

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS VILLAVICENCIO
DOCUMENTO DE TRABAJO - PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
VII CONVOCATORIA INTERNA PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
MODALIDAD: Proyectos Interinstitucionales en el marco de la articulación
entre Universidad – Empresa – Estado – Sociedad Civil

**Estudio para la gestión de residuos generados en los laboratorios de la
Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, sede
Villavicencio**

INVESTIGADOR PRINCIPAL-USTA (En calidad de Investigadora Solidaria): **Yésica Natalia Mosquera Beltrán**, CC: 53.031.010. Ingeniera Química, Magister en Hidrosistemas de la Pontificia Universidad Javeriana. Decana de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás en la sede Villavicencio y docente de espacios académicos Gestión Ambiental de Procesos, Investigación en Ingeniería y Opción de Grado. Experiencia en proyectos de investigación en temáticas de calidad de agua, tratamiento de aguas residuales, sistemas nanotecnológicos para la cuantificación de metales pesados y contaminación atmosférica. Experiencia profesional en gestión administrativa, laboratorios ambientales, docencia universitaria y proyectos de gestión del recurso hídrico. Integrante del Grupo de Investigación “Gestión Ambiental USTA Villavicencio – GAUV” de la *Facultad de Ingeniería Ambiental*. Código Colciencias: COL0159731. CvLAC:
https://scienti.colciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001428743

CO-INVESTIGADOR-Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Brasil: **Valma Martins Barbosa**. Graduação em Licenciatura e Bacharelado, mestrado em Ciências (Bioquímica) e doutorado em Química (Físico-Química). Professora da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CO-INVESTIGADOR-USTA: **Kimberly Patricia Montañez**, CC: 1.057.588.787. Ingeniera Ambiental, maestrante en ingeniería civil con énfasis en recursos hidráulicos y medio ambiente, docente de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, con experiencia en docencia, dirección de trabajos de grado, supervisión de contratos, manejo de personal, manejo y disposición de residuos sólidos y peligrosos, educación ambiental, coordinación y gestión ambiental. Integrante del Grupo de Investigación “Gestión Ambiental USTA Villavicencio – GAUV” de la *Facultad de Ingeniería Ambiental*. Código Colciencias: COL0159731. CvLAC:
https://scienti.colciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001360689

CO-INVESTIGADOR-Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Brasil: **Jonathan Steven Murcia Fandiño**. Ingeniero Ambiental, Especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo, maestrante en Ciencia y Tecnología Ambiental. Profesor de la Universidad Santo Tomás. Estudiante de la Maestría en Ciencia y Tecnología Ambiental – Universidad de Paraná.

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN: Diana Paola Herrera Gómez y .Camila Alejandra Buitrago Barbosa.

RESUMEN

La química ha contribuido enormemente al desarrollo actual del ser humano, no obstante, ha traído consigo impactos negativos al medio ambiente que dificultan el cumplimiento de los principios de desarrollo sostenible. La Química Verde surge como alternativa a este impacto, y juega un papel importante en el desarrollo de nuevos los procesos químicos, pensado siempre en la prevención de los efectos adversos ocasionadas por las técnicas convencionales. Las instituciones de educación, desempeñan una función primordial en la

implementación de los conceptos de Química Verde, ya que trascienden el conocimiento y conciencia hacia los futuros profesionales. En el presente proyecto, enmarcado en una relación interinstitucional con la Universidad Tecnológica Federal do Paraná, se pretende aplicar la Química Verde enfocado en el trabajo en microescala, a las guías de procedimiento experimental de laboratorios de la Universidad Santo Tomás, utilizados como escenarios de práctica por la Facultad de Ingeniería Ambiental sede Villavicencio, como estrategia para cumplimiento de la normatividad legal vigente y los objetivos de desarrollo sostenible.

Palabras Clave

Química Verde, Microescala, Laboratorios Universitarios, Sistemas Globalmente Armonizado.

INTRODUCCIÓN

Los aportes de la química en diferentes sectores como, medicina, alimentos, automotriz, cuidado personal, avances tecnológicos, vestuario, entre otros, han ofrecido múltiples beneficios a la sociedad (Contreras, 2018; González & Valea, 2009; Halpaap & Dittkrist, 2018). A pesar de ser una ciencia necesaria en el desarrollo del hombre, genera efectos negativos en el medio ambiente, debido al uso intensivo de sustancias en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto, y afecta las matrices ambientales con la emisión de contaminantes en el aire, el vertimiento a cuerpos hídricos, el abandono o mala disposición de residuos sólidos en los suelos y la exposición directa a seres vivos, además por sus características, las sustancias pueden bioacumularse, biomagnificarse y permanecer por cientos de años en el entorno (Aparecida, Rechelo, Gandolpho, Kogawa, & Nunes, 2018; Rodríguez & Espinoza, 2002).

En los años 90, la transición hacia el concepto de sostenibilidad, llevó al surgimiento de la producción más limpia (PML). Este enfoque es apoyado por pilares como la reducción del consumo de recursos naturales (haciendo un uso sostenible), disminuyendo el impacto ambiental asociado a la producción y mejorando el valor de productos y servicios en todo su ciclo de vida (Acevedo & Severiche, 2013; Leal, 2005). En el sector químico, surgieron tres conceptos: *(i)* la química sustentable basada en el ciclo de vida (Halpaap & Dittkrist, 2018); *(ii)* el trabajo en microescala, término que atiende al objetivo de producir más con menos; y, por último, *(iii)* la "Química Verde", término que busca la sustentabilidad a través de la aplicación de procesos económicamente viables, socialmente aceptables y ambientalmente amigables.

