

**EVALUACION DE BUENAS PRACTICAS EN LABORATORIOS DE DOCENCIA  
UNIVERSITARIA: ESTRATEGIAS DE REDUCCION EN LA PRODUCCION DE  
RESIDUOS PELIGROSOS**

**JOHN SEBASTIÁN BAVATIVA RAMIREZ**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
INGENIERIA AMBIENTAL  
MANIZALES  
2015**

**EVALUACION DE BUENAS PRACTICAS EN LABORATORIOS DE DOCENCIA  
UNIVERSITARIA: ESTRATEGIAS DE REDUCCION EN LA PRODUCCION DE  
RESIDUOS PELIGROSOS**

**JOHN SEBASTIÁN BAVATIVA RAMIREZ**

**JAVIER MAURICIO NARANJO**

**DOCENTE**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERIA  
AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
INGENIERIA AMBIENTAL  
MANIZALES**

**2015**

## TABLA DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>RESUMEN:</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>ABSTRACT:</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN:</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>MAPA CONCEPTUAL</b> .....  | <b>11</b> |
| <b>1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE IMPACTO AMBIENTAL QUE SE GENERAN EN<br/>LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA DE LOS CENTROS UNIVERSITARIOS.</b> .....                      | <b>12</b> |
| 1.1. PROBLEMÁTICA AMBIENTAL EN LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA UNIVERSITARIA.....  | 12        |
| 1.2. IMPACTOS NEGATIVOS A LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE GENERADOS EN LABORATORIOS DE<br>DOCENCIA.....  | 15        |
| 1.2.1. <i>Características de los residuos peligrosos</i> .....  | 18        |
| 1.2.2. <i>Sustancias Peligrosas más Comunes en Laboratorios de Docencia</i> .....   | 21        |
| 1.3. MARCO NORMATIVO APLICABLE A LA OPERACIÓN EN LOS LABORATORIOS DE DOCENCIA. ....   | 22        |
| <b>2. LAS BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO (BPL) COMO ALTERNATIVA DE<br/>MITIGACIÓN Y DISMINUCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS GENERADOS EN<br/>LABORATORIOS.</b> ..... | <b>26</b> |
| 2.1. QUE SON LAS BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....   | 26        |
| 2.2 MANEJO EFICIENTE DE RESIDUOS PELIGROSOS. ....   | 27        |
| 2.2.1. <i>Segregación de residuos generados en laboratorios.</i> .....  | 28        |
| 2.2.2. <i>Técnicas de tratamiento, eliminación y recuperación de residuos generados en laboratorios.</i><br>.....   | 31        |
| 2.3 VERTIMIENTOS DE RESIDUOS LÍQUIDOS PELIGROSOS .....  | 37        |
| 2.4. EL PRINCIPIO DE QUÍMICA VERDE O SOSTENIBLE.....  | 41        |
| 2.4.1. <i>Los 12 principios de la química verde</i> .....   | 42        |
| 2.5. EL ENFOQUE ECOLÓGICO EN LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO COMO NUEVA METODOLOGÍA DE<br>EDUCACIÓN EN UNIVERSIDADES.....  | 45        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. BUENAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN LA UCM.</b> .....                                      | <b>51</b> |
| 3.1. LOS LABORATORIOS DE LA UCM.....  | 51        |
| 3.2. PROGRAMA DE RESIDUOS QUÍMICOS PELIGROSOS.....  | 52        |
| 3.2.1. <i>Manejo Eficiente de Sustancias Químicas.</i> .....                                    | 53        |
| 3.2.2. <i>Manejo y Disposición de Residuos Químicos Peligrosos.</i> .....                       | 55        |
| 3.2.3. <i>Manejo de Residuos No Peligrosos.</i> .....   | 56        |
| 3.2.4. <i>Manejo de Residuos Químicos Peligrosos</i> .....                                      | 57        |
| 3.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INADECUADA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN LA UCM.<br>58 |           |
| 3.4. SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL APLICABLE A LOS NUEVOS LABORATORIOS DE LA UCM.....            | 59        |
| 3. <i>Hacer-Verificar-Actuar</i> :.....   | 64        |
| <b>DISCUSIÓN.</b> .....   | <b>65</b> |
| <b>CONCLUSIONES.</b> .....  | <b>70</b> |
| <b>REFERENCIAS</b> .....  | <b>73</b> |

