

ACTUALIZACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE
VILLAVICENCIO APLICANDO CONCEPTOS DE QUÍMICA VERDE Y TRABAJO EN LA
MICROESCALA.



CAMILA ALEJANDRA BUITRAGO BARBOSA

JAIRO ANDRÉS VELÁSQUEZ CUESTAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

ACTUALIZACIÓN DE LAS GUÍAS DE LABORATORIO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DE
VILLAVICENCIO APLICANDO CONCEPTOS DE QUÍMICA VERDE Y TRABAJO EN LA
MICROESCALA.

CAMILA ALEJANDRA BUITRAGO BARBOSA
JAIRO ANDRÉS VELÁSQUEZ CUESTAS

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director
SAÚL MARTÍNEZ MOLINA
MSc en Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2020

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O.P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O.P.

Vicerrector Académico General

P. JOSÉ ANTONIO BALAGUERA, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Nota De Aceptación

YESICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de Facultad

SAÚL MARTÍNEZ MOLINA

Director Trabajo de Grado

CRISTIAN JOSÉ ROJAS REINA

Jurado

ANGELA MARÍA ZAPATA MARÍN

Jurado

Villavicencio, Septiembre 2020

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a nuestros familiares que ya no nos acompañan en la vida terrenal, pero que cuidan y protegen de nosotros; igualmente, a aquellas amistades que por situaciones del destino no nos pudieron acompañar hasta el final de esta etapa de nuestras vidas.

Agradecimientos

La culminación de este trabajo de grado fue posible: Primeramente, a Dios por brindarnos salud, sabiduría, entendimiento, paciencia, perseverancia para poder alcanzar nuestros objetivos. En según lugar, a nuestras familias por habernos forjado como los seres humanos que somos, el apoyo, la colaboración, solidaridad y motivación que nos brindan para cumplir nuestros retos.

A la Universidad Santo Tomás de Villavicencio, especialmente a la Facultad de Ingeniería Ambiental por medio de sus docentes que en el transcurso de nuestra carrera nos aportaron valiosos conocimientos teóricos prácticos y a la vez formaron parte de nuestro crecimiento estudiantil el cual hoy nos vamos a formar como profesionales íntegros con la misión de mejorar la calidad de vida de la sociedad y a su vez proteger al ambiente.

A nuestro director Saúl Martínez Molina que llegó a ser esa persona que guió nuestro proyecto y con el pasar del tiempo se convirtió en un gran amigo. Agradecemos por su apoyo, paciencia, enseñarnos y escucharnos; por la motivación que nos brindó en el trayecto de la elaboración y ejecución de nuestro trabajo de grado. Al docente Jonathan Steven Murcia Fandiño, por darnos la oportunidad de ser partícipes en el desarrollo de esta actividad; e igualmente, ser un amigo y consejero, guiándonos y apoyándonos en el transcurso de nuestra vida universitaria.

A los auxiliares de laboratorios, a pesar de la situación que se vive actualmente, nos brindaron su apoyo y consejo para poder ejecutar y finalizar las actividades necesarias para nuestro proyecto investigativo.

Y por último agradecemos a nuestros compañeros de universidad que al transcurrir el tiempo se convirtieron poco a poco en nuestra segunda familia al pasar con ellos momentos de alegría y felicidad.

Tabla de contenido

Glosario.....	14
Resumen.....	15
Abstract.....	16
Introducción	17
1. Planteamiento del problema.....	18
1.1. Descripción del problema	18
1.2. Formulación de la pregunta problema	19
2. Objetivos	20
2.1. Objetivo General	20
2.2. Objetivos Específicos.....	20
3. Justificación	21
4. Alcance.....	23
5. Antecedentes	24
6. Marco de Referencia	27
6.1. Marco Teórico.....	27
6.2. Marco Conceptual	27
6.3. Marco Legal	30
7. Metodología	32
7.1. Fase 1.	32
7.2. Fase 2.	34
7.3. Fase 3.	45
8. Resultados	46
8.1. Establecer propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas basados en la evaluación de riesgo químico de los reactivos usados en ellas.....	46
8.2. Realizar pruebas de validación para las propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas.	52
8.2.1. Clasificación de los reactivos a implementar según el Sistema Globalmente	

Armonizado.....	54
8.3 Plantear estrategias para la adecuada gestión de los residuos químicos asociados a las prácticas de laboratorio desarrollados por el Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás.....	67
9. Conclusiones	74
10. Sugerencias	75
11. Bibliografía	76
12. Anexos	80

Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad implementada en el proyecto	30
Tabla 2. Esquema clasificación de peligros según el SGA.....	36
Tabla 3. Ranking de Peligrosidad (Valores superiores a 100.000).....	47
Tabla 4. Ranking de Peligrosidad (Reactivo altamente peligroso).....	47
Tabla 5. Guías seleccionadas por la presencia de sustancias químicas altamente peligrosas, resaltando el procedimiento a modificar junto con sus reactivos originales y los propuestos	49
Tabla 6. Guías seleccionadas por la totalidad de peligro que presenta, resaltando el procedimiento a modificar junto con sus reactivos originales y los propuestos.....	50
Tabla 7. Clasificación de peligros según el SGA de la guía “Reacciones de aldehídos, cetonas y lípidos” Actividad 3.	56
Tabla 8. Cálculo estequiométrico del procedimiento carbonato de calcio).....	68

Lista de Figuras

Figura 1. Zona de estudio.....	23
Figura 2. Línea del tiempo del concepto de química verde y trabajo en la microescala.	26
Figura 3. Fases de la metodología.....	32
Figura 4. Evidencia fotográfica validando el nuevo reactivo a implementar.	53
Figura 5. Actividad original y actividad propuesta para la guía propiedades físicas y	54
Figura 6. Procedimiento prueba de Schiff.	61

Lista de gráficas

Gráfica 1. Comparación de los procedimientos juntos con los reactivos según la clasificación del SGA para la guía de reacciones de aldehídos, cetonas y lípido.....	62
Gráfica 2. Comparación de guías seleccionadas ante la clasificación según el SGA (Guías que en el ranking de peligrosidad tenían reactivo a tener en cuenta).	64
Gráfica 3. Comparación de guías seleccionadas ante la clasificación según el SGA (Guías que en el ranking de peligrosidad tenían reactivo a tener en cuenta).	65
Gráfica 4. Comparación porcentaje de peligros de la guía de reconocimiento de alcoholes, guía original y guía propuesta.....	66
Gráfica 5. Residuo peligroso líquido y sólido total de las guías seleccionadas por la presencia de sustancias químicas altamente peligrosas en las actividades ya modificadas.....	70
Gráfica 6. Guías seleccionadas por la totalidad de peligro que presenta, resaltando los Respel generados en las actividades ya modificadas.	71
Gráfica 7. Respel generado en la guía de reacciones químicas y estequiometrias por procedimiento.	72
Gráfica 8. Estimación de residuos peligrosos (metales pesados y alcoholes y aldehídos)	73

Lista de Anexos

	Pág.
Anexos 1. Ranking de Peligrosidad ordenado de forma ascendente.....	80
Anexos 2. Ranking de Peligrosidad Teniendo en cuenta los reactivos.....	80
Anexos 3. Simbología de los códigos para la clasificación de peligros según el Sistema Globalmente Armonizado	80
Anexos 4. Clasificación de peligros según el Sistema Globalmente Armonizado de los reactivos a implementar en las diferentes guías seleccionadas.....	80
Anexos 5. Cálculo estequiométrico y estimación de la generación de residuos peligrosos de las actividades propuestas	80

Glosario

GUÍAS DE LABORATORIO: Manual donde se estipula actividades experimentales a realizar dentro de un laboratorio para corroborar una ley o teorías.

LABORATORIO: Lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos y trabajos de carácter científico o técnico.

PRODUCTO: Cosa o un objeto producido o fabricado de manera natural o industrial.

REACTIVOS: Sustancia que, por su capacidad de provocar determinadas reacciones sirve para los ensayos y análisis químicos.

REACCIONES QUÍMICAS: Proceso químico en el cual dos sustancias o más se convierten en otras sustancias.

RESIDUO: Término que se usa normalmente para designar a todos aquellos restos y sobrantes que quedan de un consumo.

SUSTANCIA: Materia con una composición químicamente definida, compuesta por moléculas y átomos.

CÉLULAS GERMINALES: Se encargan de la formación de los gametos, es decir, los óvulos y los espermatozoides, de allí que contengan información genética que será transmitida al embrión.

Resumen

El trabajo ejecutado proviene del Macro proyecto interinstitucional “*Estudio para la gestión de residuos generados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio*” realizado entre la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio y la Universidad Tecnológica Federal do Paraná. (Mosquera, Barbosa, Montañez, & Murcia, 2019).

Este documento representa la segunda fase del Macroproyecto y su objetivo es establecer medidas de manejo, enfocado en el establecimiento de propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas, con base en la evaluación de peligrosidad de los reactivos usados en estas, la realización de pruebas de validación para las propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas y finalmente, la estimación de la generación de residuos peligrosos mediante análisis estequiométrico.

La ejecución del proyecto estandarizó un límite de guías a partir del material de trabajo concluido en la primera fase. El total de guías de análisis fueron diez, según ranking de peligrosidad, subdivididas por dos grupos, con base a los peligros y las categorías de peligros establecidas en el Sistema Globalmente Armonizado.

. Con el apoyo del tercer principio de la química verde y a partir de la prueba de validación se logró eliminar reactivos tóxicos y ecotóxicos. Como resultado se tiene una actualización de las guías de laboratorio, reduciendo cerca del 24% de los 320 peligros que originalmente se encontraban en las guías sin modificar; la disminución de uso de reactivos en estado líquido o sólido se encuentra entre un 50% y 80 % por procedimientos y al comparar el uso de sustancias en la guías originales con la guías propuestas es de un 27%.

Palabras claves: Sustentabilidad, trabajo en la microescala, laboratorios universitarios, pruebas de validación, química verde.

Abstract

The work carried out comes from the Macro inter-institutional project "Study for the management of waste generated in the laboratories of the Faculty of Environmental Engineering of the Universidad Santo Tomás Villavicencio headquarters" carried out between the Faculty of Environmental Engineering of the Universidad Santo Tomás Villavicencio and the Universidad Tecnológica Federal do Paraná (Mosquera , Barbosa , Montañez , & Murcia , 2019).

This document represents the second phase of the Macroproject and its objective is to establish management measures, focused on the establishment of proposals for improvement in the prioritized laboratory guides, based on the evaluation of the dangerousness of the reagents used in these, the performance of tests of validation for the improvement proposals in the prioritized laboratory guides and finally, the estimation of the generation of hazardous waste according to the prioritized laboratory guides through stoichiometric analysis.

The execution of the project standardized a limit of guides based on the work material completed in the first phase. The total number of analysis guides were ten, according to the hazard ranking, subdivided into two groups, based on the hazards and the hazard categories established in the Globally Harmonized System. Based on the prioritizations, those highly dangerous reagents or activities that affect health and the environment are synthesized, substituted or reduced.

With the support of the third principle of green chemistry and from the validation test, it was possible to eliminate toxic and ecotoxic reagents. As a result, the laboratory guides are updated, reducing about 24% of the 320 hazards that were originally in the unmodified guides.; the decrease in the use of reagents in liquid or solid state is between 50% and 80% when comparing the use of substances in the original guidelines with the proposed guidelines, it is 27%..

Key words: Sustainability, microscale work, university laboratories, validation tests, green chemistry.

Introducción

Años después de la culminar la Segunda Guerra Mundial más exactamente desde la década de los cincuenta, los países involucrados dentro de este conflicto como Estados Unidos, China, Reino Unido entre otros tomaron medidas para incrementar su PIB (Producto Interno Bruto). Por ende el sector industrial fue un factor clave para potenciar la producción de suministros, bienes o servicios para así mejorar la economía en tiempos de posguerra y dar un nuevo orden económico internacional. (Universidad de Cantabria, 2020).

A partir de esto se genera una problemática ambiental debido a la extracción y transformación de recursos naturales como materia prima para llevar a cabo los procesos industriales; Así mismo dichos procesos cambian a lo largo del tiempo y algunos sectores industriales toman la necesidad de usar sustancias en este caso químicas para alargar el tiempo útil del producto creado o para mejorar el rendimiento en su aplicación entre otras funciones

En el año 1962 la preocupación por parte de la estadounidense Rachel Carson, bióloga marina, interesada sobre la contaminación al Medio Ambiente, escribió el libro titulado “Primavera Silenciosa”, en el cual culpa a la industria química por la creciente contaminación generada por los pesticidas, lo que había fomentado afectaciones en algunas especies de aves. (Carson , 1962). La Química verde fue implementada por primera vez por la EPA (Environmental Protection Agency)¹ en 1993, tiempo después se fundamentan los 12 principios en 1998 para reducir, eliminar el uso o la generación de sustancias químicas y así contribuir al desarrollo sostenible integrando la sociedad, la economía y la población.

¹ Agencia de Protección Ambiental

1. Planteamiento del problema

1.1. Descripción del problema

La sostenibilidad es uno de los mayores desafíos que se vive en la actualidad. Promover el crecimiento y el progreso económico por medio de la preservación de los recursos del planeta, obliga a los países desarrollados y en crecimiento a buscar nuevas alternativas para preservar el equilibrio del medio ambiente. La adopción de las diferentes estrategias relacionadas con el control de la contaminación es insuficiente, y además las medidas para la preservación y el uso racional de los recursos naturales son necesarios e indispensables.

Hoy en día, la preocupación con la contaminación del medio ambiente es punto central a tener en cuenta en cualquier tipo de actividad. Independiente de las acciones que se realiza, las problemáticas ambientales cada vez van incrementando de forma exponencial y esto se debe en gran medida por la intervención del hombre para un bien individual.

La mayoría de los métodos analíticos en la química, no se consideran ambientalmente sostenibles y necesitan de cambios en sus metodologías para el tratamiento, a partir del principio de que la cantidad de reactivos químicos utilizados, es directamente proporcional a la cantidad de residuos peligrosos generados. En las actividades desarrolladas en el sector educativo se generan gran variedad de reactivos y residuos químicos peligrosos, y además de eso, la mayor parte de estos son manipulados por estudiantes, los cuales no cuentan con la experiencia necesaria para el manejo de dichos productos, existiendo una gran posibilidad de peligro en quemaduras por explosión, inhalación y vertimiento de sustancias peligrosas, lo que puede generar consigo un impacto negativo a la salud como al medio ambiente.