La Química Verde es un área multidisciplinar de la química que busca eliminar la producción de sustancias peligrosas mediante diferentes alternativas de compatibilidad ambiental en procesos y productos, gestionando la eficiencia en el uso de recursos materiales y energéticos (P. T. Anastas, Heine, & Williamson, 2000; Paul Anastas & Eghbali, 2009; Paul Anastas & Warner, 1998; Aparecida et al., 2018; Benavides, Vargas, Chavez, & Rodriguez, 2012; Castro, Nerlis, Olivero, & Tadeo, 2011; Contreras, 2018; C. S. Doria, 2009; Garritz, 2009; González & Valea, 2009; Kirchhoff, 2005; Leal, 2005; Maximiano, Corio, Alves, & Fernandez, 2009; Mooney, 2004; Morales et al., 2011; Rodríguez &

Espinoza, 2002; Vargas & Ruiz, 2007). Es importante definir que la "Química Verde" funciona a partir de la prevención de impactos ambientales a nivel atómico y molecular y no en su remediación. Se trata de eliminar el peligro en sí, en lugar de reducir el riesgo, minimizando la exposición (M. D. C. S. Doria & René, 2013; Fernandes, Leal, Corio, & Fernandez, 2013; Mooney, 2004; Warner, Cannon, & Dye, 2004).

Dentro de las principales áreas de foco de la "Química Verde" se encuentra: el uso de vías sintéticas alternativas, utilizando recursos renovables como materia prima; uso de condiciones alternativas de reacción y diseño de sustancias químicas menos tóxicas y/o biodegradables; optimización en el uso de energías, reducción de residuos y emisiones. Por estas razones, la química analítica debe considerar la "Química Verde" como una estimulante para su desarrollo (Contreras, 2018; Gałuszka, Migaszewski, & Namieśnik, 2013; Mooney, 2004; Vargas & Ruiz, 2007).

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; Benavides et al., 2012; Contreras, 2018; Cornejo, Martínez, Vilaplana, & Sepúlveda, 2014; M. D. C. S. Doria & René, 2013; GALICIA & MIRANDA, 2008; Izzo, 2000; Mansilla, Muscia, & Ugliarolo, 2014; Mera, Andrade, & Ortiz, 2007; Morales et al., 2011; Nameroff, Garant, & Albert, 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; Maximiano et al., 2009; Mooney, 2004; Smyth, Fredeen, & Booth, 2010; Summerton, Hunt, & Clark, 2013; Veiga et al., 2017; Wang, Li, & He, 2018).

Un cambio en la manera de educar, pensar y actuar es importante para el desarrollo de la Química Verde. Algunos de estos cambios pueden ser: introducir conceptos de "Química Verde" en los exámenes; educar a los legisladores y responsables de la educación sobre los beneficios de la "Química Verde"; poner material de referencia al alcance de los profesores; desarrollo de experimentos de laboratorio adaptados al nivel educativo del alumno para ilustrar los principios de la materia; no ver la "Química Verde" como una disciplina separada; trabajar en microescala; sustituir el concepto de rendimiento por el de la economía atómica; incorporar ecuaciones balanceadas de química orgánica añadidas al uso de economía atómica; ofrecer conocimiento de la toxicidad como propiedad física y química e incluir la toxicología química y de riesgo (P Anastas & Kirchhoff, 2002; Garritz, 2009; Izzo, 2000; Mansilla et al., 2014; Mooney, 2004; Morales et al., 2011; Summerton et al., 2013; Wang et al., 2018).

Con el desarrollo de este proyecto se pretende proponer la aplicación del concepto de Química Verde en las guías de procedimiento experimental de laboratorios, de la Facultad de Ingeniería Ambiental en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio; partiendo de un diagnóstico que servirá como base para establecer propuestas de mejora, esto, mediante métodos comprobados de laboratorios, que permitan, sugerir cambios en el uso y manejo de reactivos y residuos de laboratorios. Por consiguiente, divulgar el trabajo desarrollado a toda la comunidad académica de la facultad. Este trabajo será desarrollado en

conjunto entre la Universidad Santo Tomas en Colombia y la Universidad Tecnológica Federal de Paraná en Brasil.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las instituciones de educación superior, actúan como generadores de residuos peligrosos, los cuales mayormente provienen de sus laboratorios. De acuerdo con Jorge Loayza, estas instalaciones manejan una gran diversidad de reactivos químicos en pequeñas cantidades, lo que marca la diferencia con las empresas industriales, la cuales manejan reactivos químicos en grandes volúmenes, pero en menor diversidad (Loayza, 2005).

Los reactivos y residuos generados por laboratorios de instituciones de educación pueden causar daño a la salud humana y al medio ambiente, esto depende del grado de exposición, la toxicidad, el conocimiento y la gestión que se realiza. En el contexto de la salud, un mayor uso de reactivos, implica la exposición a una mayor concentración de la sustancia, por lo que el riesgo de efectos negativos también aumenta, y si no se tiene el conocimiento adecuado, el riesgo podría aumentar más, pues se suma el riesgo por contaminación cruzada e incompatibilidad de sustancias. En el contexto ambiental, existen casos en que las sustancias no son neutralizadas y son vertidas al desagüe, llegando directamente al alcantarillado municipal y/o fuentes hídricas, afectando el ecosistema de acuerdo a la naturaleza y sinergia.

Desde el punto de vista institucional, la formación de profesionales conscientes de sus acciones y su entorno es vital para definir un perfil profesional competitivo. No obstante, a partir del desarrollo de las guías de procedimiento experimental, el estudiante debería ser consciente del uso, manejo y disposición de reactivos y residuos de laboratorio. Sin embargo, en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, actualmente, los mecanismos que garanticen este principio son limitados, generando en los estudiantes una falta de conciencia en las acciones que llevan a cabo a partir de su formación profesional.