## LISTA DE TABLAS, ILUSTRACIONES Y ANEXOS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Impactos generados en laboratorios de docencia. (Elaboración Propia) .....   | 16 |
| Tabla 2. Sustancias Peligrosas más Comunes. (Elaboración propia).....   | 21 |
| Tabla 3. Segregación por asignaturas. (Mera Benavides, Andrade Vivas, & Ortiz Sarria, 2009) .....                               | 29 |
| Tabla 4. Tratamiento Físico Residuos. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013) .....             | 33 |
| Tabla 5. Tratamiento Químico. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013) .....                     | 34 |
| Tabla 6. Residuos no peligrosos restringidos. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013).....      | 57 |
| Ilustración 2. Pictogramas de clasificación de residuos peligrosos. (Mera Benavides, Andrade Vivas, & Ortiz Sarria, 2009) ..... | 30 |
| Ilustración 1. Ejemplo del diagrama de flujo ecológico. ( Torres, García, & Castro, 2011).....                                  | 50 |

**Resumen:**

Las buenas prácticas en laboratorios de docencia permiten a través de una serie de alternativas mitigar los impactos negativos a la salud y el medio ambiente que se derivan de la actividad práctica en los laboratorios educativos. Los estudiantes de carreras de carácter científico como las ingenierías o las ciencias de salud requieren de una formación basada en asignaturas que hacen parte de las ramas de la ciencia como la Química, física, Biología, medicina entre otras. Esta formación se fundamenta por una pedagogía teórico-práctica, donde los estudiantes aplican sus conocimientos a través de prácticas experimentales realizadas en laboratorios. Dichas prácticas experimentales necesitan del uso de reactivos químicos, materiales biológicos y similares que al ser sometidos a procesos experimentales son generadores de residuos con cargas contaminantes significativas y una gran cantidad se consideran peligrosos por sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, inflamabilidad, Infecciosidad, Radioactividad y Toxicidad.

Por lo anterior se realizó un trabajo investigativo bajo la modalidad de revisión bibliográfica donde se evaluaron las estrategias de buenas prácticas de laboratorio orientadas a la reducción de la producción de residuos peligrosos en laboratorios de docencia universitaria y proyectar su implementación en la UCM. Mediante este trabajo se logró identificar los impactos ambientales asociados a la generación de residuos peligrosos y no peligrosos, para los cuales se evaluaron alternativas como la química verde y el rediseño pedagógico de prácticas experimentales con enfoque ecológico.

Además por medio de este trabajo se analizó el estado del arte de los laboratorios de la UCM en pro de proyectar las buenas prácticas de laboratorio para aplicarse en el futuro bloque de laboratorios de la UCM.

El desarrollo de este trabajo permitió concluir las deficiencias de las instituciones universitarias en cuanto a la capacitación de los estudiantes en el manejo de residuos peligrosos y similares, además la escases de programas de socialización de los planes de gestión integral de estos residuos. así mismo se evidencia el valor que tiene incluir conceptos de química verde y el enfoque ecológico en la pedagogía de educación de asignaturas de tipo científico.

**Palabras Clave:** Residuos peligrosos, Impacto ambiental, laboratorios de docencia.

**Abstract:**

Good practice in teaching laboratories allow through a number of alternatives to mitigate the negative health and environmental impacts arising from the practical activity in educational laboratories. Students scientific careers such as engineering or health sciences require training based on courses that are part of the branches of science such as chemistry, physics, biology, medicine and others. This training is based on theoretical and practical teaching, where students apply their knowledge through experimental practices carried out in laboratories. These experimental practices require the use of chemical reagents, biological and similar materials when subjected to experimental processes are waste generators with significant pollutant loads and a lot

are considered hazardous due to its characteristics of corrosivity, reactivity, explosiveness, flammability, infectivity, radioactivity and toxicity.

Therefore a research project in the form of literature review where the strategies of good laboratory practice aimed at reducing the production of hazardous waste in university teaching labs and project implementation were evaluated in the UCM was performed. Through this work it was possible to identify the environmental impacts associated with the generation of hazardous and non-hazardous waste, for which alternatives were evaluated as green chemistry and pedagogical practices redesign of experimental ecological approach. Also through this work the state of the art laboratories UCM project towards good laboratory practice applied in the future to block the UCM labs analyzed.

The development of this work allowed to conclude the shortcomings of university institutions in terms of training students in the management of hazardous waste and the like, besides the shortage of socialization programs of comprehensive management plans for these wastes. likewise include the value concepts of green chemistry and ecological approach to education pedagogy subjects of a scientific nature is evident.