Los residuos generados en laboratorios en el ámbito educativo encierran riesgos potenciales para la salud y el medio ambiente, gracias a su variedad y principalmente por sus características de peligrosidad desde el punto de vista físico, químico, toxicológico y medio ambiental.

En el marco ambiental, el manejo de ciertas sustancias para su disposición final no es el adecuado, además que existe la posibilidad de verter estas sustancias altamente tóxicas al desagüe, llegando directamente al alcantarillado municipal y/o fuentes hídricas, alterando las características físicas, químicas y microbiológicas de estas y a su vez dañando a otros ecosistemas cercanos.

Por consecuencia de esta alteración o contaminación de fuentes hídricas, se generan diversas problemáticas como la pérdida de biota acuática, contaminación de suelo y del aire al ser parte del ciclo biogeoquímico del agua, así mismo se genera una alteración del ciclo del agua, agotamiento del recurso hídrico potable para las comunidades o poblaciones aledañas entre otros.

Hoy en día, la institución 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, generando altos costos en la compra de este tipo de sustancias. Además, no cuenta con estrategias protocolizadas que disminuyan el impacto de los reactivos químicos utilizados 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.

1.2. Formulación de la pregunta problema

¿Cómo actualizar las guías de laboratorio del Programa de Ingeniería Ambiental de Villavicencio a partir de la aplicación de conceptos de química verde y trabajo en la microescala?

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Actualizar las guías de laboratorio del Programa de Ingeniería Ambiental de Villavicencio a partir de la aplicación de conceptos de química verde y trabajo en la microescala.

2.2. Objetivos Específicos

- Establecer propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas basados en la evaluación de riesgo químico de los reactivos usados en ellas.
- Realizar pruebas de validación para las propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas.
- Plantear estrategias para la adecuada gestión de los residuos químicos asociados a las prácticas de laboratorio desarrollados por el Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás.

3. Justificación

La gestión de los reactivos y residuos peligrosos es responsabilidad y obligación del generador; un mal manejo implica un incumplimiento normativo y posibilidad de sanciones por parte de las autoridades competentes. La Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, no cuenta aún con la implementación de un Sistema Globalmente Armonizado para la clasificación y etiquetado respectivo de los productos químicos, además, carece actualmente del inventario de reactivos usados por cada facultad.

Por lo anterior, la Universidad Santo Tomás, desde el papel 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 & verbel, 2011). Para lo anterior, se debe enfocar 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, es con el fin de transformar los espacios para la creación de procesos químicos que permitan la prevención del impacto ambiental y a la salud desde su origen, consiguiendo realizar experimentos a través de la aplicación de trabajos en micro escala (Halpaap & Dittkrist, 2018).

Los beneficios que se pueden presentar por la implementación de trabajos en micro escala, se puede traducir en costos reducidos con respecto a la gestión de residuos, reducción de costos de consumo de energía, reducción 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).

El presente proyecto tiene una relación interinstitucional con la Universidad Tecnológica Federal de Paraná, en donde se pretende desarrollar las actividades de este macro proyecto, a partir de tres fases: Diagnóstico, Medidas de manejo y finalmente.

Sensibilización que se realizarán respectivamente. Este proyecto se presentó para la séptima convocatoria de investigación de la USTA titulado como “*Estudio para la gestión de residuos*

generados en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio”, donde fue seleccionado para su respectiva ejecución y su la importancia que tiene en el ámbito ambiental.

Para ello, este proyecto se realizará de manera consecutiva, manejando una dependencia entre cada fase. En el apoyo de la segunda fase que corresponde a la medidas de manejo que se enfocará en el establecimiento de propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas basados en la evaluación de peligrosidad de los reactivos usados en ellas, la realización de pruebas de validación para las propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas y finalmente, la estimación de la generación de residuos peligrosos de acuerdo a las guías de laboratorio priorizadas mediante el análisis estequiométricos.

4. Alcance

El presente trabajo es perteneciente al macro proyecto de investigación denominado “*Estudio para la Gestión de Residuos Generados en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio*” (Mosquera , Barbosa , Montañez , & Murcia , 2019). Fue realizado en un tiempo de seis (6) meses, iniciando en febrero y finalizando para el mes de julio del presente año electivo 2020. Ante la emergencia sanitaria por causa del coronavirus (COVID-19) a nivel mundial, el cronograma fue modificado, ampliando el tiempo de ejecución del proyecto hasta agosto. Para esta actividad se contempló una población objeto que está conformada por directivos, docentes, auxiliares de laboratorio y estudiantes de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás - Sede Villavicencio que hacen manejo o uso de las instalaciones de laboratorio para su desarrollo curricular. La zona de estudio se realizó en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, que está situada en el departamento del Meta, Colombia, en la zona de laboratorios de la Sede de Aguas Claras (Figura 1.) donde la Facultad realiza sus respectivas prácticas.

Figura 1. Zona de estudio



Nota: Ubicación geográfica donde se desarrolla la investigación por medio del Elaborado del software ArcGis por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

5. Antecedentes

Uno de los propósitos que tiene el siglo XXI es la importancia a las actividades e implementación del término “Sostenibilidad”. Todo desarrollo y avance social, científico o tecnológico, se debe reflejar ya sea en poca o gran medida el potencial de sostenibilidad, con la capacidad de progresar y consolidarse de un modo que sea compatible con el uso racional de los escasos recursos con lo que cuenta nuestro planeta (Altava, Burguete, & Luis, 2013).

En el caso de la química se logra evidenciar esta situación descrita anteriormente, una ciencia que a lo largo del siglo pasado ha ido evolucionando de un modo dramático en su percepción social. En un lapso de tiempo muy corto, la química pasó de ser una de las mejores opciones para el progreso de la humanidad dando solución a ciertas necesidades, a ser catalogada como una actividad perjudicial para el hombre y el medio ambiente (Altava, Burguete, & Luis, 2013).

En España, a partir de un estudio de análisis general sobre la educación cooperativa relacionada a la química verde se logró incrementar la importancia en la formación común de posgrado en química verde, en donde han alcanzado exitosamente la participación de expertos de diferentes universidades e instituciones de investigación agrupados dentro de la cobertura de la Red Española de Química Sostenible (REDQS) (Altava, Burguete, & Luis, 2013). Este proyecto incentivó a las demás naciones en idear la necesidad de optar soluciones prontas para la problemática ambiental que se está viviendo en las instituciones educativas, formando al personal y concientizando sobre la importancia del realizar un buen manejo de los residuos químicos o de laboratorio.

Para tratar esta problemática en el año del 93 se acuñó por la EPA el término de química verde, que plantea el diseño de productos o procesos que buscan reducir o eliminar el uso o la producción de las sustancias peligrosas (Anastas, Fundamental changes to EPA's research enterprises: The Path Forward, 2012).

En 1995, en Costa Rica, los líderes universitarios firmaron actas de fundación para la creación de la Organización Internacional de Universidades para el Desarrollo Sostenible y el Medio Ambiente (OIUDSMA, 1995). Desde este contexto, lo que se puede ver es que la universidad no

puede omitir su compromiso con la investigación, el debate, la construcción y la difusión del conocimiento (Oliveira, 2009)

Las actividades experimentales en el laboratorio son parte fundamental para la enseñanza y el aprendizaje de la Química. Sin embargo, muchas veces su implementación puede verse limitada por factores como la carencia de materiales y de instrumentos; por el costo de los reactivos y por los riesgos que conlleva una deficiente manipulación (González & Urzúa, 2012).

Las universidades latinoamericanas, tienen una variedad muy grande de escenarios para la gestión de residuos; algunas carecen de planes e implementando hasta ahora. Cabe resaltar, que, en Estados Unidos, conscientes de la distinta realidad de los residuos industriales con respecto a los de los laboratorios de las universidades, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA)²² elaboró recientemente una norma que sirve como guía de gestión de residuos peligrosos en los laboratorios universitarios (Bertini & Ciceron, 2009).

Un trabajo realizado en la Universidad Nacional Autónoma de México que está relacionado con la química orgánica, tiene como objetivo realizar la reacción de Cannizzaro a partir de la aplicación del método micro escala, dando a entender la importancia de modificar ciertos manejos que no perjudican el resultado final y si reduciendo las cantidades de residuos que se pueden generar (Melgar, Enríquez, Mendoza, Fernández, & Elorza, 2010).

En la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay se realizó un estudio relacionado a la reacción multicomponente verde en el laboratorio de química orgánica, implementando la reacción de Passerini, que es un proceso rápido, eficiente y simple donde permite obtener productos complejos a partir de moléculas sencillas y en un paso de reacción. Este estudio se realizó igualmente para analizar cuán amigable es con el medio ambiente, en las condiciones ensayadas, siendo motivo de cuestionamiento para la aplicación del término relacionado a la química verde (Ingold, Dapuetto, Lopez, & Porcal, 2016).

En Colombia, la importancia de la problemática ambiental relacionada a la generación de

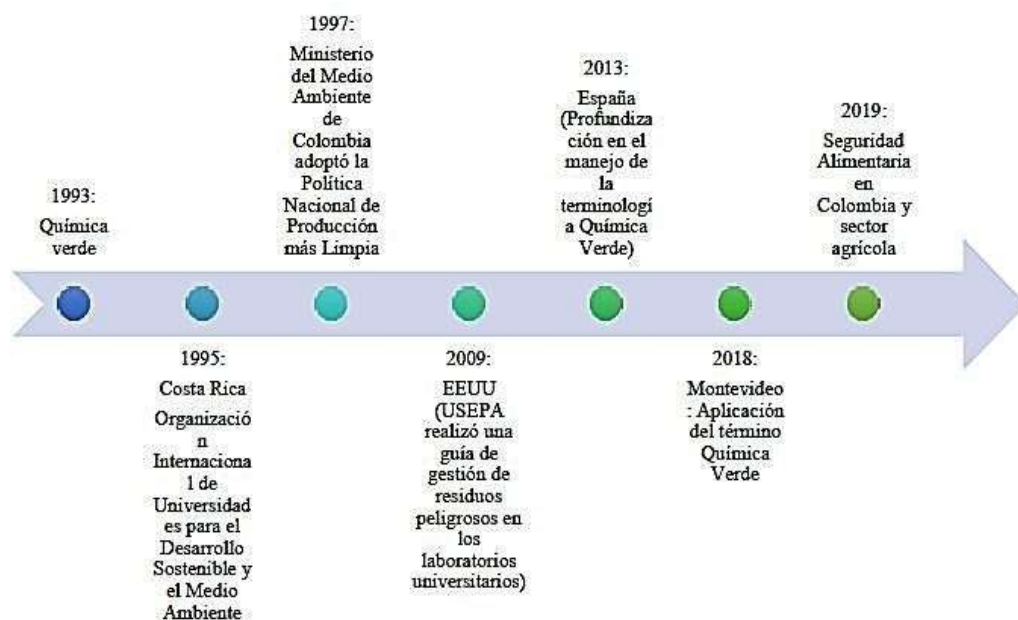
² USEPA: United States Environmental Protection Agency

residuos químicos en las instituciones educativas, de investigación o de cualquier otro carácter es subestimada, y esto puede causar daños ambientales de gran magnitud. En la mayoría de las universidades, la gestión de los residuos generados en sus actividades rutinarias es nula, principalmente debido a la falta de un organismo de supervisión que esté vigilando su respectivo manejo (Silveira & Faria, 2018).

En 1997, el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia adoptó la Política Nacional de Producción más Limpia como una estrategia complementaria a la normativa ambiental, para impulsar la nueva institucionalidad ambiental en el país. Desde entonces, diferentes iniciativas han sido desarrolladas por empresas, autoridades ambientales y universidades (Hoof & Herrera, 2007).

En la Fundación Universidad de América, en la ciudad de Bogotá, se realizó en el presente año un estudio relacionado al análisis en la implementación de la química verde en el desarrollo agrícola sostenible en Colombia, enfocado en la situación de la seguridad alimentaria en Colombia y su sector agrícola, orientando al uso del concepto de la química verde para remediar las problemáticas que se presentan (Gómez J. S., 2019).

Figura 2. Línea del tiempo del concepto de química verde y trabajo en la microescala.



Nota: Línea de tiempo – Antecedentes por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

6. Marco de Referencia

6.1. Marco Teórico

El objetivo del programa de Ingeniería Ambiental en la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio es la aplicación de principios científicos e ingenieriles para la protección de la población humana de los efectos de adversos factores ambientales; la protección del ambiente, tanto local como global, de potenciales efectos perjudiciales por la actividad natural y humana; y para el mejoramiento de la calidad ambiental, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas. Para el cumplimiento de este objetivo se requiere que el estudiante en el proceso de su formación adquiera los conocimientos y destrezas que le permitirán tener las capacidades para solucionar o proponer estrategias viables para problemáticas ambientales.

La idea de la sostenibilidad nace del hecho en que los recursos naturales de la Tierra son limitados y que las acciones del hombre pueden repercutir en el planeta y en la propia vida del ser humano. Para el funcionamiento armónico en la sociedad actual, en especial si se tiene en cuenta los ritmos de crecimiento poblacional tan abruptos, y como consecuencia se genera una mayor demanda en los recursos y así mismo, generará un alto nivel de peligro en la supervivencia del planeta a medio y largo plazo. Es por ello, la sostenibilidad integra tres aspectos relevantes que son las personas, la economía y la biodiversidad (González & Urzúa, 2012).

6.2. Marco Conceptual

El concepto educación enfocado en la sostenibilidad involucra una visión integral del mundo, que engloba las dimensiones ecológicas, sociales, ambientales y económicas en un abanico de conocimientos y competencias que van más allá de la parcelación del saber y que, de igual manera, deben desembocar en el desarrollo de una nueva ética que busca nuevos horizontes en la capacidad humana de actuar (Bertini & Ciceron, 2009).

Para la ejecución de este proyecto, es importante tener en cuenta el término de **Sistema Globalmente Armonizado** (SGA) que tiene como objetivo en identificar los peligros intrínsecos de las sustancias como mezclas y comunicar información sobre ellos.

El desarrollo del SGA es importante para identificar el rango de peligrosidad además de que aporta a la hora de dar un mejor concepto de cómo debe ser el manejo de los **residuos peligrosos**, que se definen cuando sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas y/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.