En el ámbito legal, la Universidad Santo Tomás, como entidad que realiza manejo de sustancias peligrosas, debe implementar un Sistema Globalmente Armonizado, en el cual se establezcan todas las estrategias para asegurar el adecuado manejo y etiquetado de todos los reactivos químicos; actualmente la universidad se encuentra en proceso de su implementación.

Hoy en día, la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, no mantiene un inventario dinámico y actualizado del uso de reactivos por periodo académico para cada facultad y un análisis de la eficiencia en el uso de reactivos para las guías de procedimiento experimental de laboratorios, pudiendo generar altos costos en la compra de este tipo de sustancias. Además, no cuenta con estrategias protocolizadas que disminuyan el impacto de los reactivos químicos que se utilizan en el laboratorio, esto, debido al desconocimiento de una gestión sustentable que logre que cada una de las guías de laboratorio que se desarrollan en la institución, sea evaluada con el fin reducir significativamente los residuos generados, además de contar con procedimientos de neutralización, almacenamiento y disposición adecuada, protegiendo la salud y preservando el medio ambiente.

LÍNEA ACTIVA DE INVESTIGACIÓN Y APOORTE

El presente proyecto tiene un enfoque transdisciplinar desde la línea de investigación en gestión ambiental, sublínea de desarrollo sostenible, que se articula con la profundización del programa de pregrado en salud ambiental. Desde la línea y apuesta curricularse promueve el trabajo colaborativo internacional con la Universidad Tecnológica Federal de Paraná en Brasil, que brindará su experiencia en el tema de la Química Verde y trabajo en microescala aplicados a universidades, a través de una doctora en el área y un estudiante de posgraduación.

El proyecto se presenta como una aplicación real a la sustentabilidad académica y universitaria, atendiendo algunos objetivos de desarrollo sostenible y con una aplicabilidad desde el ámbito social, económico y ambiental. Desde el ámbito social, contribuye a la seguridad en la salud de los estudiantes y trabajadores que hacen parte directa de las actividades de laboratorio y crea un mecanismo de sensibilización para la comunidad estudiantil y su formación como futuros profesionales. Desde el ámbito económico, prevé la reducción del uso y consumo de reactivos por parte de los estudiantes en sus prácticas, lo que supone una reducción en la generación de residuos, además del posible aprovechamiento de estos residuos, lo que se traduce también en un beneficio ambiental.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la viabilidad de mejora en las guías de procedimientos experimentales de laboratorios, desarrollados por la Facultad de Ingeniería Ambiental de la universidad Santo Tomás sede Villavicencio, mediante la aplicación de los principios de trabajo en Microescala y Química Verde.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar un diagnóstico de los procedimientos experimentales desarrollados en diferentes espacios académicos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio.
- Formular medidas de manejo eficientes en las guías de procedimientos experimentales de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, basados en el trabajo de Microescala.
- Transferir a la Comunidad Universitaria (Directivos, Docentes, Administrativos y Estudiantes), la propuesta de manejo de sustancias y residuos generados en laboratorios universitarios, aplicando los conceptos y principios de “Química Verde” y trabajo en Microescala.

JUSTIFICACIÓN

La mayoría de los métodos analíticos en la química, no se consideran ambientalmente sostenibles y requieren cambios en sus metodologías para el tratamiento, partiendo también del principio de que la cantidad de reactivos utilizados, es directamente proporcional a la cantidad de residuos generados. El sector educativo, es el que mayor variedad de reactivos y residuos químicos peligrosos usa y genera, sumado a ello, la mayor parte de estos son manipulados por estudiantes, los cuales no cuentan con la experiencia necesaria para su uso y manejo, existiendo riesgo de exposición y vertimiento de sustancias peligrosas, lo que trae consigo un impacto negativo a la salud y al medio ambiente.

La gestión de los reactivos y residuos peligrosos es responsabilidad y obligación del generador; el manejo inadecuado implica incumplimiento normativo y posibilidad de sanciones por parte de las autoridades competentes. Además, la mala gestión puede acarrear un uso innecesario de reactivos, lo que aumenta los costos para su adquisición. La Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, no cuenta aún con la implementación de un Sistema Globalmente Armonizado para la clasificación y etiquetado de productos químicos, no obstante, carece actualmente del inventario de reactivos usados por cada facultad, del análisis de eficiencia de las guías de procedimiento experimental, del manejo adecuado para neutralización y almacenamiento, y de los factores de riesgos asociados a cada guía de procedimiento experimental.

Por todo lo anterior, la Universidad Santo Tomás, desde el ámbito de 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). Para ello, debe centrar sus acciones en aspectos como: el procedimiento utilizado, la cantidad, el tipo, la peligrosidad y la jerarquía de la gestión de los residuos generados (reducción, reutilización y reciclado, tratamiento y disposición final). Esto, con el fin de transformarlos en espacios para la creación de procesos químicos que permitan la prevención del impacto ambiental y a la salud desde su origen (Águila et al., 2005; Benavides et al., 2012; Kirchhoff, 2005; Mera et al., 2007; Ramírez et al., 2017; Ramos & Peña, 2008; Sudicky & Huyakorn, 1991; Summerton et al., 2013; Vargas & Ruiz, 2007), consiguiendo aplicar conceptos como la Química Verde y el trabajo en microescala (Armenta, Garrigues, & Guardia, 2005; Cornejo et al., 2014; M. D. C. S. Doria & René, 2013; Gałuszka et al., 2013).