**Keywords:** Hazardous waste, environmental impact, teaching laboratories.



## **Introducción:**

El estudio de carreras científicas como ingenierías y/o ciencias de la salud, requieren en su metodología educativa una formación teórico-práctica, que brinda a los estudiantes la oportunidad de aplicar su conocimiento teórico a través de actividades experimentales, que permita a estos identificar y estudiar los fenómenos cotidianos a los que se van a enfrentar como profesionales en un área correspondiente.

En los laboratorios de docencia se desarrollan diversas actividades correspondientes al aprendizaje de asignaturas asociadas a la Química, Física, Biología, Medicina, entre otras, que requieren para su desarrollo el uso de sustancias y materiales que al someterse a procesos operativos requeridos por la actividad experimental, producen residuos de distintas naturalezas que desencadenan fuertes impactos sobre la salud y el medio ambiente.

El uso de reactivos químicos y materiales biológicos, trae consigo la generación de residuos peligrosos o no peligrosos, teniendo en cuenta que un residuo no peligroso no indica que sea inocuo. Ambos tipos de residuos son potenciadores de impactos ambientales significativos al agua, aire, suelo y a la salud del ser humano.

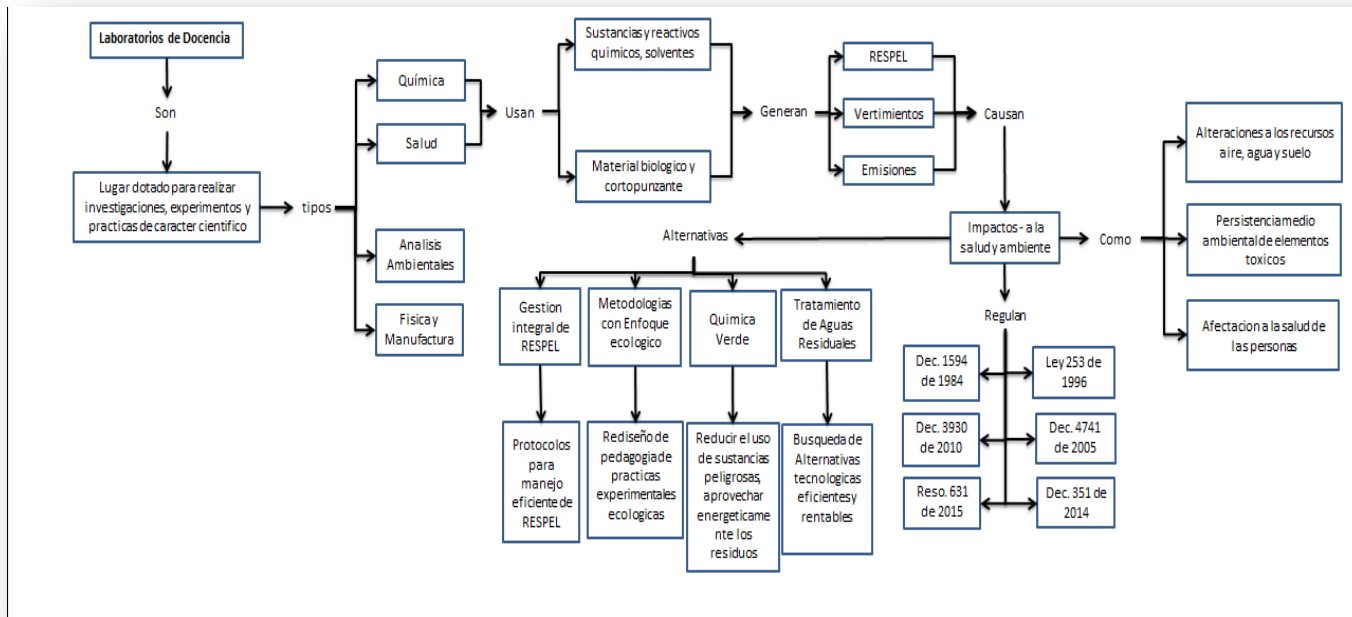
Según (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005) “la generación de RESPEL en instituciones educativas en el país es uno de los temas menos estudiados. La mayoría de laboratorios de ensayo y de prácticas de enseñanza media y superior no identifican y cuantifican sus RESPEL y no cuentan con sistemas de

tratamiento para sus desechos. Algunas instituciones se han preocupado por desarrollar estudios para el diseño de soluciones a estos residuos, sin embargo, se hace necesario que el país empiece a dimensionar y controlar la problemática en este sector”.