Este proyecto está orientado en el manejo del término de **química verde** como tema central considerado como uno de los avances históricos más notables de la química, existiendo actualmente en el mundo, industrias (Summerton, Hunt, & Clark, 2013), tecnologías (Nameroff, Garant, & Albert, 2004), gobiernos e instituciones educativas que trabajan en su aplicación (Warner, Cannon, & Dye, 2004).

Para el desarrollo de este trabajo es fundamental la aplicación del término química verde o química sostenible (como también es conocida). mediante los 12 principios formulados por Paul Anastas y John Warner en el año de 1998 en su libro titulado como “*Green Chemistry : Theory and Practice*” que nos permiten analizar procesos y establecer que tan “verde” puede ser una reacción química , un proceso industrial o un producto (Anastas & Kirchhoff, Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry, 2002).

Al ser aplicados en la amplia gama de productos como procesos, se tiene como objetivo minimizar los riesgos a la salud y al ambiente, decrementar la generación de residuos y prevenir la contaminación (Serrano, 2009). A continuación, se mencionará los principios.

1. Prevención en la creación de residuos: Es preferible evitar o reducir la producción de desechos que tratarlos o limpiarlos tras su formación. (Pajáro & Olivero, 2011).
2. Maximizar la economía atómica: Los métodos sintéticos deben maximizar la incorporación de cada material utilizado en el proceso. (Pajáro & Olivero, 2011).
3. Realizar síntesis química menos peligrosa: Elaborar procesos que generen la mínima toxicidad e impacto ambiental. (Pajáro & Olivero, 2011).
4. Diseñar productos y compuestos menos peligrosos: Los productos químicos se deben diseñar

con una toxicidad mínima. (Pajáro & Olivero, 2011).

5. Utilizar disolventes y condiciones seguras de reacción: Las sustancias auxiliares de los procesos químicos (disolventes, tampones, aditivos de separación, entre otros), han de ser inocuas y reducirlas al mínimo. (Pajáro & Olivero, 2011).
6. Diseñar para la eficiencia energética: Debe minimizarse los requerimientos energéticos para los procesos químicos, los cuales serán evaluados por su impacto medioambiental y económico, y reducirlos al máximo, intentando llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura y presión ambiente. (Pajáro & Olivero, 2011).
7. Utilizar materias primas renovables: Los materiales de partida utilizados deben proceder de fuentes renovables, en la medida en que sea económica y técnicamente factible. (Pajáro & Olivero, 2011).
8. Evitar derivados químicos: La síntesis debe diseñarse con el uso mínimo de grupos protectores para evitar pasos extras y reducir los desechos. (Pajáro & Olivero, 2011).
9. Utilizar catalizadores: Debe emplearse catalizadores lo más selectivos y reutilizables posibles. (Pajáro & Olivero, 2011).
10. Diseñar productos fácilmente degradables al final de su vida útil: Los productos químicos han de ser diseñados de tal manera que al culminar su función no persistan en el ambiente y puedan degradarse a derivados inertes o biodegradables. (Pajáro & Olivero, 2011).
11. Monitorear los procesos químicos en tiempo real para evitar la contaminación: Debe crearse sistemas de control y monitorización continuos para prevenir la producción de sustancias peligrosas durante los procesos. (Pajáro & Olivero, 2011).
12. Prevenir accidentes: Diseñar los procesos químicos, utilizando métodos y sustancias que reduzcan los accidentes (emisiones, explosiones, incendios, entre otros), y minimizar los daños cuando se produzca un accidente. (Pajáro & Olivero, 2011).

Los objetivos de la química verde han sido definidos de manera más específica como “el establecimiento de los principios para la síntesis y aplicación de productos y procesos químicos que reduzcan o eliminen completamente el uso y producción de materiales que sean dañinos al medio ambiente”.

Para la realización de este proyecto, se aplicará el trabajo en la **microescala** que 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 (Singh, Szafran, & Pike, 1999). De acuerdo con The Royal Society of Chemistry (La Sociedad Real de Química), los experimentos de química a microescala utilizan pequeñas cantidades de productos químicos y equipos simples. Estos tienen la ventaja de reducir 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).

Para la implementación de la práctica de trabajo en la microescala es importante entender el término de **sustancia química**. 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” (Sánchez, 2018). Finalmente, se debe tener en cuenta que al manejar estas sustancias químicas está expuesto a el **riesgo químico** en donde se puede producir por una exposición no manejada o controlada ante agentes químicos la cual puede ocasionar efectos agudos o crónicos y posibles enfermedades altamente delicadas.

6.3. Marco Legal

Tabla 1. Normatividad implementada en el proyecto

Referencia	Explicación	Artículos y enfoque
Derechos fundamentales de la Constitución Política de 1991	Se reconocen los Derechos Fundamentales necesarios para que la persona humana cuente con una vida digna.	El Derecho al ambiente sano estipulado en el artículo 41 de la Constitución es fundamental para el hombre, donde la nación y la ciudadanía velarán por un ambiente armónico.
LEY 55 DE 1993	Adopción y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	Establece que todos los productos químicos sean evaluados con el fin de determinar el peligro que presentan.
LEY 253 DE 1996	Adopta Convenio Internacional sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.	Reducir la generación de desechos peligrosos al mínimo desde el punto de vista de la cantidad y los peligros potenciales.

Tabla 1. Continuación

LEY 1252 DE 2008	Normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos.	Minimizar la generación de residuos peligrosos en la fuente, optando por políticas de producción más limpia.
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	El capítulo II que abarca desde el capítulo 5° al 9° donde se analiza la identificación y su caracterización respectiva, además en el capítulo III aclaran el debido manejo que se debe realizar a cada residuo peligroso que se implemente.
LEY 253 DE 1996	Adopta Convenio Internacional sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.	Reducir la generación de desechos peligrosos al mínimo desde el punto de vista de la cantidad y los peligros potenciales.
LEY 1252 DE 2008	Normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos.	Minimizar la generación de residuos peligrosos en la fuente, optando por políticas de producción más limpia.
Decreto 4741 de 2005	Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.	El capítulo II que abarca desde el capítulo 5° al 9° donde se analiza la identificación y su caracterización respectiva, además en el capítulo III aclaran el debido manejo que se debe realizar a cada residuo peligroso que se implemente.
Decreto 1496 de 2018	Por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química	Para la aplicación de este proyecto y el análisis debido de cada reactivo, es importante tener en cuenta su respectivo etiquetado y su guía de manejo, es por ello se estudiará el capítulo II de la normativa relacionada al SGA
Decreto 1477 de 2014	Por el cual se expide la tabla de enfermedades laborales	Documento relacionado a las enfermedades que se puede acudir al manejo de ciertos productos
Resolución 0312 de 2019	Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST	Priorización para la seguridad y salud en las personas quien implemente dichos reactivos.
Documento CONPES 3868 del 2016 y Decreto 1477 del 2014	Política de Gestión del Riesgo asociado al uso de sustancias químicas y Tabla de enfermedades laborales	Se analizará a partir de estos dos documentos los reactivos que alcancen las categorías entre I y II en mayor peligrosidad, para así mismo, realizar su respectiva práctica y estudio de ellos.
DIRECTIVA MINISTERIAL 67 DEL 2015 (MINEDUCACIÓN)	Orientaciones para la construcción o ajuste en los establecimientos educativos del manual de normas de seguridad en los laboratorios de química y física	Propiciar un ambiente seguro para el desempeño de labores que involucren actividades experimentales.

Nota. Normatividad ambiental aplicada para el desarrollo de la investigación por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

7. Metodología

Para el proyecto se implementó un diseño de investigación experimental, aplicando química verde usando el principio número 3 , junto con el macro - proyecto de investigación avalado en la séptima convocatoria interna de investigación de la USTA, denominado “Estudio para la Gestión de Residuos Generados en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio”, trabajo que se ejecuta con el apoyo de la Universidad Tecnológica Federal do Paraná y la Universidad Santo Tomás de Villavicencio. Para un mayor desarrollo se estipuló subdividir la metodología por fases que son: Fase Diagnóstico, Fases de medida de manejo y Fase de sensibilización. En este proyecto se estudió la fase de medida de manejo, que comprende tres subfases Figura 3.

Figura 3. Fases de la metodología



Nota: Fases metodológicas aplicadas para el desarrollo de la investigación por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

7.1. Fase 1.

Establecimiento de propuestas de mejora a las guías de laboratorio priorizadas basados en la evaluación de peligrosidad de los reactivos químicos usados en estos lugares.

La propuesta de mejora es un conjunto de medidas de cambio tomadas por una organización para el mejoramiento continuo en diversas áreas, esta propuesta de mejora se encuentra establecidas en algunas ISO tales como 9001 (Calidad), 14001 (Gestión Ambiental) y 45001

(Salud y Seguridad en el trabajo). Teniendo en cuenta lo anterior, se aplicó en este estudio como estructura para la realización de mejoras enfocadas en el desarrollo de competencias por parte de los estudiantes a la hora de ejecutar las guías experimentales de laboratorio.

Dentro de la Facultad de Ingeniería Ambiental se ejecutan diversos laboratorios experimentales de algunas asignaturas tales como Microbiología, Química Orgánica e Inorgánica, Biología, entre otros: estos son importantes para afianzar los conocimientos teóricos impartidos en clase. Así mismo cada asignatura cuenta con sus propias guías de laboratorio para ser trabajadas. Para la ejecución de la segunda fase del macroproyecto (Medidas de manejo) se tuvo en cuenta las asignaturas que manejen un mayor número de reactivos y desde allí se plantearon las siguientes actividades para cumplir el primer objetivo específico previamente establecido:

1. Priorizar aquellas guías de laboratorio que utilicen reactivos o sustancias químicas en gran cantidad dentro de estos espacios, dichos reactivos serán clasificados de acuerdo con su peligrosidad teniendo en cuenta el SGA, se toma como referencia al libro Perfil Nacional de Sustancias Químicas en su Vol., 2 (López, Suárez, Hoyos, & Montes, 2012). Desarrollado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, pero para dar continuidad con el Macroproyecto se prioriza con base a los resultados obtenidos por en la primera fase (fase diagnóstica). Además, se estudia del Decreto 1477 del 2014 asociado a las enfermedades laborales relacionando las metodologías del Perfil Nacional de Sustancias Químicas Vol. 2 para el análisis de las sustancias químicas presentes en este trabajo.
2. Una vez definidas las guías y los reactivos estudiados, se impartió desde los volúmenes principales que se establece en cada método según lo estipulado en la guía y se redujo las cantidades en la medida que sea posible por medio de la aplicación del trabajo en la microescala; así mismo, se implementó la estequiometría como apoyo, debido a que este es un concepto de química usado comúnmente para el cálculo cuantitativo de las relaciones entre reactivos y productos en una reacción química balanceada.
3. Se realizaron las propuestas de mejora de las guías de procedimientos experimentales de laboratorio seleccionadas con las nuevas cantidades de reactivos a usar, además de la identificación de los peligros al cual el estudiante se encuentra expuesto.

7.2. Fase 2.

Realización de pruebas de validación para las propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas.

Las pruebas de validación son métodos analíticos muy usados en la química, realizadas a procesos, reacciones, entre otros con el fin de corroborar el cumplimiento y conseguir datos precisos con margen de error bajo. Al realizar estas pruebas en las guías modificadas se determina si las nuevas cantidades de reactivos o sustancias químicas son las apropiadas, para llegar a los resultados esperados en el procedimiento.

Para el desarrollo de esta fase se estableció el siguiente paso a paso:

1. Desarrollo de las prueba de validación en el laboratorio de las guías priorizadas y modificadas con las nuevas cantidades de sustancias químicas a usar. Para el cumplimiento satisfactorio de esta actividad se realizarón tres pruebas de validación; si dentro de estas tres pruebas no se obtenían los resultados esperados se realiza una cuarta prueba en compañía del docente a cargo de liderar el desarrollo del trabajo de grado; si esta cuarta prueba no resulta viable, se descartará su aplicación.
2. Presentación de las guías de laboratorio con los resultados obtenidos para ser validados por parte del docente al que le corresponde la asignatura asegurando que estas cumplen satisfactoriamente con los resultados experimentales esperados.
3. Generación de listado de guías de laboratorio priorizado, donde se muestren las prácticas de laboratorio que utilizan sustancias químicas con mayor número de peligros y con una categoría alta de peligro, según lo establecido por el SGA, dicha lista contempla los nombres de las guías de procedimiento experimental, el espacio académico al que pertenece con la confirmación de su desarrollo y la viabilidad de aplicación.

Para la elaboración de las prácticas de laboratorio que manejan sustancias químicas con un alto contenido de peligro, se realizó una tabla con el apoyo de la clasificación establecida por el Sistema Globalmente Armonizado, resaltando los tres grandes grupos que son: Peligros físicos, Peligros a

la salud y Peligros al medio ambiente (Tabla 2).

Una vez seleccionadas las guías a trabajar con su respectiva prueba de validación, se procede a estudiar cada uno de los reactivos que se implementa; como se observa en la Tabla 2, se describe el procedimiento específico de la práctica y las sustancias químicas que hacen parte de la actividad. A continuación, según la ficha de seguridad de cada reactivo y con base a los peligros establecidos el SGA, se selecciona los peligros que contiene cada sustancia para finalmente obtener una sumatoria del reactivo y de los peligros que se encuentran en los tres grupos establecidos por el SGA tanto de la guía original, como la propuesta. Al final, la sumatoria de los peligros por reactivo y la sumatoria de los tres grupos establecidos por el SGA en cada guía (cálculo de guía original y aparte, cálculo de la guía propuesta) debe ser el mismo valor.

Tabla 2. Esquema clasificación de peligros según el SGA

GUÍA SELECCIONADA PARA SU RESPECTIVO ESTUDIO																															
ACTIVIDAD	GUÍAS	REACTIVOS	PELIGROS FÍSICOS																PELIGROS PARA LA SALUD										PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE		TOTAL
			2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	4.1	4.2	
PROCEDIMIENTO SELECCIONADO DE LA GUÍA	GUÍA ORIGINAL	Reactivo A																												0	
		Reactivo B																												0	
		Reactivo C																												0	
		TOTAL	Total de Peligros fisicos en la guía original																Total de Peligros para la salud en la guía original										Total de Peligros para el medio ambiente en la guía original		0
	GUÍA PROPUESTA	Reactivo D																												0	
		Reactivo E																												0	
		Reactivo F																												0	
		TOTAL	Total de Peligros fisicos en la guía propuesta																Total de Peligros para la salud en la guía propuesta										Total de Peligros para el medio ambiente en la guía propuesta		0

Nota. Tabla elaborada para clasificar los peligros generados de las diferentes sustancias químicas usadas en la investigación por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

7.3. Fase 3.

Estimación de la generación de residuos químicos y estrategias para su adecuada gestión.