El papel de la Universidad Santo Tomás como parte del sector educación es extremadamente importante para atender a los objetivos de desarrollo sostenible (M. D. C. S. Doria & René, 2013; Safitri et al., 2016; Smyth et al., 2010; Solís, 2008). Puede proporcionar soporte para tecnologías limpias, a través del conocimiento fundamental de nuevos productos y procesos químicos, los cuales pueden aplicarse a la industria (Kirchhoff, 2005), generando así, una producción y consumo responsable. Para ello, es necesario entrenar a nuevas generaciones de profesionales, que además de conocer los propios conceptos de la química, puedan aplicar las nuevas estrategias

basadas en una "Química Verde" (Altava & Burguete, 2013; Cornejo et al., 2014; C. S. Doria, 2009; Fernandes et al., 2013; Mansilla et al., 2014; Wang et al., 2018). No obstante, es necesario trabajar a partir de la enseñanza, la investigación y la vida universitaria(Izzo, 2000; Solís, 2008).

Los beneficios presentados por el trabajo en Microescala y Química Verde, se pueden traducir 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).

A pesar de todos los estudios desarrollados en el área de la Química Verde y trabajo en microescala, todavía hay necesidad de llevar a cabo investigaciones para solucionar algunos aspectos relacionados a la aplicación de nuevas tecnologías, economía circular y procesos ambientales responsables.Las prácticas apropiadas de clasificación, manipulación y descarte son necesarias debido a la corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad o inflamabilidad de estas sustancias (Ramírez et al., 2017). Es una prioridad establecer un cambio en la forma en que los reactivos se utilizan en laboratorios(P Anastas & Kirchhoff, 2002; Contreras, 2018; M. D. C. S. Doria & René, 2013; Mansilla et al., 2014). Todos los niveles educativos tienen el potencial de liderar el cambio a prácticas ambientalmente más conscientes y deben desempeñar un papel importante en la facilitación de ese cambio(Mooney, 2004).

MARCO TEÓRICO

Sustancia química

De acuerdo con las Naciones Unidas en su Libro Purpura, sexta edición, una sustancia química es un *"elemento químico y sus compuestos en estado natural u obtenidos mediante cualquier proceso de producción, incluidos los aditivos necesarios para conservar la estabilidad del producto y las impurezas que resulten del proceso utilizado, y excluidos los disolventes que puedan separarse sin afectar a la estabilidad de la sustancia ni modificar su composición"*. esta misma entidad, define una reacción química como *"la transformación de algunas sustancias en una o más sustancias diferentes.La base de tal transformación química es la reordenación de los electrones en los enlaces químicos entre los átomos. Se puede representar simbólicamente como una ecuación química, que por lo general implica átomos como la partícula"*.

Residuos peligrosos (RESPEL)

Se considera que un residuo es peligroso cuando sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente(Minambiente, 2005). Los generadores de residuos peligrosos, tienen la obligación de

asegurar una adecuada disposición final de estos evitando cualquier impacto negativo en el proceso.

Sistema Globalmente Armonizado

Toda la información suministrada a continuación, es tomada del Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA), Sexta edición(ONU, 2015).

El objetivo del SGA es identificar los peligros intrínsecos de las sustancias y mezclas y comunicar información sobre ellos. Los criterios para clasificarlos han sido armonizados. Las indicaciones de peligro, los símbolos y las palabras de advertencia se han normalizado y armonizado y ahora constituyen un sistema integrado de comunicación de peligros. El SGA permitirá que converjan los elementos de comunicación de peligros de los sistemas existentes.

El desarrollo del SGA empezó con la definición de los criterios de clasificación de los peligros para la salud y el medio ambiente realizados por el grupo de trabajo de la OCDE sobre armonización de la clasificación y el etiquetado (grupo de trabajo ACE) y sobre los peligros físicos realizados por el grupo de trabajo CETMP-ONU/OIT.

Trabajo en Microescala

La química a microescala es un enfoque de laboratorio, ambientalmente seguro y de prevención de la contaminación que se logra mediante el uso de artículos de vidrio en miniatura y cantidades significativamente reducidas de químicos (M. Singh, Szafran, & M. Pike, 1999).

De acuerdo con the *Royal Society of Chemistry*, los experimentos de química a microescala utilizan pequeñas cantidades de productos químicos y equipos simples. Estos tienen la ventaja de reducir los costos, lo que reduce los costos, reduce los riesgos de seguridad y permite que muchos experimentos se realicen de forma rápida y, a veces, fuera del laboratorio(Skinner, 1999).

La química a microescala se ha introducido en los niveles escolares de muchos países como Inglaterra, Estados Unidos, China, India y África (Bradley, 1999; Huang, 2007; M. Singh et al., 1999; Sane & West, 1991; Skinner, 1999). La química a microescala se puede desarrollar potencialmente a nivel de pregrado. Una de sus ventajas es la reducción presupuestal de las universidades. Además, los productos químicos son asequibles y menos peligrosos para los estudiantes ya que solo se utiliza una pequeña cantidad. La eliminación de productos químicos es menos costosa y se liberan menos productos químicos al medio ambiente(Zakaria, Latip, & Tantayanon, 2012).

Química Verde

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

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; González & Valea, 2009; Morales et al., 2011; Vargas & Ruiz, 2007).

METODOLOGÍA

De acuerdo a la propuesta del documento, se establecieron diferentes actividades que se desarrollaron en tres fases conforme a lo establecido con los objetivos específicos:

1. FASE DIAGNÓSTICO

Obtención de guías de procedimiento experimental

Esta primera fase considera la recolección y análisis de información secundaria de los espacios académicos prácticos y teórico prácticos del plan de estudios del programa de pregrado de ingeniería ambiental, así como, de los procedimientos experimentales implementados de acuerdo con las concreciones curriculares, procedimientos experimentales de laboratorio, en el marco del sistema de gestión documental.