A lo anterior se suma que la disposición final de los residuos no peligrosos generalmente se realiza como vertimiento a las redes de alcantarillado, para lo cual debe cumplirse con los parámetros permisibles de vertimientos establecidos por el Decreto 1594 de 1984 en sus artículos 72° y 74°. (Decreto 1594, 1984)

Estos hechos llevan a evaluar las buenas prácticas de laboratorios de docencia universitaria a través de la revisión bibliográfica que permita identificar los problemas de impacto ambiental que se generan en los laboratorios de docencia de los centros universitarios, analizar las técnicas de mitigación y disminución de impactos ambientales negativos que se generan en los laboratorios de docencia y evaluar los impactos ambientales generados en las prácticas de laboratorio de docencia de la UCM y plantear alternativas para la disminución de esos impactos.

## Mapa Conceptual



# **1. Identificación de los Problemas de Impacto Ambiental que se Generan en los Laboratorios de Docencia de los Centros Universitarios.**

## **1.1. Problemática ambiental en los laboratorios de docencia universitaria.**

El estudio de carreras universitarias ligadas a las distintas ramas de la ciencia como la Química, Física, Biología, Medicina, entre otras requieren la aplicación del conocimiento teórico de los estudiantes a través de prácticas experimentales en laboratorios, que permita identificar y estudiar los fenómenos cotidianos a los que se van a enfrentar como profesionales en un área correspondiente.

A pesar de ser los laboratorios aulas de vital importancia para la formación académica de los estudiantes, es también el principal generador de residuos peligrosos en los centros universitarios, por la naturaleza de las sustancias y reactivos químicos necesarios para el desarrollo de las prácticas experimentales. Sumado a esto “por sus diferentes modalidades en las operaciones, se producen residuos de variadas composiciones y concentraciones” (Ramos Alvariño, Espinosa Lloréns, López Torres, & Pellón Arrechea, 2005).

Los residuos generados en laboratorios a pesar de presentarse en volúmenes relativamente bajos en comparación con la generación de residuos en la industria, encierran riesgos potenciales para la salud y el medio ambiente, por su variedad y principalmente por sus características de peligrosidad desde el punto de vista físico,

químico, toxicológico y medio ambiental. Sumado a esto, el manejo inadecuado de los residuos peligrosos en cuanto a su generación y acumulación en el laboratorio, su envasado y almacenamiento incorrecto, contribuyen al incremento de los ya mencionados riesgos potenciales. (Torres, García, & Castro, 2011)

La contaminación en los laboratorios de docencia no solo está asociada a la generación de residuos peligrosos, también se relaciona con las condiciones físicas del entorno. Según (Álvarez de Weldefort & Campuzano F., 2006) La Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca en Bogotá, Colombia, en busca de controlar la contaminación biológica en sus laboratorios de docencia universitaria, evaluó la presencia de patógenos en ambiente, equipos e individuos, a través de estudios microbiológicos. Para dicho estudio tomaron como muestra 11 laboratorios de docencia de sus instalaciones donde realizaron cultivos de medio ambiente para hongos y bacterias, analizando mesones, paredes, vertederos y equipos en cada uno de los laboratorios. Tras el estudio realizado los resultados arrojaron que en cuanto a contaminación ambiental se encontraron hongos en un 36% de los cultivos realizados, bacterias en un 40% de las muestras analizadas, donde bacterias patógenas solo se encontraron el 3% como *Enterobacter sp* y *E-coli*.. Estos resultados permiten tener una noción de que no solo en los laboratorios de docencia se generan residuos, sino también microorganismos que no pueden ser percibidos a simple vista pero sin embargo se acumulan allí generando contaminación al ambiente y provocando la posibilidad a los estudiantes y funcionarios de contraer una infección o enfermedades.

Se debe tener en cuenta además que mediante la actividad en el laboratorio se consumen altas cantidades de recursos como agua y energía. Un ejemplo del consumo de recursos dentro del laboratorio es la producción de agua destilada. Con el fin de garantizar la calidad de las prácticas experimentales es fundamental el uso de agua destilada para la dilución, el lavado de artículos de vidrio y la preparación de soluciones de reactivos, ya que la condición de pureza del agua destilada permite que las pruebas de laboratorio sean precisas, además de contribuir a la higienización de los materiales utilizados en los laboratorios. El procedimiento de destilación demanda gran cantidad de agua potable, donde la cantidad de agua destilada obtenida corresponde al 70% del agua potable consumida, representando un desperdicio de agua del 30%. Ahora bien, el gasto energético en la producción de agua destilada es muy significativo debido a que el condensador al realizar procesos de cambios térmicos su trabajo es mayor e incrementa el consumo energético (Hurtado, 2015).

