. Anastas, L. G. Heine, & T. C. Williamson (Eds.), *Green Chemical Syntheses and Processes* (pp. 1–6). Green Chemical Syntheses and Processes.
- Anastas, P. T., & Williamson, T. C. (1996). *Green Chemistry: An Overview* (A. P. T. & W. T. C. (eds.)). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-1996-0626>
- Anastas, P., & Kirchoff, M. (2002). Origins , Current Status , and Future Challenges of Green Chemistry. *Acc. Chem.*, 35(9), 686–694. <https://doi.org/10.1021/ar010065m>
- Anastas, Paul, & Eghbali, N. (2009). Green Chemistry : Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, 39, 301–312. <https://doi.org/10.1039/b918763b>
- Anastas, Paul, & Warner, J. (1998). *Green chemistry: theory and practice* (Oxford Uni). Oxford University Press.
- Aparecida, B., Rechelo, B. S., Gandolpho, E., Kogawa, A. C., & Nunes, H. R. (2018). Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2018.07.011>
- Armenta, S., Garrigues, S., & Guardia, M. (2005). The role of green extraction techniques in Green Analytical Chemistry. *Trends in Analytical Chemistry*, 71(3), 7. [https://doi.org/10.1016/0302-4598\(82\)80028-7](https://doi.org/10.1016/0302-4598(82)80028-7)
- Ávila-Zárraga, J. G., Cano, S., & Gavilán-García, I. (2010). Obtención de alquenos aplicando los principios de la química verde . In *Educación química* (Vol. 21, pp. 183–189). scielomx .
- Avila, T. Y., & Vidal, R. V. A. (2019). Degradación de Ampicilina, Catecol y el colorante naranja II, a partir de residuos de CdS obtenidos de prácticas convencionales de química inorgánica. *Universidad Santiago de Cali*, 15. <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/2534>

- Benavides, A., Vargas, X., Chavez, G., & Rodriguez, J. (2012). Hacia una gestión de reactivos y residuos químicos en los laboratorios de docencia de la escuela de química en la Universidad Nacional. *UNICIENCIA*, 26, 65–73.
- Burmeister, M., Rauch, F., & Eilks, I. (2012). Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, 13, 59–68. <https://doi.org/10.1039/c1rp90060a>
- Castro, P., Nerlis, P., Olivero, V., & Tadeo, J. (2011). Química verde: un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21, 169–182. <http://www.redalyc.org/html/911/91123440009/>
- Contreras, R. R. (2018). *Desde el desarrollo sostenible hasta la química verde*. Universidad de Los Andes. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/36423/articulo12.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cornejo, O. N., Martínez, I. M., Vilaplana, E. O., & Sepúlveda, A. E. (2014). Química Verde: trabajo de laboratorio en la Microescala. In Y. M. T. Tortosa, T. J. D. Álvarez, & B. N. Pellín (Eds.), *XII Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria. El reconocimiento docente: innovar e investigar con criterios de calidad* (Vol. 136, Issue 1, pp. 1051–1065). Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/40144>
- Doria, C. S. (2009). Química verde : un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Química Verde*, 412–420.
- Doria, M. S., & René, M. R. (2013). Química verde: Un tema de presente y futuro para la educación de la química. *Educacion Quimica*, 24(SPL.ISSUE1), 94–95. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72501-1](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72501-1)
- Escobedo, R., Miranda, R., & Martínez, J. (2016). Infrared Irradiation: Toward Green Chemistry, a Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(4), 453. <https://doi.org/10.3390/ijms17040453>
- Fernandes, L., Leal, S. H., Corio, P., & Fernandez, C. (2013). Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química. *Educacion Quimica*, 24(SPL.ISSUE1), 113–123. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72504-7](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72504-7)
- Franco, R. A. M., Reina, J. A. H., & Riveros, C. M. T. (2020). Concepciones Sobre Química Verde en Profesores de Química en Formación Inicial. *Revista Noria Investigación Educativa*, Vol. 1 Núm, 95–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.14483/25905791.16507>
- Frontana-Urbe, B., Little, R., Ibanez, J., Palma, A., & Vasquez-Medrano, R. (2010). Organic Electrosynthesis: A Promising Green Methodology in Organic Chemistry. *Green Chem.*, 12, 2099–2119. <https://doi.org/10.1039/C0GC00382D>
- Galicia, Y., & Miranda, D. (2008). *Propuesta de una Guia para el Tratamiento de Desechos Quimicos Generados en el Laboratorio de la Facultad de Quimica y Farmacia de la Universidad de el Salvador* (p. 265). Universidad de el Salvador.