Toda la información será recabada a través de comunicación formal o vía email a la Facultad de Ingeniería Ambiental, a comité curricular y profesores adscritos. A partir de lo contemplado en dichos procedimientos, se establecerán los tipos y la cantidad total de reactivos utilizados en laboratorio, por semestre académico; esto, sin tener en cuenta la cantidad de veces que se utiliza cada guía de procedimiento experimental por parte de los grupos de estudiantes.

Formulario y encuestas

A través de encuestas a la comunidad universitaria del programa (principalmente docentes y estudiantes) se recabará información en relación a la cantidad de estudiantes que hacen uso de los laboratorios, el conocimiento de la química verde, y los mecanismos o procedimientos aplicados para manejo de residuos producto de las prácticas desarrolladas en estos escenarios. En primer lugar, a través de un formulario aplicado a cada docente orientador que dirija prácticas de laboratorio, se construirá una base de datos, que incluya los nombres de los espacios académicos con prácticas de laboratorio, la cantidad de grupos por cada espacio académico, la cantidad de estudiantes en cada grupo y el número de subgrupos (estudiantes asociados para desarrollar una

guía de procedimiento experimental de laboratorio). Haciendo uso de los medios de comunicación institucionales, será enviado vía e-mail el formulario en formato Excel para que cada profesor pueda diligenciar la información y pueda remitirla nuevamente al correo.

Una vez construida la base, será realizada una encuesta a los profesores relacionados, con el fin de determinar su conocimiento frente al concepto de Química Verde y los mecanismos que ellos realizan para tratar o disponer los residuos químicos resultantes de los procedimientos. La encuesta será desarrollada a través de "Formulario de Google" y se enviará al correo institucional de cada profesor.

Como tercera medida, se aplicará una encuesta a los estudiantes, construida en "Formulario de Google" y remitida a través de medios institucionales a quienes hayan cursado más del 50% de plan de estudios del programa de pregrado de Ingeniería Ambiental, esto con el fin de evidenciar su conocimiento frente a la Química Verde. Se establecen más de 50%, ya que estos estudiantes han realizado una cantidad considerable de procedimientos experimentales en sus estudios y, por tanto, pueden dar una respuesta más objetiva a las preguntas. Para conocer la cantidad de estudiantes que se encuentran en matriculados en estos semestres, será solicitado a la secretaria de la facultad el respectivo listado con nombre, semestre y correo electrónico (esta información será usada exclusivamente para la presente investigación, atendiendo lineamientos institucionales y legales vigentes).

Para determinar el número de muestra de estudiantes a los que se les realizará la encuesta, será aplicada la metodología de muestreo de poblaciones finitas (Ecuación 1), que permitirá obtener muestras válidas y apropiadas para garantizar la confiabilidad y representatividad estadística.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- N = Total de la población
- $Z_{\alpha} = 1.96$ al cuadrado (si la confiabilidad es del 95%)
- p = proporción esperada (en este caso 50% = 0.5)
- q = 1 – p (en este caso 1-0.5 = 0.5)
- d = precisión (en su investigación use un 5%).

Inventario de uso de reactivos

Será solicitado a la coordinación de laboratorio de la Universidad, el inventario del uso de reactivos por parte de los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental durante los periodos de 2018-1 y 2018-2, esto para tener estimativo del uso de reactivos y generación de residuos por parte de la facultad.

Gestión de los residuos de laboratorios

Será solicitado a la coordinación de gestión ambiental de la Universidad, información sobre la gestión actual de los residuos peligrosos generados por procedimientos experimentales en laboratorios, como la disposición, el almacenamiento temporal, el empaçado, el etiquetado, las normas de seguridad, el tratamiento y la disposición final.

Análisis de la información

La información de las guías de laboratorio se consolidará bases de datos en el software Microsoft Excel con la descripción de los reactivos químicos usados, definiendo, además, la cantidad requerida para el desarrollo de las mismas, a partir de esto, se determinará el total de reactivos y la cantidad usada durante todo el desarrollo del programa académico de Ingeniería Ambiental. Además, los reactivos químicos usados en las guías de procedimientos experimentales serán agrupados de acuerdo su compatibilidad química (ácidos, sales de metales pesados, bases, halogenados, solventes, organometálicos, solventes clorados, hidrocarburos y pesticidas); esto, con el fin de facilitar su almacenamiento y posterior recuperación.

Para cada reactivo usado, se determinará el grado de peligrosidad con base al Sistema Globalmente Armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA) de la Naciones Unidas y con base en sus fichas de datos de seguridad; esto, con el fin de priorizar las sustancias a estudiar a través de la investigación.

Los resultados de los formularios realizados a los profesores se consolidarán en una tabla en el software Microsoft Excel y con esta información, se obtendrá la cantidad de espacios académicos que orientan cada profesor, la cantidad de cursos que tienen por cada espacio académico, la cantidad real de estudiantes que participan en cada curso y la cantidad de grupos que conforman en cada curso para desarrollar los procedimientos experimentales. De este modo, se puede obtener el valor real del consumo de reactivos por parte de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Ambiental, durante el periodo académico 2019-1.

La información de la cantidad de reactivos usados durante los semestres de 2018-1 y 2018-2 suministrada por la coordinación de laboratorios, se consolidará en una tabla en el software Microsoft Excel, lo que permitirá constatar la información con los resultados del periodo 2019-1 y obtener un promedio cercano a la realidad de consumo de reactivos por estudiante en la Facultad de Ingeniería Ambiental.