Además del consumo de recursos para la preparación de un reactivo como el agua destilada, se suma el consumo energético en la operación de equipos y en el uso de iluminación artificial dentro de los laboratorios, así como la contaminación del recurso hídrico por el vertimiento de residuos químicos a los desagües y la contaminación atmosférica por emisión de gases tóxicos en laboratorios. Todo esto supone una afectación significativa de recursos naturales por los altos consumos y por la contaminación de los mismos.

## **1.2. Impactos Negativos a la Salud y el Medio Ambiente Generados en Laboratorios de Docencia.**

A pesar de que los riesgos en los laboratorios no solo se relacionan con la generación de residuos peligrosos, son estos los que representan un impacto más significativo sobre la salud y el medio ambiente. Es evidente que para la realización de alguna práctica de laboratorio se requiere el uso de sustancias, reactivos, soluciones, materiales biológicos, etc., que al encontrarse en el ambiente como residuos pueden causar alteraciones a los recursos naturales o a la salud de quienes manipulan estos.

Los **residuos peligrosos** como afirma (Galván Meraz & Bautista Andalón, 2010) “son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad; como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio.”

En los laboratorios se pueden generar dos tipos de residuos peligrosos, residuos químicos (metales pesados, hidrocarburos, solventes orgánicos, ácidos y bases, etc.) y residuos biológicos (sangre y productos derivados de la sangre, tejidos y órganos humanos, instrumentos punzocortantes, etc.), estos últimos también considerados infecciosos.

Dentro de los laboratorios también se generan impactos negativos por el vertimiento o emisión de residuos químicos líquidos o gaseosos que no necesariamente comprenden

características de peligrosidad, pero que pueden exceder las concentraciones permitidas por la normatividad Colombia de vertimientos sobre cuerpos de agua y emisiones a la atmosfera. Del mismo modo las actividades operativas dentro de los laboratorios de docencia se realizan de manera constante aproximadamente doce (12) horas diarias que implican un uso excesivo de recursos energéticos e hídricos aportando a la huella ecológica sobre el medio ambiente por parte de los laboratorios.

La tabla 1 describe de manera generalizada los impactos negativos a la salud y al medio ambiente producto de las actividades realizadas en los laboratorios educativos.

**Tabla 1. Impactos generados en laboratorios de docencia. (Elaboración Propia)**

| CAUSA                              | DESCRIPCION  | EFECTO   |
|------------------------------------|--|--|
| Generación de Residuos Peligrosos. | Desechos o residuos que presentan características de Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Inflamabilidad, toxicidad, Radioactividad e infecciosidad. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción de reacciones explosivas o detonantes.</li> <li>- Generación de gases, vapores y humos tóxicos.</li> <li>- Posibilidad de generación de incendios.</li> <li>-Daños a la infraestructura.</li> <li>- Daños a tejidos vivos como quemaduras o irritaciones.</li> <li>- transmisión de virus y enfermedades.</li> </ul> |



|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | - Contaminación de recursos naturales por el vertimiento y emisión de residuos tóxicos.  |
| Generación de Residuos Químicos no peligrosos.      | Residuos químicos líquidos o gaseosos derivados de las distintas actividades en laboratorios, y se caracterizan por ser residuos variados de distintas composiciones y concentraciones.  | - Alteración de las propiedades fisicoquímicas del agua por el vertimiento de residuos químicos a las redes de alcantarillado.<br>- Emisión de gases contribuyentes al efecto invernadero. |
| Operación continua en los laboratorios de docencia. | Operación aproximada de doce (12) horas diarias, durante los cuales se consume energía para el funcionamiento de equipos y la iluminación artificial del lugar, además del consumo de agua para higienización, producción de agua destilada. | - Consumo excesivo de energía.<br>- Consumo excesivo de agua.  |

A pesar de ser varios factores en los laboratorios causantes de impactos negativos a la salud y al medio ambiente, son los residuos peligrosos quienes representan un mayor problema, ya que la mayoría de las sustancias y reactivos utilizados mediante las prácticas experimentales en los laboratorios se transforman en residuos que por sus características se consideran peligrosos.

### **1.2.1. Características de los residuos peligrosos**

Según la legislación Colombiana en relación a la prevención y el manejo de los residuos peligrosos, en el Anexo III., del (Decreto 4741, 2005), clasifica y define las características de los residuos o desechos peligrosos, como:

**Corrosividad:** característica que hace que un residuo o desecho por acción química, pueda causar daños graves a los tejidos vivos que estén en contacto o en caso de fuga puede dañar gravemente otros materiales, y posee cualquiera de las siguientes propiedades: ser acuoso y presentar un pH menor o igual a 2 o mayor o igual a 12.5 unidades; ser líquido y corroer el acero a una tasa mayor de 6.35 mm por año a una temperatura de ensayo de 55°C.