Los residuos peligrosos son aquellos residuos o desechos que poseen diferentes características tales como corrosivas, explosivas, inflamables entre otras, la mala práctica o el desconocimiento de su debido destino final con lleva a ciertos problemas ambientales como de salud pública, por lo tanto, en esta fase se realizaron las siguientes actividades:

1. Se realizaron los cálculos estequiométricos de cada procedimiento químico alterado de las guías modificadas, con el fin de conocer una muestra de la totalidad de residuos peligrosos generados en los laboratorios, para así establecer estrategias que puedan minimizar el peligro. Se debe tener en cuenta que algunas guías poseen una gran variedad de reacciones químicas, aumentando la complejidad de los cálculos, en algunos casos o no hay reacción química o esta representa reacciones complejas que no son necesarias llevar al detalle.
2. Se proponen nuevas estrategias para la adecuada gestión de estos residuos químicos generados en los laboratorios, ya que al segregar estos de una forma más adecuada se podría disminuir el peligro de los actores involucrados en los elementos de gestión del Respel o establecer oportunidades de aprovechamiento, además en algunas ocasiones estos residuos se vierten directamente al desagüe sin ningún tratamiento previo por los mismos estudiantes por descuido o al no cumplir con las normas impartidas por el docente, afectando fuentes hídricas, suelo entre otros.

8. Resultados

Se evidenció los resultados obtenidos a partir de la metodología establecida anteriormente, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados en este trabajo.

8.1. Establecer propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas basados en la evaluación de riesgo químico de los reactivos usados en ellas

Para cumplir el primer objetivo propuesto en el trabajo, es importante recordar que la información primaria obtenida fue recopilada en el desarrollo de la primera fase (*Fase de diagnóstico*) del macro – proyecto de investigación avalado en la séptima convocatoria interna de investigación de la USTA, denominado “Estudio para la Gestión de Residuos Generados en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio”. Se evidenció en el trabajo titulado como “*Análisis de peligrosidad de los reactivos usados en las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás – Sede Villavicencio*” (Mosquera , Barbosa , Montañez , & Murcia , 2019). Donde se muestra un Ranking de peligrosidad total de las guías de laboratorio, también revela la prioridad de ciertas guías con base a la categoría de peligro de sus reactivos; debido a que poseen efectos mutagénicos, carcinogénicos y tóxicos para la reproducción.

A partir de esta información anterior, se estandarizó un valor límite para identificar las guías a tratar teniendo en cuenta el Ranking mencionado previamente; esta metodología se adopta debido a que actualmente la Facultad de Ingeniería Ambiental maneja 53 guías de laboratorio, que contienen algún reactivo químico durante su realización, pero existen 21 guías de laboratorio donde se presentan sustancias químicas con efectos adversos para la salud.

Con el Ranking de peligrosidad realizado en la primera fase del Macroproyecto, se ordenó de forma ascendente las guías de laboratorio, (Anexo 1) con el fin de evidenciar aquellos valores que excedían 100.000, en la columna de “Grado de peligro Total” para ser tenidos en cuenta en este estudio (Tabla 3). El total de guías que superaron este valor fue de cinco (5).

Tabla 3. Ranking de Peligrosidad (Valores superiores a 100.000).

NOMBRE DEL ESPACIO ACADÉMICO	NOMBRE DE LA GUÍA DE LABORATORIO	CÓDIGO DE LA GUÍA	GRADO DE PELIGRO TOTAL
	Guía N.º 7: Reacciones de aldehídos, cetonas y lípidos	QO7	157.622
Química Orgánica	Guía N.º 8: Identificación de ácidos carboxílicos y reacciones de esterificación	QO8	151.510
Química Inorgánica	Guía N.º 9: Reacciones químicas y estequiometría	QI8	126.733
	Guía N.º 6: Reconocimiento de alcoholes	QO6	113.011
Química Orgánica	Guía N.º 4: Identificación de grupos funcionales por solubilidad	QO4	100.110

Nota: Tablas tomadas de la primera fase del Macroproyecto “Estudio para la gestión de residuos generados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio” realizado por Diana Gómez, 2020.

Considerando los resultados obtenidos en la primera fase del Macroproyecto (fase diagnóstica), se registró una clasificación de los peligros de mutagenicidad en células germinales, carcinogenicidad y toxicidad para la reproducción, información de suma importancia para el estudio que se realiza actualmente. Por ello, observando el Ranking de peligrosidad (Anexo 2), se estipuló estudiar las primeras cinco guías que contienen reactivos altamente peligrosos (Tabla 4.) Por ende, se adopta trabajar con 10 guías de laboratorio a priorizar, 5 escogidas por su grado de peligrosidad total y 5 por el reactivo químico más peligroso para la salud.

Tabla 4. Ranking de Peligrosidad (Reactivo altamente peligroso)

NOMBRE DEL ESPACIO ACADÉMICO	NOMBRE DE LA GUÍA DE LABORATORIO	C. DE LA GUÍA	GRADO DE PELIGRO TOTAL	REACTIVO A TENER EN CUENTA
Química Inorgánica	Guía N.º 3: Propiedades físicas y químicas de la materia	QI2	68.552	Nitrato de Plomo
Biología	Guía N.º 5: Mitosis y meiosis	B5	12.310	Acetocarmín
Energías Alternativas	Guía N.º 1: Caracterización de Sustratos Orgánicos	EA1	60.021	Dicromato de Potasio

Tabla 4. Continuación

Química Orgánica	Guía N.º 3: Reconocimiento de propiedades de los compuestos orgánicos: Determinación del punto de fusión de una sustancia pura. Obtención de hidrocarburos.	QO3	75.531	Fenol
Biología	Guía N.º 6: Fotosíntesis y respiración celular	B6	23.210	Fenolftaleína

Nota: Tablas tomadas de la primera fase del Macroproyecto “Estudio para la gestión de residuos generados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio” realizado por Diana Gómez, 2020.

Al establecer las guías para su estudio y modificación, se realiza una búsqueda de información secundaria de reactivos químicos que puedan sustituir o disminuir el peligro generado por exposición a los estudiantes como a los docentes. Es importante resaltar que aquella información que se indagó se ejecuta y/o administra en diferentes instituciones, comprobando la validación de forma teórica para el cumplimiento de la actividad que compromete la guía; para la variación del reactivo, se estudió la guía analizando la situación con el mayor peligro, las guías no fueron modificadas al 100%, en algunas solamente se alteró un reactivo reduciendo el peligro, en otras, algunas actividades y en determinados casos, se modificaba el procedimiento en su totalidad.

Para tener conocimiento de los peligros que maneja cada reactivo, se ratificó por medio del Sistema Globalmente Armonizado los peligros asociados al compuesto químico. En caso de que no se encuentre una alternativa viable, se reduce las cantidades a trabajar dando cumplimiento al tercer principio de la química verde.

A continuación, en las Tablas 5 y 6 se evidencian las guías seleccionadas destacando los procedimientos a modificar junto con los reactivos originales y la propuesta para validar.

Tabla 5. Guías seleccionadas por la presencia de sustancias químicas altamente peligrosas, resaltando el procedimiento a modificar junto con sus reactivos originales y los propuestos

Guías seleccionadas resaltando el procedimiento a modificar junto con sus reactivos originales y los propuestos				
Guía	Original		Propuesta	
	Procedimiento	Reactivos	Procedimiento	Reactivos
Propiedades físicas y químicas de la materia	Lluvia de oro	Yoduro de Potasio	Formación de carbonato de calcio	Carbonato de Sodio
		Nitrato de Plomo		Cloruro de Calcio
		Agua destilada		Agua destilada
Mitosis y meiosis	Mitosis y meiosis	Orceína	Mitosis y meiosis	Orceína
		Acetocarmín		Safranina
		Alcohol		Ácido clorhídrico
Caracterización de sustratos orgánicos	Relación DQO/SV	Ácido Sulfúrico	Relación DQO/SV	Ácido Sulfúrico
		Oftalato de Hidrógeno de Potasio		Oftalato de Hidrógeno de Potasio
		Agua destilada		Agua destilada
		Dicromato de Potasio		Permanganato de Potasio
		Sulfato de Plata		Sulfato de Plata
Reconocimiento de propiedades de los compuestos orgánicos...	Determinación del Punto de fusión	Trio sulfato de sodio	Determinación del Punto de fusión	Trio sulfato de sodio
		Aceite mineral		Aceite mineral
		Fenol		Naftaleno
		Naftaleno		
Fotosíntesis y respiración celular	Fotosíntesis y respiración celular	Pirocatecol	Fotosíntesis y respiración celular	Naranja de metilo
		Fenolftaleína		
		Agua		
Fotosíntesis y respiración celular	Fotosíntesis y respiración celular	Hidróxido de sodio	Fotosíntesis y respiración celular	Agua
				Hidróxido de sodio

Nota: Se Observa algunos procedimientos escogidos para realizar los respectivos cambios aplicando SGA junto al trabajo de la microescala para la realización de estos en las pruebas de validación en los laboratorios de la universidad Santo Tomás por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

Tabla 6. Guías seleccionadas por la totalidad de peligro que presenta, resaltando el procedimiento a modificar junto con sus reactivos originales y los propuestos.

Guías seleccionadas por la totalidad de peligro que presenta, resaltando el procedimiento a modificar junto con sus reactivos originales y los propuestos				
Guía	Original		Propuesta	
	Procedimiento	Reactivos	Procedimiento	Reactivos
Reacción aldehídos, cetonas y lípidos	Reactivo de Tollens	Formaldehído	Reactivo de Tollens	Glutaraldehído
		Acetona		Acetona
		Reactivo de Tollens		Reactivo de Tollens
	Prueba de Fehling	Formaldehído	Prueba de Fehling	Glutaraldehído
		Acetona		Acetona
		Reactivo de Fehling A		Reactivo de Fehling A
		Reactivo de Fehling B		Reactivo de Fehling B
	Oxidación de Acetona y Formol	Permanganato de Potasio	Prueba de Schiff	Reactivo de Schiff
		Acetona		Benzaldehído
		Formaldehído		Acetona
	Prueba de Lugol	Hidróxido de Potasio	Prueba de Lugol	Hidróxido de Potasio
		Acetona		Acetona
		Formaldehído		Glutaraldehído al 2%
		Lugol		Lugol
		Agua destilada		Agua destilada
Identificación de ácidos carboxílicos y reacciones de esterificación	Prueba de Tollens	Ácido fórmico	Prueba de Tollens	Acido benzoico
		Ácido acético		Cloruro de acetilo
		Reactivo de Tollens A		Reactivo de Tollens A
		Reactivo de Tollens B		Reactivo de Tollens B
	Formación del benzoato de etilo	Ácido benzoico	Formación del benzoato de etilo	Ácido benzoico
		Etanol		Etanol
		Ácido sulfúrico		Ácido nítrico
	Formación de salicilato de etilo	Etanol	Formación de salicilato de etilo	Aspirina
		Aspirina		Etanol
		Ácido sulfúrico		Ácido nítrico
	Formación de butirato de etilo	Mantequilla	Formación de butirato de etilo	Mantequilla
		Etanol		Etanol
		Hidróxido de sodio		Hidróxido de sodio
		Ácido sulfúrico		Ácido sulfúrico
	Preparación de ésteres derivados de haluros de ácido	Etanol	Preparación de ésteres derivados de haluros de ácido	Etanol
		Isopropanol		Isopentanol
		Isobutanol		Isopropanol
		Isopentanol		Isoamílico
		Cloruro de acetilo		Cloruro de acetilo

Tabla 6. Continuación

Reacciones químicas y estequiometría	Reacción de síntesis	Sulfato cúprico	Reacción de síntesis	Limadura de hierro
		Cobre en polvo		Azufre en polvo
		Azufre en polvo		Bicarbonato de sodio
	Reacción de descomposición	Bicarbonato de sodio	Reacción de descomposición	Naranja de metilo
		Agua destilada		Agua destilada
		Fenolftaleína		Magnesio metálico
	Reacción de desplazamiento	Magnesio metálico	Reacción de desplazamiento	Ácido nítrico
		Ácido clorhídrico al 5%		Bicarbonato de sodio
	Reacción de doble desplazamiento	Bicarbonato de sodio	Reacción de doble desplazamiento	Oxalato de sodio
	Reacción de reducción de permanganato de potasio	Ácido sulfúrico	Reacción de reducción de permanganato de potasio	Agua destilada
		Agua destilada		Ácido nítrico
		Oxalato de sodio		Permanganato de potasio
		Permanganato de potasio		
Reconocimiento de alcoholes	Prueba del xantato	Etanol	Prueba del xantato	Etanol
		Isopropanol		Propilenglicol
		Terbutanol		Isopentílico
		Propilenglicol		Isoamílico
		Lenteja Hidróxido de Sodio		Lenteja Hidróxido de Potasio
	Prueba del sodio metálico	Éter etílico	Prueba del sodio metálico	Disulfuro de Carbono
		Disulfuro de Carbono		Etanol
		Etanol		Propilenglicol
		Isopropanol		Isopropanol
		Terbutanol		Sodio Metálico
		Fenolftaleína		Naranja de metilo
		Sodio Metálico		
	Prueba de oxidación	Etanol	Prueba de oxidación	Etanol
		Isopropanol		Propilenglicol
		Terbutanol		Isopropanol
		Permanganato de potasio		Permanganato de potasio
	Prueba de Lucas	Etanol	Prueba de Lucas	Etanol
		Isopropanol		Propilenglicol
		Terbutanol		Isopropanol
		Ácido Clorhídrico		Reactivo de Lucas
		Ioruro de Zinc		

Tabla 6. Continuación

Identificación de grupos funcionales por solubilidad	Grupos funcionales por solubilidad	Agua	Grupos funcionales por solubilidad	Agua
		Éter etílico		Éter etílico
		Hidróxido de sodio		Hidróxido de sodio
		Ácido clorhídrico		Ácido clorhídrico
		Bicarbonato de sodio		Bicarbonato de sodio
		Ácido sulfúrico		Ácido sulfúrico
		Acetato de etilo		Acetato de etilo
		Ácido salicílico		Ácido salicílico

Nota: Se Observa algunos procedimientos escogidos para realizar los respectivos cambios aplicando SGA junto al trabajo de la microescala para la realización de estos en las pruebas de validación en los laboratorios de la universidad Santo Tomás por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

En la Tabla 6 se presenta un caso particular al estudiar las guías seleccionadas, en la práctica de “identificación de grupos funcionales por solubilidad” maneja un alto rango de sustancias químicas o productos químicos para el desarrollo correspondiente del procedimiento, es por esto que se le aplicó el tercer principio de química verde que va relacionado en reducir las cantidades mínimas (ml o g) implementadas en la práctica (microescala), sosteniendo los mismos reactivos que se usan originalmente.