- Gałaszka, A., Migaszewski, Z., & Namieśnik, J. (2013). The 12 principles of green analytical chemistry and the significance mnemonic of green analytical practices. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 50, 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2013.04.010>
- Garritz, R. A. (2009). Química verde y reducción de riesgos. *Educación Química*, 394–397.

- Gauza, O. R. (2019). *Gerenciamento de resíduos sólidos em laboratórios de química: caso de uma instituição de ensino superior* [Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4228>
- Gavilán-García, I. C., Ávila-Zárraga, J. G., Birrichaga-Bonilla, N. I., & Cano Díaz, G. S. (2015). Evaluación del factor de aceptabilidad ambiental como criterio de idoneidad en las prácticas de Química Orgánica. In *Educación química* (Vol. 26, pp. 52–56). scielomx.
- González, M. L., & Valea, A. (2009). El compromiso de enseñar química con criterios de sostenibilidad: la química verde. *Educación Química*, 2, 5.
- Gutiérrez, B. B. E., & Martínez, R. M. C. (2010). El plan de acción para el desarrollo sustentable en las instituciones de educación superior: Escenarios posibles. In *Revista de la educación superior* (Vol. 39, pp. 111–132). scielomx.
- Halpaap, A., & Dittkrist, J. (2018). Sustainable chemistry in the global chemicals and waste management agenda. *Green and Sustainable Chemistry*, 9, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2017.11.001>
- Hu, M., Wu, W., & Jiang, H. (2019). Palladium-Catalyzed Oxidation Reactions of Alkenes with Green Oxidants. *ChemSusChem*, 12(13), 20. <https://doi.org/10.1002/cssc.201900397>
- Hurst, G. A. (2020). Systems thinking approaches for international green chemistry education. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 21, 93–97. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.02.004>
- Izzo, R. (2000). Waste minimization and pollution prevention in university laboratories. *Chemical Health and Safety*, 7(3), 29–33. [https://doi.org/10.1016/S1074-9098\(00\)00080-0](https://doi.org/10.1016/S1074-9098(00)00080-0)
- Jad, Y. E., Kumar, A., El-Faham, A., De La Torre, B. G., & Albericio, F. (2019). Green Transformation of Solid-Phase Peptide Synthesis [Review-article]. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(4), 3671–3683. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b06520>
- Kirchhoff, M. M. (2005). *Promoting sustainability through green chemistry*. 44(January), 237–243. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.01.003>
- Leal, J. (2005). Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. *Comisión Económica Para América Latina y El Caribe*, 82.
- Leite, T. M., & Santos, M. V. (2019). Tratamento de resíduos de cromógrafos nas aulas de química analítica. *Revista Eletrônica Do Mestrado Em Educação Ambiental*, 34;47. <https://doi.org/10.14295/remea.v0i2.8876>
- León-Cedeño, F. (2009). Implementación de algunas de las técnicas de la Química Verde (o Química Sustentable) en docencia. *Educación Química*, 20, 441–446. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30048-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30048-X)
- Mansilla, D., Muscia, G., & Uglierolo, E. (2014). Una fundamentación para la incorporación de la química verde en los currículos de química orgánica. *Educación Química*, 25(1), 56–59. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70524-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70524-5)
- Maximiano, F. A., Corio, P., Alves, P., & Fernandez, C. (2009). Química Ambiental e Química Verde no conjunto do conhecimento químico: concepções de alunos de graduação em Química da Universidade de São Paulo. *Educación Química*, 398–404. <https://doi.org/10.1080/13594320244000201>

- Mera, A., Andrade, B., & Ortiz, M. (2007, July). Alternativa para la segregación de residuos químicos generados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. *Universidad Del Cauca*, 13.