**Reactividad:** es aquella característica que presenta un residuo o desecho cuando al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos tiene cualquiera de las siguientes propiedades: Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente cuando se mezcla con agua; poseer, entre sus componentes, sustancias tales como cianuros, sulfuros, peróxidos orgánicos que, por reacción, liberen gases,

vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente; ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados; aquel que produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, el agua o cualquier otro elemento o sustancia; provocar o favorecer la combustión.

**Explosividad:** Se considera que un residuo (o mezcla de residuos) es explosivo cuando en estado sólido o líquido de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que puedan ocasionar daño a la salud humana y/o al ambiente, y además presenta cualquiera de las siguientes propiedades: Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua; ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a temperatura de 25°C y presión de 1.0 atmósferas; ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico.

**Inflamabilidad:** Característica que presenta un residuo o desecho cuando en presencia de una fuente de ignición, puede arder bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, o presentar cualquiera de las siguientes propiedades: ser un gas que a una temperatura de 20°C y 1.0 atmósferas de presión arde en una mezcla igual o menor al 13% del volumen del aire; ser un líquido cuyo punto de inflamación es inferior a 60°C de temperatura, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen; ser un sólido con la capacidad bajo condiciones de temperatura de 25°C y presión 1.0 atmósfera, de producir fuego por fricción, absorción de humedad

o alteraciones químicas espontaneas y quema vigorosa y persistentemente dificultando la extinción del fuego; es un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.

**Infeccioso:** un residuo o desecho con características infecciosas se considera peligroso cuando contiene agentes patógenos; los agentes patógenos son microorganismos (tales como bacterias, parásitos, virus, rickettsias y hongos) y otros agentes tales como priones, con suficiente virulencia y concentración como para causar enfermedades en los seres humanos o en los animales.

**Radioactividad:** Se entiende por residuo radioactivo, cualquier material que contenga compuestos, elementos o isotopos, con una actividad radioactiva por unidad de masa superior a 70 K Bq/Kg (setenta kilo becquerelios por kilogramo) o 2 nCi/g (dos nanocuries por gramo), capaces de emitir, de forma directa o indirecta, radiaciones ionizantes de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia produce ionización en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo.

**Toxicidad:** se considera un residuo o desecho toxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente.

### 1.2.2. Sustancias Peligrosas más Comunes en Laboratorios de Docencia

La mayoría de los reactivos que son utilizados en los laboratorios químicos y los elementos utilizados en laboratorios de ciencias de la salud, presentan características de peligrosidad. En la tabla 2 se mencionan las sustancias químicas más comunes en los laboratorios de docencia.

**Tabla 2. Sustancias Peligrosas más Comunes. (Elaboración propia)**

| CARACTERÍSTICA<br>DEL RESIDUO | SUSTANCIAS MAS COMUNES  |
|-------------------------------|---|
| CORROSIVOS                    | Ácido Sulfúrico; Ácido Nítrico; Ácido Clorhídrico; Hidróxido de Sodio; Hidróxido de Potasio; Flúor; Cloro; Bromo; Yodo; Hipoclorito de Sodio; Peróxido de Hidrogeno; Fenol; entre otros.  |
| EXPLOSIVOS                    | Acetiluros; Hidracina; Nitrato de Amonio; Nitratos Orgánicos; Nitroglicerinas; Nitrotoluenos; Perclorato de Amonio; Peróxidos Orgánicos; Trinito-benceno; entre otros.                    |
| INFLAMABLES                   | Acetaldehído; Acetato de Etilo; Acetona; Benceno; Butanoles; Cloro metano; Cloruro de Acetilo; Di-sulfuro de Carbono; Etanol; Hexano; Metanol; 2-Propanol; Tolueno; entre otros.          |
| TÓXICOS                       | Anilina; Bromo; Cianuros; Cloro; Compuestos de Antimonio, Arsénico, Cromo y Selenio; Mercurio y sus compuestos; Fosforo; Sales solubles de Bario y Plata; Fenoles y Crisoles; entre otros |

|             |   |
|-------------|---|
| INFECCIOSOS | Materiales y medios de cultivo y Piezas anatomopatológicas utilizados en prácticas de Bacteriología. Corto-punzantes (Agujas, Bisturí, etc.). Sonda, catéter, jeringas. Gasas, apósitos, guantes, aplicadores. Componentes sanguíneos.(coágulos) Sangre hemoderivados |
|-------------|---|

### **1.3. Marco Normativo Aplicable a la Operación en los Laboratorios de Docencia.**

Los impactos negativos mencionados en la tabla 1 requieren de la aplicación de acciones que mitiguen dichos impactos a la salud y al medio ambiente, lo que ha llevado a los gobiernos de los países establecer normas que regulen como punto de partida la generación de agentes perjudiciales como los residuos peligrosos y el vertimiento de aguas residuales en este caso industriales.