8.2. Realizar pruebas de validación para las propuestas de mejora en las guías de laboratorio priorizadas.

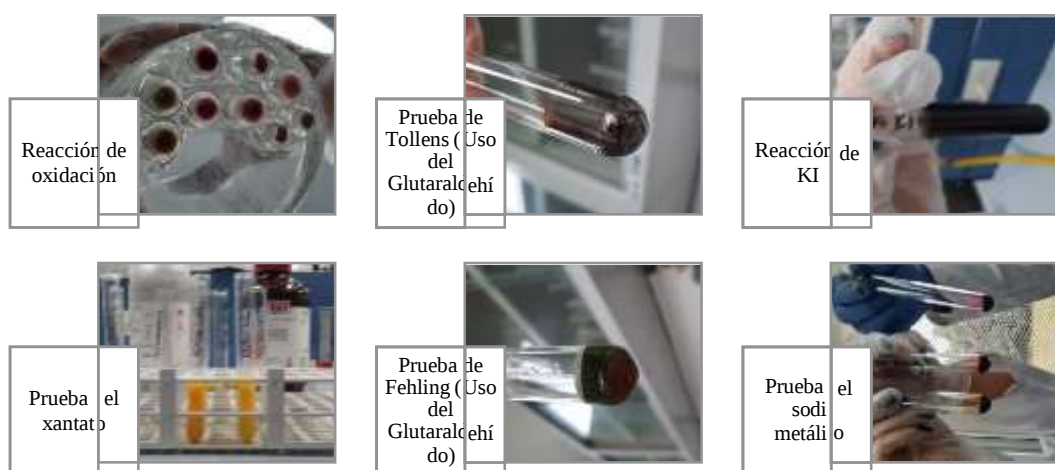
Con base en las guías ya modificadas, se solicitó la autorización a Coordinación de Laboratorios de la Universidad Santo Tomás sede Villavicencio, Campus Aguas claras para realizar las respectivas pruebas de validación. Ante la emergencia sanitaria que se desarrolló a nivel mundial (COVID-19), se remitió una carta a laboratorios con el fin de que se facilitaran aquellos reactivos que se iba a implementar. Ante esta situación, se modificó nuevamente las guías teniendo en cuenta aquellos reactivos que la universidad nos ofrecía.

En la Figura 4. se evidencia el resultado al implementar los reactivos propuestos, con el fin de minimizar el impacto que genera de forma negativa al ambiente y compromete a la salud humana. Estas pruebas se realizaron de 3-5 veces comprobando el resultado obtenido; en caso que

no resultara, se volvió a reestructurar la idea para realizarla nuevamente.

Este trabajo compromete seriamente en buscar una solución que reduzca el nivel de peligro al usar o implementar reactivos que generen efectos secundarios a la salud y al ambiente. Un claro ejemplo se da con la fenolftaleína un indicador ácido base muy utilizada en los laboratorios por su capacidad de variar su color dependiendo del pH en el que se encuentre. La fenolftaleína está clasificada como mutagénico en células germinales, carcinogenicidad y toxicidad para la reproducción (provoca infertilidad), un sustituto encontrado en información secundaria son las antocianinas un grupo orgánico extraído de plantas, frutas y verduras con la capacidad de variar su color en distintas reacciones químicas, al ser natural no posee ninguna clasificación por ende no repercute a la salud.

Figura 4. Evidencia fotográfica validando el nuevo reactivo a implementar.



Nota. Evidencia de algunos procedimientos realizados en la prueba de validación en los laboratorios de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

En la guía de Propiedades físicas de la materia se realiza la actividad de “lluvia de oro”, resaltando la precipitación y suspensión de pequeños cristales con tonalidad amarilla. Para el desarrollo de esta actividad es importante implementar dos reactivos que son Yoduro de Potasio y Nitrato de Plomo, siendo este último altamente peligroso ya que según la clasificación del Sistema Globalmente Armonizado es peligrosa para el medio acuático, maneja una toxicidad aguda, toxicidad para la reproducción y toxicidad específica en determinados órganos (Basilea & Caribe, 2020). Ante las consecuencias mencionadas, se optó por la práctica relacionada a la formación de Carbonato de Calcio que genera un menor porcentaje de peligro hacia la salud y el ambiente y

cumple con el objetivo relacionado a la guía a trabajar.

Figura 5. Actividad original y actividad propuesta para la guía propiedades físicas y



Nota. Procedimiento original de la guía propiedades de la física de la materia conocida como lluvia de oro realizado por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

Con los resultados obtenidos por parte de las pruebas de validación de las respectivas guías. Se realizó la socialización a los docentes de las asignaturas involucradas como Química, Biología entre otros y estos presentan disposición de efectuar dichos cambios a las guías estudiadas con el conocimiento de que se reducirá la peligrosidad y exposición de dichos peligros al personal, docentes y estudiantes en el laboratorio. Para el desarrollo de las propuestas establecidas en cada actividad, se expuso la situación a los docentes que manejan las áreas correspondientes a las guías, validando y confirmando la disposición en modificar las guías para un bien común.

8.2.1. Clasificación de los reactivos a implementar según el Sistema Globalmente Armonizado

El Sistema Globalmente Armonizado organiza los peligros generados a partir del uso de sustancias químicas dentro de 3 grandes grupos que son: peligros físicos, peligros a la salud y peligros para el medio ambiente (Anexo 3) (Basilea & Caribe, 2020). Dentro de cada uno de ellos se estipula ciertas categorías identificando el peligro

que con lleva el uso de dicha sustancia, es por ende que se adopta esta organización al crear las tablas (Anexo 4) para determinar los peligros producidos por exposición a los estudiantes como al docente y a su vez se compara la exposición de dichos peligros en la guía original con la guía propuesta.

Cada tabla suministrará la información relacionada de las sustancias químicas implementadas al procedimiento y se identificará las posibles consecuencias ante el manejo o desarrollo de esta actividad si no se realiza con mucha precaución y seguridad.

En la Tabla 7 se observa el ejemplo con la guía de aldehídos, cetonas y lípidos, actividad que tiene como finalidad la diferenciación entre los compuestos carbonilos, aldehídos y cetonas a partir de reacciones químicas. Para el desarrollo de la práctica original se realizan diferentes procedimientos identificando un resultado casi siempre de forma visual, es decir hay un cambio de tonalidad o presencia de alguna partícula.

Tabla 7. Clasificación de peligros según el SGA de la guía “Reacciones de aldehídos, cetonas y lípidos” Actividad 3.

GUÍA REACCIONES DE ALDEHÍDOS, CETONAS Y LÍPIDOS																															
ACTIVIDAD	GUÍAS	REACTIVOS	PELIGROS FÍSICOS																PELIGROS PARA LA SALUD										P. MEDIO AMBIENTE		TOTAL
			2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12	2.13	2.14	2.15	2.16	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10	4.1	4.2	
OXIDACIÓN DE ACETONA Y FORMOL	GUÍA ORIGINAL	Permanganato de Potasio													X			X						X				X		4	
		Acetona						X												X				X						3	
		Formaldehído																	X	X	X	X	X	X		X			X		8
		TOTAL	2																1 1										2		15
PRUEBA DE SCHIFF	GUÍA PROPUESTA	Reactivo de Schiff															X						X							2	
		Benzaldehído																	X												1
		Acetona						X												X				X						3	
		TOTAL	2																4										0		6

Nota. Comparación de peligros generados por las sustancias químicas usadas en la guía original de reacciones de aldehídos, cetonas y lípidos con la guía propuesta de esta misma ,con base al SGA por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

En la actividad de oxidación de acetona y formol se involucran dos reactivos con un nivel elevado de riesgos por su manipulación; el primero es el formaldehído o metanal, sustancia altamente volátil y muy inflamable, además que a partir de la tabla anterior se evidenció que maneja una toxicidad aguda, irritación ocular, sensibilización respiratoria o cutánea, mutagenicidad en células germinales, carcinogenicidad, peligrosa para el medio ambiente acuático y demás peligros.

Con la información anterior, se modificó este reactivo por el glutaraldehído al 2%, un compuesto químico que proviene de la familia de los aldehídos y que, gracias a su ramificación, es menos peligroso e igual de efectivo para la validación o uso de algún aldehído (En los procedimientos de esta guía se validó dicha información).

En esta actividad también se maneja el permanganato de potasio, un compuesto químico menos peligroso que el formaldehído, pero aun así es muy nocivo ya que según la clasificación realizada por el Sistema Globalmente Armonizado es un reactivo que genera toxicidad aguda, toxicidad para la reproducción, afecta en sólidos comburentes y es igualmente peligroso para el medio ambiente acuático como el formaldehído. Al manejar dos sustancias con un grado alto de peligro, se optó por modificar la práctica y realizar la prueba de Schiff, prueba que busca identificar la diferencia entre un aldehído y una cetona, esto se hizo considerando que en ambos casos se llega al mismo objetivo.

Para esta práctica se manejó bajas cantidades de los reactivos involucrados que son: el reactivo de Schiff, el benzaldehído y finalmente la acetona. El objetivo final es observar una intensidad de tonalidad fucsia en el benzaldehído y en la acetona debe mantener el mismo color inicial (Figura 6).

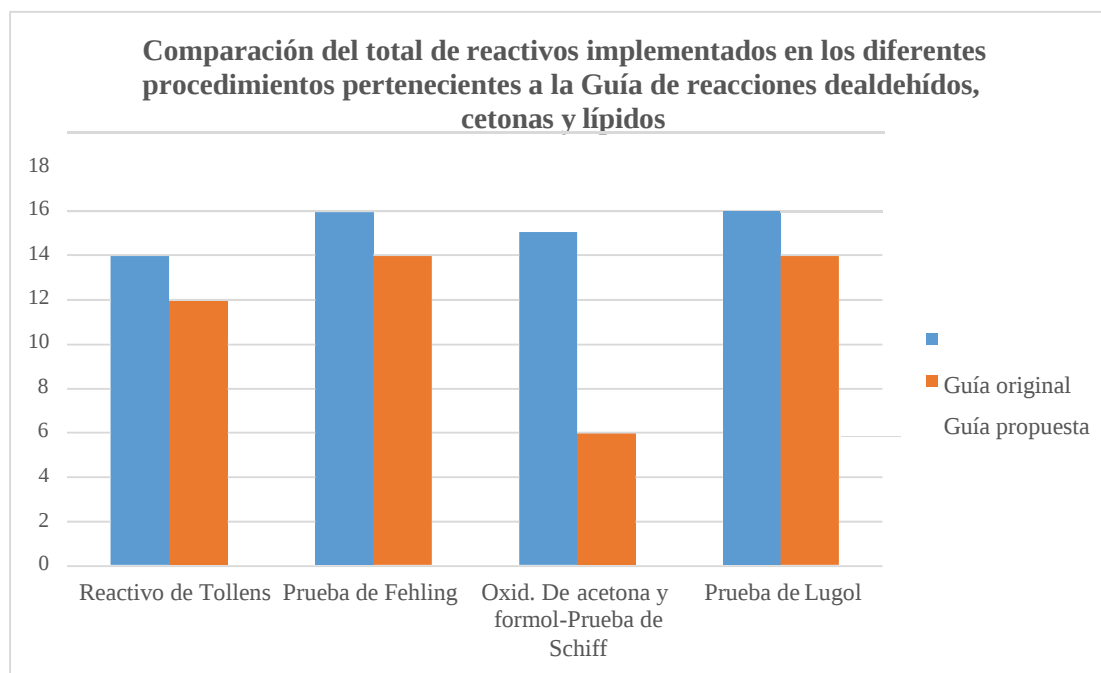
Figura 6. Procedimiento prueba de Schiff.



Nota. Evidencia fotografía del procedimiento de prueba de Schiff realizado en los laboratorio de la Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

Al modificar los procedimientos que se venían manejando en esta guía, se logra reducir un 25% aproximadamente los peligros que se pueden presentar en los reactivos propuestos. En las diferentes actividades que hacen parte de esta guía, como se observa en la Gráfica 1., hay una diferencia notable al modificar los procedimientos, mejorando en el uso de aquellas sustancias químicas que se considere a partir de la clasificación según el SGA menos peligrosas, cabe recalcar que la manera en que se contabilizo el número de peligros por medio del SGA no se obtuvo en cuenta las categorías de estos porque se generaría un trabajo mucho mayor y por ende se saldría del alcance del proyecto.

Gráfica 1. Comparación de los procedimientos juntos con los reactivos según la clasificación del SGA para la guía de reacciones de aldehídos, cetonas y lípido.