- Mooney, D. (2004). Effectively minimizing hazardous waste in academia: The Green Chemistry approach. *Chemical Health and Safety*, 11(3), 24–28. <https://doi.org/10.1016/j.chs.2004.02.004>
- Morales, M., Martínez, J., Reyes, L., Martín, O., Arroyo, G., Obaya, A., & Miranda, R. (2011). ¿Qué tan verde es un experimento? *Educación Química*, 22(3), 240–248. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30140-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30140-X)
- Nameroff, T. J., Garant, R. J., & Albert, M. B. (2004). Adoption of green chemistry: An analysis based on US patents. *Research Policy*, 33(6–7), 959–974. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.03.001>
- Patrocínio, K. L. do. (2019). *Síntese de acilfosfodiésteres orgânicos: uma metodologia de química verde* [Universidade Federal de São Carlos]. https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/12063/Katiana_Lima_do_Patrocínio_Dissertação_OK.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramírez, E., Rivera, J., Ramírez, A., Cerino, F., López, U., Fernández, S., & Rivas, P. (2017). A comprehensive hazardous waste management program in a Chemistry School at a Mexican university. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1486–1491. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.158>
- Ramos, J., & Peña, L. (2008). Gestión de residuos químicos en instituciones educativas. *Artes y Ciencias Sociales*, 85–88. <https://doi.org/E-2344-8350>
- Rodríguez, B. M., & Espinoza, G. (2002). Capítulo 3 Problemas ambientales de la región. In D. Wilk (Ed.), *Gestión ambiental en América Latina y el Caribe Evolución, tendencias y principales prácticas* (p. 285). Banco Interamericano de Desarrollo. <http://www.manuelrodriguezbecerra.org/bajar/gestion/portada.pdf>
- Safitri, I., Subramaniam, D., Sulaiman, H., Saleh, A. L., Omar, W., & Razman, S. M. (2016). Institutionalize waste minimization governance towards campus sustainability: A case study of Green Office initiatives in Universiti Teknologi Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1407–1422. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.053>
- Slack, R. J., Gronow, J. R., Hall, D. H., & Voulvoulis, N. (2007). *Household hazardous waste disposal to landfill: Using LandSim to model leachate migration*. 146, 501–509. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.07.011>
- Smyth, D. P., Fredeen, A. L., & Booth, A. L. (2010). Reducing solid waste in higher education: The first step towards “greening” a university campus. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(11), 1007–1016. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.02.008>
- Solís, Á. U. (2008). El impacto de la actividad universitaria sobre el medio ambiente. *Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 356–366. <http://www.redalyc.org/html/920/92050309/>
- Sudicky, E. A., & Huyakorn, P. S. (1991). Contaminant Migration in Imperfectly Known Heterogeneous Groundwater Systems. *Reviews of Geophysics*, 29(April), 240–253.
- Summerton, L., Hunt, A. J., & Clark, J. H. (2013). Green Chemistry for postgraduates. *Educación Química*, 24(SPL.ISSUE1), 150–155. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72508-4](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72508-4)
- Tomas, C. M. M., Araújo, S. F., dos Anjos, C. R. A. Q., & Almeida, E. S. (2020). Estudo da Redução de

- Reagentes na Determinação de Proteínas em Alimentos - Método de Kjeldahl. *Revista Inova Ciência & Tecnologia*, v.6, n.1, 35–39. <http://periodicos.iftm.edu.br/index.php/inova/article/view/999/450>
- Torres, D. P. S. (2019). *Análisis de estrategias para el manejo integral de los residuos peligrosos generados en los laboratorios de aguas y ciencias básicas de UNISANGIL- sede San Gil* [Universidad de Manizales]. <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/3516>
- Vargas, E. O., & Ruiz, L. P. (2007). Química verde en el siglo XXI; Química verde, una química limpia. *Revista Cubana de Química*, XIX(1), 29–32. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543706009>
- Veiga, L. Á., Leal, F. W., Brandli, L., Macgregor, C. J., Molthan-Hill, P., Gökçin, P. Ö., & Martins, R. M. (2017). Barriers to innovation and sustainability at universities around the world. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1268–1278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.025>
- Vilches, A., & Gil, P. D. (2011). Papel de la Química y su enseñanza en la construcción de un futuro sostenible. In *Educación química* (Vol. 22, pp. 90–102). scielomx.
- Vitalino, N. R. (2019). *Experimentos verdes em química orgânica: uma proposta de aplicação do método da Estrela Verde para o curso Técnico em Química* [Universidade Federal de Minas Gerais]. <http://hdl.handle.net/1843/32111>
- Wang, M. Y., Li, X. Y., & He, L. N. (2018). Green chemistry education and activity in China. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.07.001>
- Warner, J. C., Cannon, A. S., & Dye, K. M. (2004). Green chemistry. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(7–8), 775–799. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.006>
- Yang, X. J., Zheng, L. Q., Wu, L. Z., Tung, C. H., & Chen, B. (2019). Visible light-catalytic dehydrogenation of benzylic alcohols to carbonyl compounds by using an eosin y and nickel-thiolate complex dual catalyst system. *Green Chemistry*, 21(6), 7. <https://doi.org/10.1039/c8gc03828g>
- Zhao, X., Wang, X. L., Tian, F., An, W. L., Xu, S., & Wang, Y. Z. (2019). A fast and mild closed-loop recycling of anhydride-cured epoxy through microwave-assisted catalytic degradation by trifunctional amine and subsequent reuse without separation. *Green Chemistry*, 21(9), 2487–2493. <https://doi.org/10.1039/c9gc00685k>