Según afirma (Cano V., 2010) “A nivel mundial, en su gran mayoría, los países del mundo han acogido el Convenio de Basilea, que es el acuerdo internacional ratificado por 179 países para trabajar frente a los problemas y retos asociados con los residuos peligrosos. Colombia suscribió el Convenio de Basilea el 22 de Marzo de 1989 y lo ratifico mediante la ley 253 de 1996”. A continuación se realiza una pequeña descripción de la legislación vigente que aplica en el manejo de residuos peligrosos y vertimientos.

**Decreto 4741 de 2005:** Por el cual se reglamentan parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. El objeto del decreto 4741 de 2005 es la prevención de la generación de residuos peligrosos, así como regular el manejo de los mismos con el fin de proteger la salud humana y el ambiente; las disposiciones se aplican en el territorio nacional a las personas que generen, gestionen o manejen residuos o desechos peligrosos, razón por la cual los laboratorios de docencia deben dar cumplimiento a las disposiciones que allí se exponen. (Decreto 4741, 2005)

**Resolución 1164 de 2002:** Esta es una resolución conjunta entre el Ministerio del medio Ambiente y el Ministerio de Salud Colombiano, por la cual se adopta el Manual de Procedimientos para la Gestión Integral de los residuos hospitalarios y similares. A esta ley se adjunta el manual mencionado, donde los procedimientos, procesos, actividades y estándares allí establecidos, serán de obligatorio cumplimiento en conformidad con lo dispuesto en el Decreto 2676 de 2000 (Actualmente derogado por el Decreto 351 de 2014). (Resolución 1164, 2002)

**Decreto 351 de 2014:** Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Las disposiciones establecidas mediante el presente decreto aplican a las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que generen, identifiquen, separen, empaquen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen, traten o dispongan finalmente los residuos generados en desarrollo de las actividades relacionadas con: los servicios de atención en salud,

Bancos de sangre, tejidos y semen, centros de docencia e investigación con organismos vivos o cadáveres, entre otras actividades mencionadas en el artículo 2° del presente decreto. Este decreto deroga al decreto 2672 del 2000. (Decreto 351, 2014)

**Decreto 1594 de 1984:** se establecen las disposiciones en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Allí se establecen los parámetros actuales que deben cumplir los vertimientos a cuerpos de agua o al alcantarillado público, la carga máxima de las sustancias de interés sanitario, entre otras disposiciones más. A pesar de ser derogado por el Decreto 3930 de 201, algunos de sus artículos aún siguen vigentes, entre ellos los artículos 37° a 48°, criterios de calidad para destinación del recurso hídrico; artículos 72° a 79°, normas de vertimientos; artículos 155°, 156°, 158°, 160° y 161°, métodos de análisis y toma de muestras. (Decreto 1594, 1984)

**Decreto 3930 de 2010:** deroga el Decreto 1594 de 1894 salvo los artículos 20 y 21, en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Este decreto tiene como objeto establecer las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados. (Decreto 3930, 2010)

**Resolución 0631 de 2015:** Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.



La presente resolución establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público. (Resolución 631, 2015)

## **2. Las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) Como Alternativa de Mitigación y Disminución de Impactos Ambientales Negativos Generados en Laboratorios.**

### **2.1. Que son las Buenas Prácticas de Laboratorio.**

El concepto de BPL nace en Nueva Zelanda en el año 1972, donde aparece este concepto técnicamente como un “conjunto de normas y actividades relacionadas entre sí, destinadas a garantizar que los resultados analíticos producidos cumplan con las características de: exactitud, trazabilidad, seguridad, precisión y documentación.” (Mora Sandoval, 2013)

Este concepto va dirigido principalmente a la industria donde se realizan estudios químicos como la industria farmacéutica, industria cosmética, o industria de productos químicos, entre otras, donde se debe garantizar la calidad de sus productos y que no sean nocivos para la salud y el medio ambiente.