Con la información resultante de las encuestas realizadas a los estudiantes y profesores, se hará el respectivo análisis en software estadístico SPSS, y junto con la información suministrada por la coordinación de gestión ambiental, sobre la gestión de reactivos y residuos de laboratorios, se conocerá el manejo llevado a cabo por la universidad y de este modo establecer medidas de adicionales que puedan mejorar la gestión actual.

2. FASE MEDIDAS DE MANEJO

Propuesta de mejora

Luego de obtener el análisis de la información, se priorizarán los reactivos de acuerdo a la cantidad de uso que tienen en los laboratorios y de acuerdo su grado de peligrosidad. Con base en este resultado, se selecciona el reactivo con mayor uso y peligro y a partir de este, se determinan las guías de procedimiento experimental en las que se requiera, con el fin de proponer trabajos bajo el método de microescala. Este método tiene como objetivo, definir cantidades menores en la medida que sea posible, de reactivos que se usan actualmente en las guías de procedimiento experimental, a fin de reducir el consumo y posterior generación de residuos peligrosos.

A cada guía de procedimiento experimental seleccionada, se le determina las nuevas cantidades de reactivos que serán usadas como propuesta de mejora y se dejara consignada para realización de posteriores pruebas comparativas.

Realización de pruebas de validación

Se debe determinar la viabilidad para las guías de procedimiento experimental que se tiene como propuesta, a fin de validar su aplicación como parte del syllabus de los espacios académicos. No obstante, será desarrollada cada guía, en compañía del profesor responsable por su desarrollo. Para ello, se coordinará con el profesor, una fecha para realizarla junto a sus estudiantes; una vez allí, se elegirá a un solo grupo de estudiantes, el cual tendrá la función de desarrollar la guía propuesta. Una vez terminada la práctica y de acuerdo a los resultados, el profesor define si la guía cumple con los objetivos planteados como en los procedimientos tradicionales.

Para el caso que no sea posible llevar a cabo la práctica de laboratorio propuesta con los estudiantes, se llevará a cabo la practica únicamente con el profesor a cargo de su desarrollo, en todo caso, será el profesor quien apruebe la guía para implementarla en su espacio académico.

En el caso que la prueba de validación no obtenga resultados satisfactorios, se podrá hacer una segunda prueba de validación de acuerdo a criterios del grupo investigador y el profesor a cargo de desarrollar la guía, en las que podrá modificar las cantidades de reactivos y verificar su cumplimiento. Esto se podrá hacer hasta una tercera vez, y en caso de no resultar viable, se descartará su aplicación.

Se realizará una lista de verificación que relacione los nombres de las guías de procedimiento experimental, el espacio académico al que pertenece, la confirmación de su desarrollo y la viabilidad de aplicación.

Finalmente, como resultado de la lista de verificación, se tendrán aquellos procedimientos experimentales a los que les serán adaptados el trabajo en microescala, los cuales serán aprobados por la decanatura de la facultad para su posterior aplicación.

Los procedimientos en microescala serán comparados con los procedimientos tradicionales a fin de establecer la diferencia en términos de exposición a la toxicidad y los valores de reducción de insumos y de generación de residuos.

Gestión de residuos de laboratorio

De acuerdo a la información otorgada por la coordinación de gestión ambiental sobre la gestión de residuos de laboratorio y sobre las encuestas realizadas a los profesores y estudiantes. Si es el caso, se identificarán las falencias sobre la manipulación, envase, etiquetado, almacenamiento, tratamiento y disposición final, a fin de establecer propuestas de mejora para garantizar el correcto manejo de estos residuos. Estas propuestas serán realizadas a manera de recomendación de forma textual.

Será elaborado una propuesta de documento escrito denominado, manual para el manejo de residuos químicos provenientes de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, el cual incluirá actividades que debe seguir todo el personal que haga uso de reactivos en los laboratorios y el cual contendrá mecanismo de manipulación, neutralización, almacenamiento y disposición de residuos provenientes de las prácticas de laboratorio de la facultad.

3. FASE SENSIBILIZACIÓN

Se realizará una capacitación a los directivos y profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental, priorizando a los profesores que hacen uso de espacios de laboratorio como parte de su labor de enseñanza, con el fin de presentar el concepto y principios de la Química Verde, además del trabajo desarrollado y los resultados obtenidos, con el fin de que apliquen y promuevan estos principios. Esta capacitación tendrá una duración máxima de dos horas y se acordará fecha y lugar, de acuerdo a aprobación de la decanatura de la facultad.

Será dispondrá de una fecha previa autorización de la decanatura, para la socialización de los resultados del presente proyecto a toda la Facultad de Ingeniería Ambiental, especialmente estudiantes, a fin de educar y sensibilizar a quienes están directamente relacionados con trabajos en laboratorios.

Será organizado un evento institucional, que contará con la participación de la docente investigadora de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná de Brasil, y otros invitados nacionales, para tratar el tema de la sustentabilidad en Universidades y su vez, mostrar los resultados del proyecto interinstitucional. Este evento, se tiene previsto para un día, con la participación de doscientos asistentes, teniendo como grupo objeto los estudiantes, profesores y directivos de la Universidad Santo Tomas.

CRONOGRAMA

El proyecto se realizará en un periodo de tiempo de 12 meses a partir de la firma del acta de inicio. A continuación, se presenta un resumen y en el Anexo 1, se detalla el Cronograma en formato Excel.