Nota. Resultados obtenidos por medio de las pruebas de validación realizadas para el desarrollo de la investigación por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

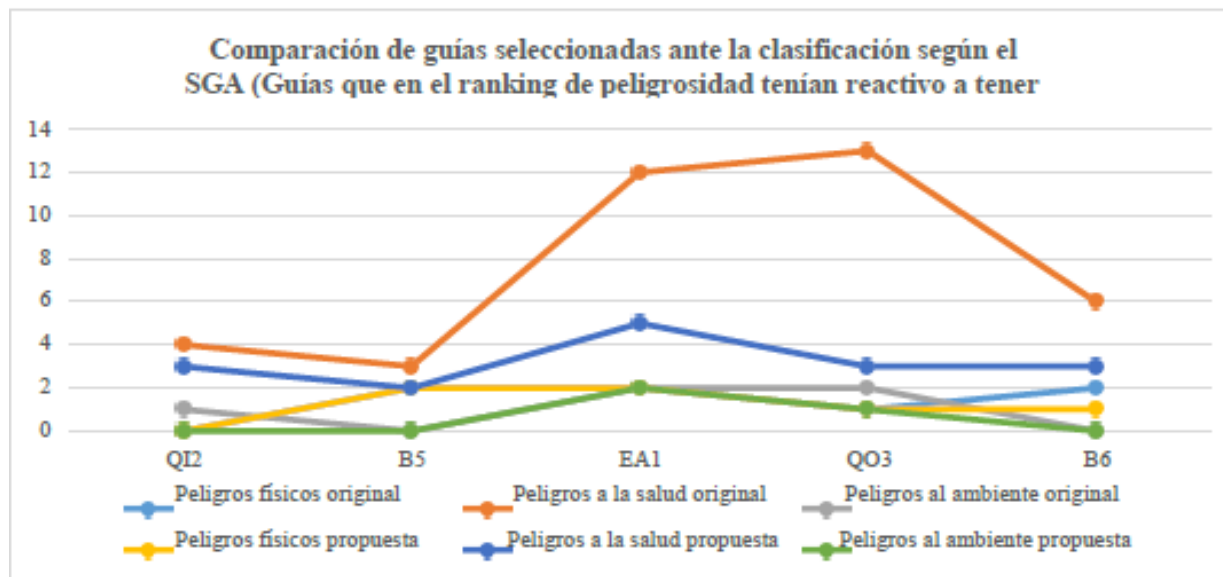
Para tener una información precisa de cuántos peligros se evidenció en cada procedimiento de las guías seleccionadas, se totalizó los peligros por categoría (físico, salud y medio ambiente) tanto de la guía original, como de la guía propuesta. En la Gráfica 2 se observa la comparación que se realizó entre las guías que se seleccionaron resaltando los reactivos que generan efectos nocivos como: peligros de mutagenicidad en células germinales, carcinogenicidad y toxicidad para la reproducción que se desarrolló en la primera fase del macro proyecto. Cada guía está representada con la totalidad de peligros ya clasificados teniendo en cuenta los procedimientos que se modificaron; se logra identificar que en la categorización de peligros físicos y ambiente no hay un cambio relevante, como si se logra observar en los peligros a la salud, donde la reducción especialmente en las guías de EA1 y QO3 es muy notoria.

Este cambio se debe a que, en la guía de energías alternativas, titulada como “Caracterización de sustratos”, maneja el dicromato de potasio que es un compuesto químico usado como oxidante y es una de las técnicas más empleadas para identificar la curva o patrón de DQO³. La manipulación de esta sustancia es peligrosa para la salud, de acuerdo al SGA comprende un 90% de los peligros hacia la salud, además que es peligroso para el medio ambiente acuático.

Ante la descripción del reactivo, se investigó que como sustancia sustituta y efectiva para el desarrollo de la curva de patrón de DQO es el permanganato de potasio. A pesar de ser un reactivo altamente nocivo, maneja un menor porcentaje de peligro que el uso del dicromato de potasio. Por otra parte, la guía titulada como “Reconocimiento de propiedades de los compuestos orgánicos: determinación del punto de fusión de una sustancia pura. Obtención de hidrocarburos”, perteneciente a química orgánica; uno de los procesos de esta actividad es la determinación del punto de fusión, en este procedimiento se realiza primero con una sustancia levemente peligrosa y después con reactivos como fenol, pirocatecol y naftaleno. Estos tres compuestos químicos son altamente peligrosos, principalmente las dos primeras sustancias que manejan un alto índice en peligros hacia la salud. Por tal motivo, se modifica el uso de estos tres reactivos y solamente se realizará con el naftaleno que maneja un menor rango de peligrosidad.

³ DQO: Demanda Química de Oxígeno

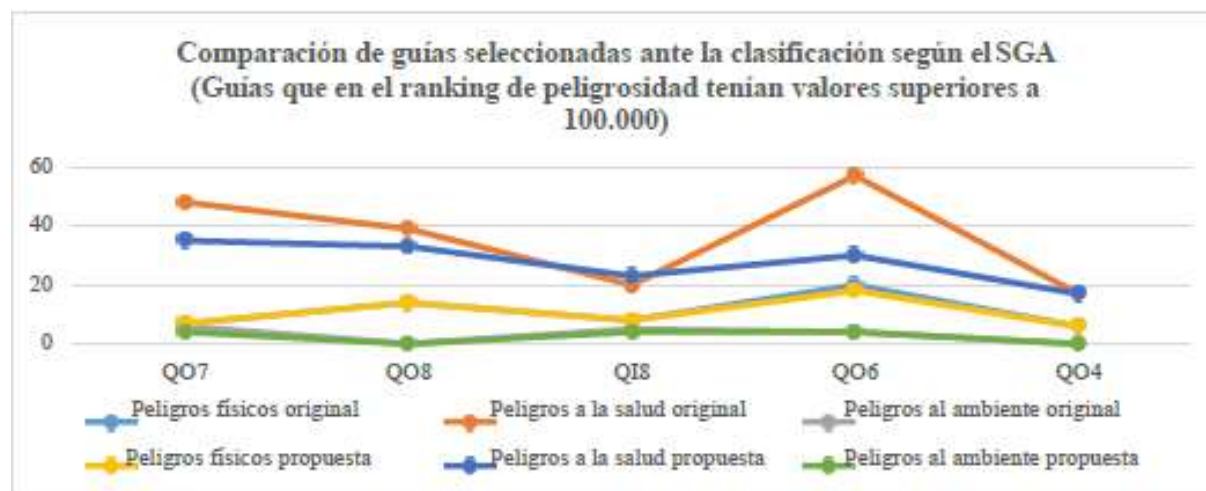
Gráfica 2. Comparación de guías seleccionadas ante la clasificación según el SGA (Guías que en el ranking de peligrosidad tenían reactivo a tener en cuenta).



Nota. Comparación de peligros existentes de las guías originales con las guías propuestas usando el SGA por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

Así como se evidenció en la anterior gráfica las cinco guías que se seleccionaron a partir de contener un compuesto químico altamente peligroso, en la Gráfica 3 que está relacionando a las cinco guías que tuvieron un valor superior a 100.000 en la columna de “Grado de peligro total” ubicada en el Anexo 1 titulado como “Ranking de Peligrosidad ordenado de forma ascendente”, identifica con el apoyo de cálculos y la clasificación según el SGA la comparación que se obtuvo en la actividad original y la propuesta de las guías seleccionadas. Como se explicó anteriormente, en esta gráfica igualmente se evidencia que la categoría de “peligros físicos” es nuevamente vulnerable ante la reacción que puede generar las sustancias químicas a tratar. Aunque no hay un cambio tan drástico como se presentó en la Gráfica 2, se identifica que en la práctica titulada como “Reconocimiento de alcoholes” hay una varianza de aproximadamente 47% en la categoría anterior mencionada.

Gráfica 3. Comparación de guías seleccionadas ante la clasificación según el SGA (Guías que en el ranking de peligrosidad tenían reactivo a tener en cuenta).



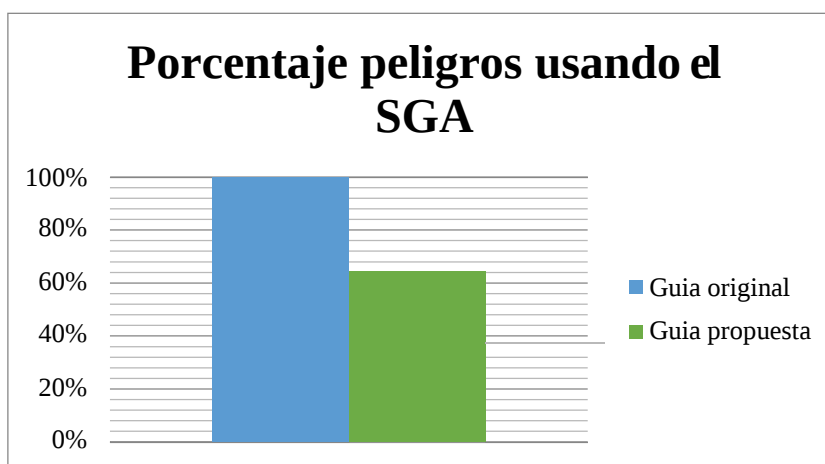
Nota. Comparación de peligros existentes de las guías originales con las guías propuestas usando el SGA por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

La guía de reconocimiento de alcoholes de química orgánica (QO6) se establece con un valor de peligrosidad total de 113.011 según el ranking de peligrosidad entregado por la primera fase del macro proyecto. A partir de este se observa que una de las sustancias más peligrosa dentro de este es la fenolftaleína, dicha sustancia esta categorizada como sustancia que provoca mutagenicidad en células germinales (3.5), es cancerígena (3.6) y es tóxica para la reproducción (3.7). Además de esto al realizar la identificación de los peligros adaptando el SGA se determinó que posee 81 peligros derivados en 20 peligros físicos, 57 peligros a la salud y 4 peligros para el ambiente. Claramente se evidencia que, los estudiantes, docente y trabajadores de la USTA se encuentran expuestos a peligros de toxicidad, irritación cutánea, irritación ocular, peligro por aspiración entre otros.

Aplicando química verde y trabajo en la microescala se genera la nueva guía con diferentes sustancias químicas que suplan las necesidades de la práctica como también disminuir considerablemente los peligros físicos, peligros para la salud y peligros para el medio ambiente. El naranja de metilo entra como sustituto de la fenolftaleína, se eliminan otras sustancias peligrosas como el alcohol tercbutílico (tertbutanol), el éter etílico y el cloruro de zinc.

De esta manera los peligros identificados con el SGA en la nueva guía propuesta con la utilización de sustancias químicas que sustituyeran a las mencionadas en el párrafo interior es de 52 peligros el cual se encuentran distribuidos en 18 peligros físicos, 30 peligros para la salud y 4 para el medio ambiente. Se reducen los peligros en un 36% (Gráfica 4) al comparar los peligros de la guía original con la guía propuesta. Obteniendo datos positivos en la aplicación de química verde y trabajo en la microescala.

Gráfica 4. Comparación porcentaje de peligros de la guía de reconocimiento de alcoholes, guía original y guía propuesta.



Nota. Comparación del porcentaje de disminución de los peligros expuestos a los docentes, estudiantes entre otros con las nuevas guías propuestas por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

El manejo de sustancias químicas requiere de un estricto cuidado para evitar cualquier problemática afectando la salud humana. Las enfermedades que se pueden generar a causa de la manipulación de sustancias químicas es amplia, pero el sistema respiratorio es el más afectado, debido a que es una de las principales vías vulnerables de acceso a nuestro organismo en el momento de ejercer cualquier actividad; en este caso, al momento de estar en contacto de un reactivo puede desprender vapores, polvo o microfibras que se puedan inhalar, por ello es la importancia de usar protección respiratoria cuando se realice la respectiva manipulación de los mismos (Molina, 2019).

Así como la enfermedad respiratoria, se encuentra las enfermedades relacionadas a la piel y tejido subcutáneo, zonas que casi siempre son ignoradas, pero están igualmente expuestas una vez se realice trabajo con sustancias químicas. El desarrollo de cáncer en las zonas industriales, se

relacionan por temas hereditarios, pero la alta manipulación y poca protección del personal puede generar esta enfermedad (Molina, 2019). Por ello, es importante la implementación del equipo de protección personal (EPP), independiente del bajo manejo de los reactivos, la exposición de la persona es la misma y si no hay un debido y correcto proceso para la realización de la práctica o actividad, puede ocasionar consecuencias fatales.

Ante los resultados obtenidos, se logró sustituir el nitrato de plata, el dicromato de potasio y la fenolftaleína, sustancias químicas altamente peligrosas que pueden generar enfermedades como respiratorias, irritaciones en los pulmones y garganta, problemas cancerígenos, entre otros.

8.3 Plantear estrategias para la adecuada gestión de los residuos químicos asociados a las prácticas de laboratorio desarrollados por el Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás.

La generación de Residuos peligrosos (Respel) en instituciones educativas del país es uno de los temas menos investigados. La mayoría de laboratorios de ensayo y prácticas de enseñanza media y superior no identifican y/o cuantifican sus Respel, además no cuentan con sistemas de tratamiento para sus desechos. Aunque algunas instituciones están interesadas en desarrollar estudios para el diseño de soluciones a estos residuos, el apoyo y el interés en investigar este tema es bajo y es necesario que el país comience a dimensionar y controlar la problemática en este sector (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005). Según el informe nacional de residuos o desechos peligrosos en Colombia, elaborado en el año 2017, la corporación autónoma que compete el departamento del Meta a excepción de las incluidas en la jurisdicción de la Corporación para el desarrollo sostenible del norte y oriente amazónico (CDA) y Corporinoquía, indica que en la jurisdicción de Cormacarena se generan 36.704 toneladas (7,5% a nivel nacional), del cual 732 es el número de generadores de Respel inscritos (aproximadamente un 27%). A partir de estos valores, 8.538 toneladas (20%) se dispone, 26.846 toneladas (64%) son tratadas y 6.631 toneladas (16%) son totalmente aprovechadas, realizando una gestión del 100% (IDEAM, 2018). Este estudio se consideró el sector industrial y demás actividad en una escala macro.

Es una problemática en una escala inferior a los diferentes estudios de residuos peligrosos generados en sectores industriales, salud, en la extracción de petróleo crudo, entre otras. Si bien, en un sector educativo se maneja un menor rango de sustancias químicas, pero no significa que la

exposición del personal quien manipule estas sustancias esté exenta de cualquier eventualidad o reacción negativa. Además, la disposición final de estos residuos es relevante, una buena separación en la fuente de los residuos ayuda no sólo clasificarlos, sino también tener en cuenta aquellos reactivos que se pueden disponer en un sector que cumplan con los protocolos, o en su defecto, realizar el aprovechamiento de los residuos peligrosos evitando que aquellas sustancias líquidas se viertan directamente al desagüe, causando afectaciones para el medio ambiente y a la salud humana.

Una vez realizadas las pruebas de validación de las guías ya modificadas, se dio paso al cálculo estequiométrico de las sustancias químicas involucradas junto con su respectiva reacción, resaltando las cantidades mínimas que se manejan en las actividades de manera individual.

Para la ejecución de esta actividad se tuvo en cuenta el reactivo (nombre químico, y fórmula del compuesto químico y grado de pureza), la cantidad y sus unidades respectivas para la práctica tanto en la entrada como en la salida, visualizando el residuo peligroso que se genera junto con su concentración correspondiente como se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Cálculo estequiométrico del procedimiento carbonato de calcio).