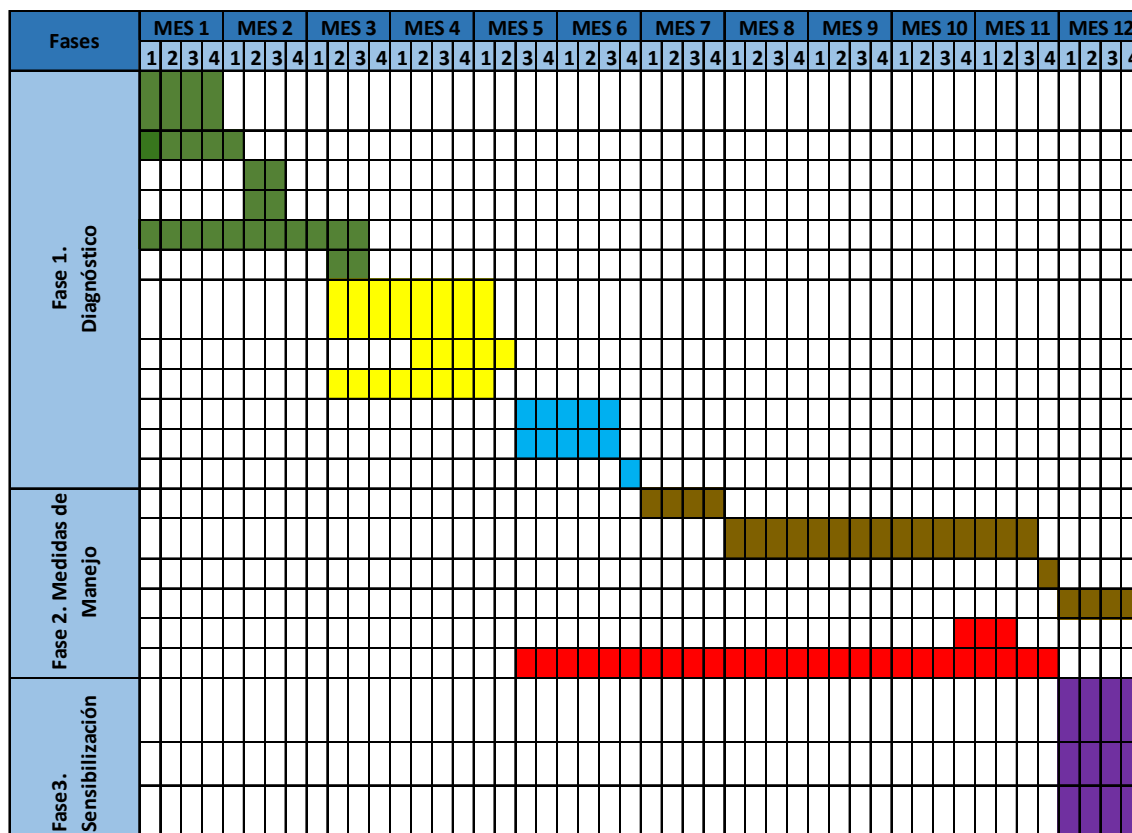


Figura 1. Cronograma de actividades (Fuente: los autores, 2019)

MATERIALES Y PRESUPUESTO

A continuación, se presenta el presupuesto resumido; como anexo 2 en formato Excel, se encuentra el presupuesto detallado

Tabla 1. Presupuesto Resumen – Proyecto de Investigación

OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	ACTIVIDAD	TOTAL
Estudiar la viabilidad de mejora en las guías de procedimientos experimentales de laboratorios, desarrollados por la Facultad de Ingeniería Ambiental de la universidad Santo Tomas sede Villavicencio mediante la aplicación de los principios de trabajo en micro escala y Química Verde.	Realizar un diagnóstico de los procedimientos experimentales desarrollados en diferentes espacios académicos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio.	Act. 1	\$ 1,200,000
		Act. 2	\$
		Act. 3	\$
		Act. 4	\$ 250,000
		Act. 5	\$ 100,000
	Formular medidas de manejo eficientes en las guías de procedimientos experimentales de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, basados en el trabajo de micro escala.	Act. 1	\$ 2,700,000
		Act. 2	\$ 200,000
		Act. 3	\$ 50,000
		Act. 4	\$ 600,000
	Transferir a la comunidad universitaria (Directivos, Docentes, Administrativos y Estudiantes), la propuesta de manejo de sustancias y residuos generados en laboratorios universitarios, aplicando los conceptos y principios de "Química Verde" y trabajo en microescala.	Act. 1	\$ 7,400,000
		Act. 2	\$ 1,000,000
		Act. 3	\$ 1,000,000
		Act. 4	\$ 5,000,000
		Act. 5	\$ 500,000

Fuente: los autores (2019)

PRODUCCIÓN PROGRAMADA / RESULTADOS ESPERADOS

El proyecto de investigación de carácter interinstitucional espera contar con los productos a continuación, resumidos de acuerdo con la de tipología Colciencias en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados esperados según tipología COLCIENCIAS

CATEGORÍA	PRODUCTO
Producto de nuevo conocimiento	Dos artículos científicos para sometimiento a revista indexada (una internacional).
Productos de actividades de desarrollo tecnológico e innovación	Dos documentos de consultoría producto de la investigación.
Productos de apropiación social del conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Evento de participación ciudadana. • Participación con una ponencia en evento internacional.
Productos de formación del recurso humano	Dirección de dos trabajos de grado de pregrado.

Fuente: los autores (2019). **Nota.** Uno de los artículos científicos será sometido en revista brasileña, la cual representa un costo que se describe en el Anexo 2 de la presente propuesta.

- Dos artículos científicos derivados del presente proyecto, y sentar las bases teóricas y científicas para continuar con nuevas investigaciones que puedan derivarse de este proyecto.
- Dos trabajos de grado de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás.
- Diagnóstico del consumo de reactivos de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la sede Villavicencio, así como, estrategias de trabajo en microescala a los reactivos más usados.
- Análisis del grado de peligrosidad de las sustancias usadas en las guías de procedimiento experimental de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, estableciendo orden de prioridad para de acuerdo al riesgo que generan.
- Pruebas de validación de los procedimientos experimentales de laboratorios que se proponen como trabajo en microescala, para garantizar su eficiencia con el objeto pedagógico.
- Recomendaciones para una gestión adecuada de los residuos generados en las prácticas de laboratorio; además, de un manual para el

manejo de residuos químicos provenientes de laboratorios, el cual incluya pautas a seguir para manipular, neutralizar, almacenar y disponer los residuos químicos de acuerdo a su composición química.