REACCIÓN QUÍMICA INVOLUCRADA (CARBONATO DE CALCIO)										
$\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$										
ENTRADA						SALIDA			RESPEL LÍQUIDO	RESPEL SÓLIDO
Compuesto	Nombre	Can.	g	ml	Gotas	Cantidad	g	ml		
CaCl_2	Cloruro de Calcio	1.047	X			≈ 0	X		> 27.76 ml de solución acuosa con sales inorgánicas	> 2.34 g de Carbonato de Calcio en papel filtro
Na_2CO_3	Carbonato de Sodio	1	X			≈ 0	X			
H_2O	Agua	26		X		> 26		X		
CaCO_3	Carbonato de Calcio	0	X			> 1.04		X		
2NaCl	Cloruro de Sodio	0		X		> 1.007		X		
N/A	Papel filtro	2.053	X			>2.053	X			

Nota. Procedimiento realizado para la estimación de residuos peligrosos generados por procedimiento de las guías propuestas por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

La generación de residuos peligrosos en instituciones educativas es menor a comparación de instituciones de salud o zona industrial, no obstante, es un tema importante para evaluar y comprender cuanto Respel ya sea sólido, líquido o gaseoso se desarrolla a partir de una reacción “simple”, además se presentan una gran variedad de sustancias químicas, entre ellas metales pesados. En la Tabla 8 se observa el cálculo perteneciente para la práctica de formación de carbonato de calcio, relacionada a la guía “Propiedades físicas y química de la materia”, donde se explica la reacción química que se realiza para el procedimiento.

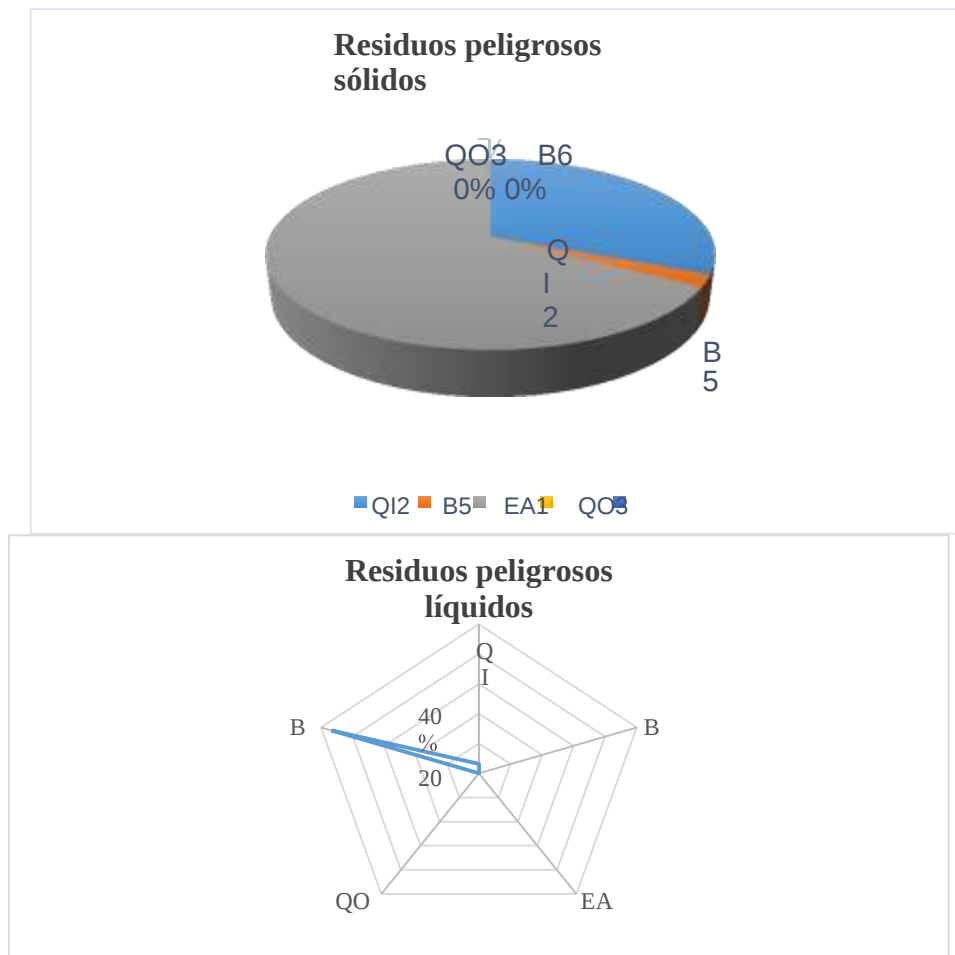
Para el desarrollo de esta actividad es fundamental resaltar el principio de conservación propuesto por el francés Antoine-Laurent Lavoisier, principio que pertenece a la primera ley de la termodinámica donde explica la afirmación que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma (Yount, 2014). En el procedimiento de la formación de carbonato de calcio se realiza la reacción con tres sustancias químicas y el manejo del papel filtro como apoyo para pesar los reactivos en estado sólido e igualmente, para retener por medio de la filtración el carbonato de calcio una vez desarrollada la actividad. Una vez generada la reacción se calcula que hay presencia de 27.76 ml de solución acuosa con sales inorgánicas y papel filtro con contenido de carbonato de calcio.

En cada procedimiento se realizó el respectivo cálculo de residuos peligrosos generados por guías, que se totalizó para obtener la cantidad exacta de residuos peligrosos generados por guías. En la gráfica 5 se observa la estimación de Respel líquidos y sólidos respectivamente para las guías que se seleccionaron teniendo en cuenta aquellas sustancias altamente peligrosas; para el estudio en la cuantificación de residuos peligrosos, se observó que no todos generan restos sólidos y líquidos obligatoriamente, es por ello que las gráficas representadas evalúan que guía genera más sustancias, independiente de su estado final.

En la generación de residuos líquidos se observa una mayor demanda para la guía titulada como “fotosíntesis y respiración celular”, puesto que la cantidad de sustancia química implementada triplica a comparación de los otros procedimientos de las demás guías, pero genera una nula cantidad de residuos sólidos. Por lo contrario, en la guía de “Caracterización de sustratos orgánicos” se desarrolla a partir de una muestra que se le suministra diferentes cantidades de

reactivos, produciendo una reacción química e igualmente, una muestra con alto contenido de sustancias químicas. Por ello se caracteriza como una guía que maneja una Respel sólidos.

Gráfica 5. Residuo peligroso líquido y sólido total de las guías seleccionadas por la presencia de sustancias químicas altamente peligrosas en las actividades ya modificadas.



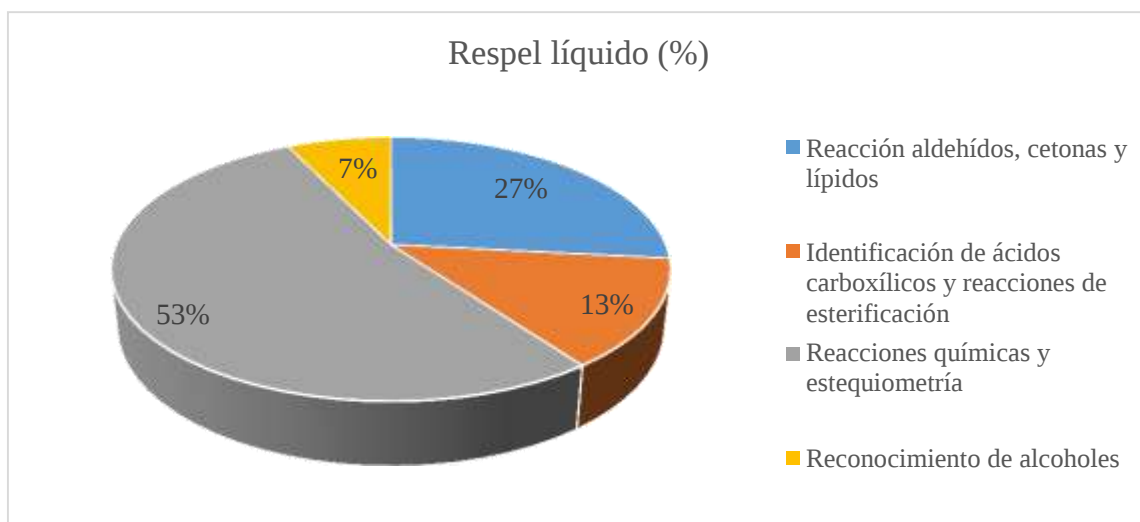
Nota. Generación de residuos peligrosos sólidos y líquidos a partir de las guías propuestas por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

Por otra parte, las guías que se seleccionaron a partir del total de la peligrosidad y que superaban un valor de 100.000, se realizó el mismo procedimiento de las anteriores guías, visualizando el incremento de residuos peligrosos líquidos (Gráfica 6) y la mínima generación de residuos peligrosos sólidos ya que el valor total fue de 0,7 g de las guías seleccionadas. Aproximadamente el 99,4% de los residuos generados en la segunda clasificación de las guías es líquida, esto se debe al amplio manejo de procedimientos que se modificaron; a diferencia de la anterior selección, en estas guías se estudiaba cada procedimiento y tenía en cuentas aquellas

actividades que manejaban sustancias altamente peligrosas.

La magnificación de los residuos líquidos generados, se presenta debido al momento de estudiar las guías minuciosamente y recordando los principios de la química verde, se buscó las diferentes alternativas para reemplazar aquel reactivo o actividad que provocara un alto peligro para la manipulación del personal.

Gráfica 6. Guías seleccionadas por la totalidad de peligro que presenta, resaltando los Respel generados en las actividades ya modificadas.



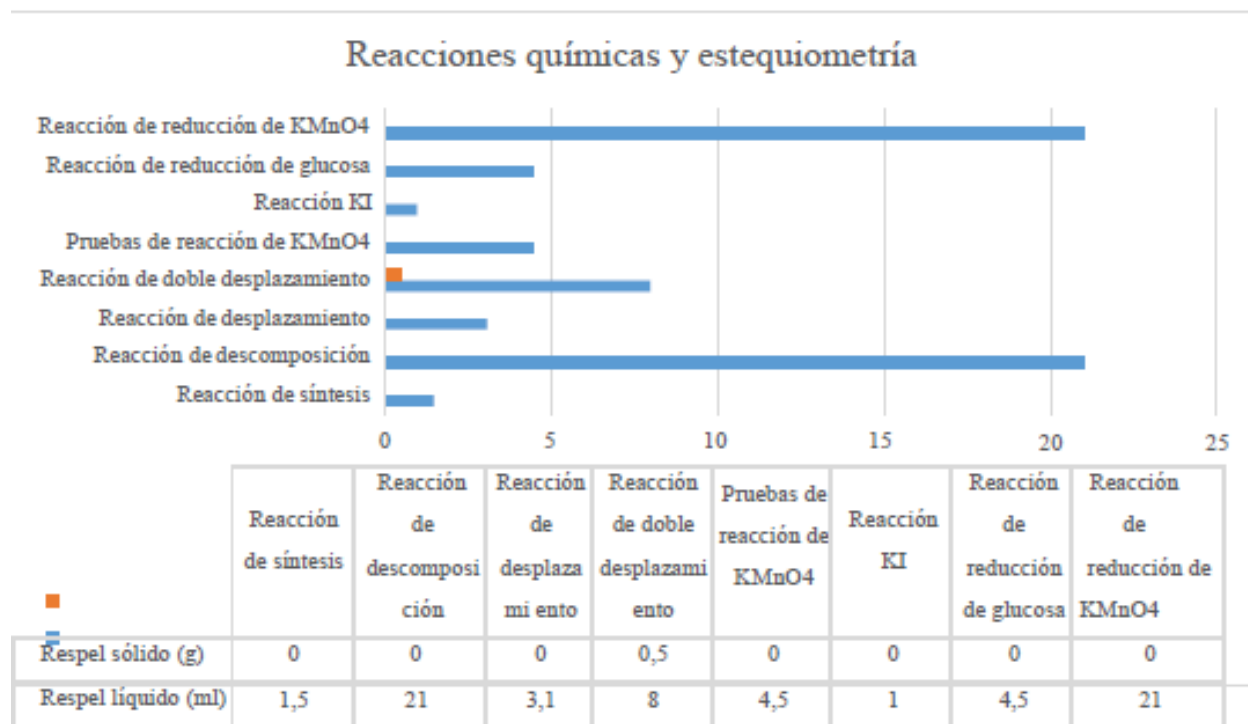
Nota. Porcentaje de generación de residuos sólidos peligrosos generados en las guías por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

Así mismo, se identificó un alto porcentaje de uso y generación de residuos líquidos en la guía de reacciones químicas y estequiometría, esto se contempla al gran manejo de sustancias acuosas que se realiza en los diferentes procedimientos como se observa en la Gráfica 7.

Como se contempla en la gráfica, el proceso de reacción de descomposición y reacción de reducción de Permanganato de Potasio (KMnO_4) son las actividades con mayor número de residuo líquido generado, esto se debe a la alta cantidad de agua destilada que se trabaja, más no de los reactivos, pues la cantidad es la adecuada y apta. Además, el agua que se maneja para los diferentes procedimientos se contempla debido al proceso a realizar; es decir, si hay la necesidad de implementar el método de calentar ciertas combinaciones en baño maría para observar la reacción generada. Los demás cálculos pertinentes a la generación de Respel se pueden observar en el

Anexo 5 del presente documento.

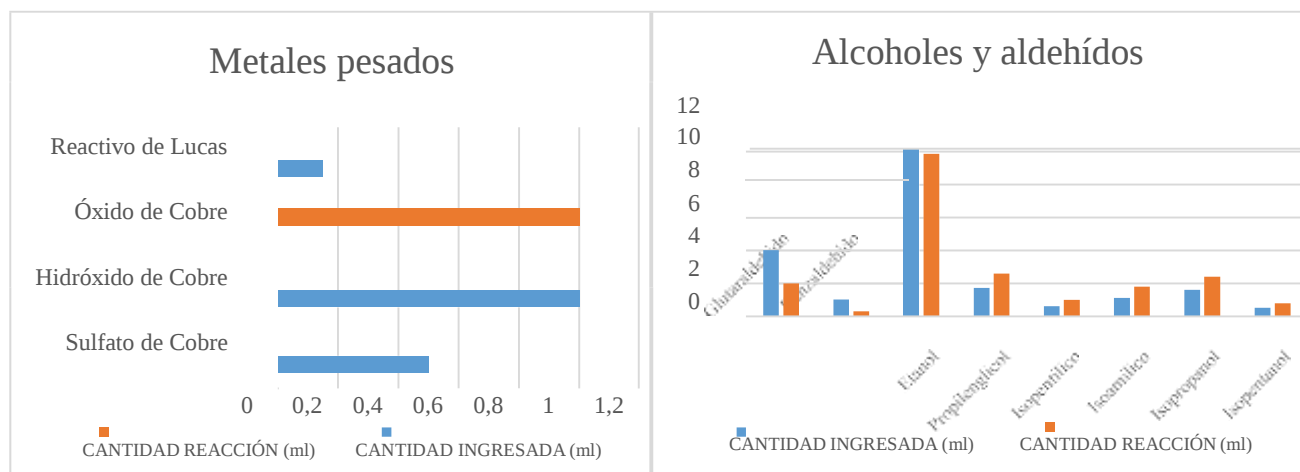
Gráfica 7. Respel generado en la guía de reacciones químicas y estequiometrias por procedimiento.