- Guías de procedimiento experimental, definidas bajo método comprobados de microescala en la Facultad de Ingeniería Ambiental sede Villavicencio
- Sensibilizar a estudiantes y profesores sobre el correcto manejo de los sustancias y residuos generados en laboratorios, mediante la aplicación de la Química Verde.
- Evento abierto a toda la comunidad universitaria, contando con la participación del investigador internacional de Brasil y otros invitados nacionales, con enfoque principal en la sustentabilidad de las universidades.

IMPACTO ESPERADO

Cumplir con la normatividad legal vigente en la reducción de la generación y gestión adecuada de residuos peligrosos de laboratorios y sustancias químicas bajo el Sistema Globalmente Armonizado (SGA).

Fortalecer la cooperación internacional entre universidades, mediante la interacción de experiencias prácticas e investigativas en el área de Química Verde y trabajo en microescala.

Aportar al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, principalmente con el principio 12 “producción y consumo responsables” y a partir de este, con el principio 4 “educación de calidad” y el principio 13 “acción por el clima”.

Fundamentar a la universidad como ejemplo nacional en la aplicación de sostenibilidad ambiental, contribuyendo a la prevención y reducción del impacto ambiental.

Reducir los costos asociados a la adquisición de reactivos químicos por parte de la universidad para el desarrollo de prácticas de laboratorio y consecuente la reducción de gastos en la gestión de los residuos peligrosos.

Disminuir el riesgo a la salud de los estudiantes, mediante la reducción en la exposición de sustancias químicas, sirviendo como un ejemplo institucional en la aplicación de un desarrollo sostenible.

Formar una generación de profesionales que sean conscientes de los impactos de las actividades y se preocupen por los procesos y resultados que estos generan, y de este modo, aplicar los principios de Química Verde en su campo laboral o investigativo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, R., & Severiche, C. (2013). Evaluación de impactos ambientales en un laboratorio de calidad de aguas. *Producción + Limpia*, 8(2), 32–38.
- Águila, H., Díaz, A., Primelles, E., Guerra, B., Ríos, L., Escobar, J., ... 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>
- 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). Washington, DC: Green Chemical Syntheses and Processes.
- Anastas, P. T., & Williamson, T. C. (1996). *Green Chemistry: An Overview*. (A. P. T. & W. T. C., Eds.). Washington, DC: 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)
- 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.
- Bradley, J. D. (1999). Hands-on practical chemistry for all. *Pure Applied Chemistry*, 71(5), 817 – 823.
- Castro, P., Nerlis, P., Olivero, V., & Tadeo, J. (2011). Química verde: un nuevo reto. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21, 169–182. Retrieved from <http://www.redalyc.org/html/911/91123440009/>

- Contreras, R. R. (2018). Desde el desarrollo sostenible hasta la química verde. Retrieved November 5, 2018, from <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* (pp. 1051–1065). San Vicente del Raspeig: Universidad de Alicante. <https://doi.org/9788469707098>
- Doria, C. S. (2009). Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente. *Química Verde*, 412–420.
- Doria, M. D. C. 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)
- 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)
- GALICIA, Y., & MIRANDA, D. (2008). Propuesta de una Guía para el Tratamiento de Desechos Químicos Generados en el Laboratorio de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de el Salvador. El Salvador: Universidad de el Salvador.
- Galuszka, 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.
- González, M. L., & Valea, A. (2009). El compromiso de enseñar química con criterios de sostenibilidad: la química verde. *Educación Química*, 2, 5.
- 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>
- Huang, Z. (2007). Study on Micro-organic Chemistry Experiment Teaching. *Journal of Guangxi University for Nationalities*, 2–6.
- 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)
- 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.
- Loayza, P. J. E. (2005). Almacenamiento de reactivos químicos : infraestructura básica. Retrieved May 14, 2019, from <https://www.virtualpro.co/biblioteca/almacenamiento-de-reactivos-quimicos-infraestructura-basica>
- M. Singh, M., Szafran, Z., & M. Pike, R. (1999). Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies. *Journal of Chemical Education*, 76(12), 1684-null. <https://doi.org/10.1021/ed076p1684>
- Mansilla, D., Muscia, G., & Ugliarolo, 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.
- Minambiente. Decreto 4741 (2005). Colombia.
- 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>
- ONU. (2015). *SISTEMA GLOBALMENTE ARMONIZADO DE CLASIFICACIÓN Y ETIQUETADO DE PRODUCTOS QUÍMICOS (SGA)* (Sexta edic). Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas. Retrieved from <http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/59676/SGA+Rev6sp.pdf>
- 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). New York: Banco Interamericano de Desarrollo. Retrieved from <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>
- Sane, K. V., & West, D. C. (1991). *Low Cost Chemical Instrumentation. Delhi: University of Delhi.*
- Skinner, J. (1999). *Microscale Chemistry. London: The Royal Society of Chemistry.*
- 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*. Retrieved from <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. *Educacion Quimica*, *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)
- 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. Retrieved from <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>
- 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>
- Zakaria, Z., Latip, J., & Tantayanon, S. (2012). Organic Chemistry Practices for Undergraduates using a Small Lab Kit. *Procedia - Social and Behavioral*

Sciences, 59, 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.307>