Nota. Comparación de residuos líquidos y sólidos peligrosos de las guías propuestas en la investigación por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

A partir del estudio anterior, se logró evidenciar la cantidad de metales pesados y alcoholes y aldehídos generados en las diez (10) guías estudiadas; teniendo en cuenta los procedimientos y los respectivos reactivos, se sumó las cantidades implementadas, mostrando el total de residuos generados.

Gráfica 8. Estimación de residuos peligrosos (metales pesados y alcoholes y aldehídos)



Nota. Residuos peligrosos generados de las guías propuestas en ml por Camila Buitrago & Jairo Velásquez, 2020.

En la Gráfica 8 se observa que la cantidad de metales pesados generados es de 1 ml, este valor se considera en unidades volumétricas debido al manejo que se realizó para las actividades.

Por otra parte, se calculó el valor total de alcoholes y aldehídos que se generan con la propuesta de las actividades; esta estimación es valorativa ya que se puede realizar un aprovechamiento del residuo líquido.

Se conoce por información secundaria que la empresa *IMEC S.A.E.S.P* es la encargada de la recolección, tratamiento y /o disposición de los residuos peligrosos generados por parte de los laboratorios entre otras áreas de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio otorgando los certificados de tratamiento según la normatividad Nacional, aunque se haga el debido tratamiento de estos residuos peligrosos líquidos y sólidos, se está desperdiciando esta fuente de materia prima necesitadas por empresas para sus procesos industriales. La empresa Holcim de Colombia por medio de proyectos de eco procesamiento crean combustibles alternativos a partir de residuos peligrosos como fuente de energía y así sustituir el carbón durante sus procesos, la falta de empresas que utilicen estos residuos peligrosos en el Meta como materia prima es una pérdida de un mercado en potencia.

9. Conclusiones

- A partir de la modificación de las 10 guías con base al ranking de peligrosidad de la primera etapa del Macro proyecto, se obtuvieron resultados positivos a la hora de aplicar el Sistema Globalmente Armonizado y trabajo de micro escala, con respecto a los peligros al que se expone a los estudiantes, docentes y trabajadores de la USTA.
- Se disminuye en un 24 %, de los 320 peligros que originalmente se encontraban en las guías sin modificar fueron eliminados 78 peligros con la aplicación de química verde y trabajo en la microescala. Con las nuevas 10 nuevas guías se establece alrededor de 242 peligros del cual puede ser controlados mediante el uso de los EPP a la hora de entrar al laboratorio. Peligros mutagénicos, cancerígenos y de toxicidad para la reproducción fueron eliminados a totalidad con las nuevas guías.
- Con la aplicación de trabajo en la microescala en estas 10 guías, se obtuvieron resultados positivos al realizar la prueba de validación de cada guía en el laboratorio con los nuevos volúmenes (ml) y en masa (g) necesarios para satisfacer los resultados esperados al ejecutar cada guía. La disminución de uso de reactivos en estado líquido o sólido se encuentra entre un 50% y 80 %, al comparar el uso de reactivos en la guía original y la guía propuesta por procedimiento y de manera general se estipula en un 27%. Con esta reducción se prevé a futuro posibles impactos ambientales en fuentes hídricas, al suelo y a la comunidad que se encuentren en este o en zonas aledañas. Así mismo esta disminución de uso de reactivos químicos reducirá costos por parte de la Universidad Santo Tomás a la hora de adquirir los insumos para los siguientes semestres académicos.
- La falta de empresas en el departamento del Meta que utilicen los residuos peligrosos líquidos o sólidos para sus procesos entorpece la búsqueda de reincorporar dichos residuos como materia prima para la ejecución de otros procesos como fuente de energía, así mismo la disposición final por parte de la empresa *IMEC S.A.E.S.P* certificada con lo establecido por normatividad colombiana dicha disposición, se está perdiendo de un mercado en potencia.

10. Sugerencias

La sugerencia más importante es la aplicación del SGA, los principios de química verde y trabajo de la microescala en las guías de laboratorio de cada facultad donde se usen sustancias químicas o productos químicos, esto con el fin de determinar ciertamente los peligros al que se exponen los estudiantes, docente y trabajadores de la USTA. Al conocer estos peligros se deberá realizar su respectiva modificación para disminuir los peligros físicos, peligros para la salud en este caso se sugiere retirar o eliminar los peligros mutagénicos, cancerígenos o de toxicidad para la reproducción y por último los peligros para el medio ambiente. De esta manera se evitarán problemas a corto, mediano y largo plazo.

La segunda es destinada a la coordinación de laboratorios con el fin de solicitar un uso más abierto de las sustancias químicas tales como el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico, aunque la Resolución 0001 del 2015 controle y vigile dichas sustancias químicas se necesitan para la realización de ciertos procedimientos donde se necesita un ácido fuerte para generar la respectiva reacción. Por otra parte, las sustancias mencionadas anteriormente en temas de peligros por el SGA son menos peligrosos que otras sustancias, en este caso se toma como ejemplo el ácido nítrico el cual fue usado como sustituto del ácido clorhídrico y sulfúrico aumentando los peligros en cada procedimiento donde este se esté usando.

11. Bibliografía

- Universidad de Cantabria. (25 de 05 de 2020). *La Segunda Guerra Mundial y el nuevo orden económico internacional*. Obtenido de <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1213/course/section/1495/MC-III-2.3.pdf>
- Altava, B., Burguete, M. I., & Luis, S. V. (7 de Febrero de 2013). Educación cooperativa en Química verde: Experiencia española. *Áreas emergentes de la educación química*, 1. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Obtenido de <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/93130/59615.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anastas, P. T. (2012). *Fundamental changes to EPA's research enterprises: The Path Forward*. Environmental Science and Technology. Obtenido de <https://doi.org/10.1021/es203881e>
- Anastas, P. T., & Kirchhoff, M. M. (2002). *Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry* (Vols. 35, 9, 686-694). American Chemical Society. Obtenido de <https://doi.org/10.1021/ar010065m>
- Basilea, C. C., & Caribe, C. R. (08 de Agosto de 2020). *Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de productos químicos, SGA*. Obtenido de <http://ghs-ssa.com/clasificacion-de-peligros-segun-ssa/>
- Bertini, L. M., & Ciceron, D. S. (2009). *Gestión de residuos generados en laboratorios de enseñanza de química en entidades universitarias con participación activa del alumnado*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/234027099_Gestion_de_residuos_generados_en_laboratorios_de_ensenanza_de_quimica_en_entidades_universitarias_con_participacion_activa_del_alumnado
- Calvete, M. C. (2017). *Estrategia Nacional para la implementación del Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos- SGA-en Colombia (2016-2020)*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Carson, R. (1962). *Primavera Silenciosa*. Estados Unidos: Grupo Planeta.
- Castro, N. P., & Verbel, J. T. (2011). *Química verde: Un nuevo reto*. Ciencia e Ingeniería

Neogranadina.

Gómez, D. P. (2020). *Análisis de peligrosidad de los reactivos usados en las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás – Sede Villavicencio*. Villavicencio: USTA. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/28162>

Gómez, D. P. (2020). *Repositorio Universidad Santo Tomás*. Obtenido de Análisis de peligrosidad de los reactivos usados en las prácticas de laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Santo Tomás – sede Villavicencio: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/28162>

Gómez, J. S. (2019). *Análisis en la implementación de la química verde en el desarrollo agrícola sostenible en Colombia*. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América. Obtenido d <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7256/1/116908-2019-I-GA.pdf>

González, A., & Urzúa, C. (18 de Julio de 2012). Experimentos químicos de bajo costo: un aporte desde la microescala. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación De las Ciencias*, 401-419. Obtenido de <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2786>

Halpaap, A., & Dittkrist, J. (2018). *Sustainable chemistry in the global chemicals and waste management agenda* Obtenido de researchgate.net/publication/321111857_Sustainable_Chemistry_in_the_Global_Chemicals_and_Waste_Management_Agenda

Hoof, B. V., & Herrera, C. M. (31 de Octubre de 2007). La evolución y el futuro de la producción más limpia en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 101-120. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n26/n26a13.pdf>

IDEAM. (2018). *Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2017*. Bogotá, D.C. Obtenido de http://www.andi.com.co/Uploads/Informe_RESPEL_2017.pdf

Ingold, M., Dapuelto, R., Lopez, G. V., & Porcal, W. (2016). *Una reacción multicomponente verde en el laboratorio de química orgánica*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X15000877>

López , A., Suárez , O. J., Hoyos, M. C., & Montes , C. (2012). *Perfil Nacional de Sustancias Químicas en Colombia*. Bogota: Nuevas Ediciones S.A.

Melgar, Á., Enriquez, C., Mendoza, G., Fernández, L., & Elorza, M. E. (2010). *Un clásico de*

- Química Orgánica en microescala y con fricción: la reacción de Cannizzaro*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v21n2/v21n2a11.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*. Bogotá, D.C.: Panamericana Formas e Impresos. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/526371/POLITICA+AMBIENTAL+PARA+LA+GESTION+INTEGRAL+DE+RESPEL.pdf/fb42059d-77ec-423b-8306-960dee6bb9c6>
- Molina, S. M. (2019). *Ampliación de la metodología de sustancias químicas considerando variables de salud ocupacional y sistema globalmente armonizado*. Obtenido de Tesis de maestría, Universidad Nacional: <http://bdigital.unal.edu.co/74824/1/1032455172.2019.pdf>
- Mooney, D. (2004). *Effectively minimizing hazardous waste in academia: The Green Chemistry approach*. Chemical Health and Safety. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/238503944_Effectively_minimizing_hazardous_waste_in_academia_The_Green_Chemistry_approach
- Mosquera , Y. N., Barbosa , V., Montañez , K. P., & Murcia , J. S. (2019). *Estudio para la gestión de residuos generados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio*. Villavicencio. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/22663>
- Nameroff, T. J., Garant, R. J., & Albert, M. B. (2004). Adoption of green chemistry: An analysis based on US patents. *Elsevier*, 959-974. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.03.001>
- OIUDSMA. (1995). ATA de Fundação da Organização Internacional de Universidades para o Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Recuperado el 14 de 09 de 2019, de <http://www.oiudsma-nimad.ufpr.br/atadefundacao.doc>
- Oliveira, M. d. (2009). *Universidade e sustentabilidade: proposta de diretrizes e ações para uma universidade ambientalmente sustentável*. Obtenido de Pósgraduação em Ecologia aplicada ao manejo e a conservação de recursos naturais.: https://www.ufjf.br/ecologia/files/2018/08/dissertacao_2009_marcio_oliveira.pdf
- Pájaro, N. P., & Olivero, J. T. (2011). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Universidad Militar Nueva Granda*. Obtenido de Química Verde:Un nuevo reto: <https://www.redalyc.org/pdf/911/91123440009.pdf>

- Sánchez, J. C. (26 de 02 de 2018). *Minambiente, Asunto ambientales sectorial y urbana*. Obtenido de Registro de Sutancias químicas de uso industrial: [http://www.andi.com.co/Uploads/REGISTRO-SQUI-Gobierno-](http://www.andi.com.co/Uploads/REGISTRO-SQUI-Gobierno-2018_636561265965259902_636657122250219331.pdf) Feb-26-2018_636561265965259902_636657122250219331.pdf
- Serrano , M. (2009). *Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente*. Obtenido de Departamento de Ingeniería y Ciencias Químicas. Universidad Iberoamericana: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2009000400004
- Silveira, C. J., & Faria, S. G. (2018). *A Educação Ambiental: uma discussão reflexiva no Curso Técnico em Meio Ambiente na Escola de Ensino Médio Estadual Lemos Junior*. Relacult-Revista Latino Americana de Estudos em Cultura e Sociedade. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/332891401_A_Educacao_Ambiental_uma_discussao_reflexiva_no_Curso_Tecnico_em_Meio_Ambiente_na_Escola_de_Ensi no_Medio_Estadual_Lemos_Junior
- Singh, M. M., Szafran, Z., & Pike, R. M. (1999). *Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies*. Journal of Chemical Education. Obtenido de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed076p1684>
- Skinner, J. (1999). *Microscale Chemistry*. London: The Royal Society of Chemistry.
- Summerton, L., Hunt, A. J., & Clark, J. H. (2013). Green Chemistry for Postgraduates. Educación Química. Obtenido de [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72508-4](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72508-4)
- Torres, D., García, G., & Castro, M. T. (2011). El tratamiento de residuales en el laboratorio químico. Universidad de la Habana. Obtenido de <http://cvi.mes.edu.cu/peduniv/index.php/peduniv/article/viewFile/79/77>
- Warner, J. C., Cannon, A. S., & Dye, K. M. (2004). *Green chemistry*. Environmental Impact Assessment Review. Obtenido de <http://www.sci epub.com/reference/123201>
- Yount, L. (2014). *Antoine Lavoisier: genio de la química moderna*. Enslow Publishing, LLC.

Anexos

Los anexos relacionados a continuación se encuentran de manera independiente en un documento digital como anexo a este trabajo.

Anexos 1. Ranking de Peligrosidad ordenado de forma ascendente

Anexos 2. Ranking de Peligrosidad Teniendo en cuenta los reactivos

Anexos 3. Simbología de los códigos para la clasificación de peligros según el Sistema Globalmente Armonizado

Anexos 4. Clasificación de peligros según el Sistema Globalmente Armonizado de los reactivos a implementar en las diferentes guías seleccionadas

Anexos 5. Cálculo estequiométrico y estimación de la generación de residuos peligrosos de las actividades propuestas