En el caso de los laboratorios de docencia este principio se desvía un poco de su concepto de origen, ya que las prácticas aquí realizadas se encuentran diseñadas con el propósito de que los estudiantes apliquen sus conocimientos y fortalezcan su aprendizaje, donde es evidente que existe un porcentaje de error en los procedimientos realizados por parte de los mismos pero que hacen parte del aprendizaje. Sin embargo en este trabajo se toman las Buenas Prácticas de Laboratorio como las alternativas que permitan mitigar los impactos ambientales que surgen del trabajo experimental en

laboratorios por el manejo inadecuado de recursos naturales y la contaminación de estos por efectos de sustancias, elementos, compuestos, por lo general considerados peligrosos; además de involucrar dentro de las BPL la aplicación de normas de seguridad para el trabajo en laboratorios y garantizar las condiciones óptimas de las instalaciones y equipos necesarios para el adecuado uso de los laboratorios docentes e investigativos.

## **2.2 Manejo Eficiente de Residuos Peligrosos.**

Generalmente las actividades de la industria, las compañías comerciales, las instituciones, entre otras, son generadores de residuos ya sean peligrosos o no peligrosos, pero en ambos casos son perjudiciales para el medio ambiente y por ende se involucra también la salud del ser humano. Esto implica que las actividades mencionadas dentro de sus organizaciones cuenten con un plan de gestión integral de residuos, y así adoptar medidas necesarias para las actividades de prevención, reducción, separación, acopio, transporte, aprovechamiento, tratamiento, entre otras actividades que reduzcan la contaminación por la generación de residuos.

Como se ha mencionado en el desarrollo de esta investigación, los laboratorios de docencia en centros universitarios son generadores de residuos con características de peligrosidad y que con mayor razón requieren de un adecuado manejo. Por esta razón la legislación Colombiana en el Decreto 4741 de 2005 “reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.”

### **2.2.1. Segregación de residuos generados en laboratorios.**

En los laboratorios de docencia un punto clave para el manejo de los residuos es el proceso de segregación debido a que allí se manejan una gran cantidad de residuos de distinta naturaleza y que no pueden ser tratados todos de la misma manera, y en el peor de los casos si se llegan a mezclar residuos de distintas características se puede presentar incompatibilidad entre estos ocasionando accidentes. Ahora bien (Mera Benavides, Andrade Vivas, & Ortiz Sarria, 2009) recomiendan que “la mejor manera de evitar accidentes, lograr aprovechar los residuos y bajar los costos de tratamiento y disposición final es clasificar los residuos, primero por asignaturas de laboratorio y, luego, recolectarlos por cada una de las practicas o actividades realizadas en los diferentes procesos de docencia, investigación y de servicios desarrollados dentro del mismo laboratorio.”

Este procedimiento permite identificar cuáles son las fuentes generadoras de residuos y qué prácticas de laboratorio representan picos en la generación de residuos peligrosos, además esto permite almacenar y etiquetar los residuos con respecto a una práctica y asignatura específica logrando así optimizar el orden en los laboratorios y obtener un mayor provecho de los residuos que pueden ser reutilizados. En caso de no poder reutilizar los residuos, se puede identificar fácilmente cuales residuos deben ser tratados, cómo se deben tratar y cuáles deben entregarse a empresas encargadas de la disposición final de residuos.

La alternativa planteada por (Mera Benavides, Andrade Vivas, & Ortiz Sarria, 2009) “clasifica y recolecta los desechos químicos dentro del laboratorio en grupos y subgrupos. Los grupos principales para la recolección de los desechos químicos se encuentran clasificados primero por asignatura o actividad de laboratorio, las cuales se identifican por siglas”. Esta clasificación se expone en la tabla 3

**Tabla 3. Segregación por asignaturas. (Mera Benavides, Andrade Vivas, & Ortiz Sarria, 2009)**

| <b>Grupo</b> | <b>Laboratorio</b>             | <b>Siglas</b> |
|--------------|--------------------------------|---------------|
| I            | QUÍMICA ANAL Química analítica | LA            |
| II           | Fisicoquímica                  | LF            |
| III          | Química sanitaria              | LS            |
| IV           | Química ambiental              | LM            |
| V            | Tesis y servicios externos     | LTS           |
| VI           | Procesos unitarios             | LPU           |
| VII          | Operaciones unitarias          | LOU           |

Generalmente en el almacenamiento y envasado de residuos generados en laboratorios se realiza en recipientes de polietileno, ya sean los residuos líquidos o sólidos como recomienda (Mera Benavides, Andrade Vivas, & Ortiz Sarria, 2009). Con la metodología de segregación mencionada se envasan los residuos por separado con el adecuado etiquetado donde se debe tener información exacta del nombre del residuo o compuestos del residuo, la práctica de laboratorio en que se generó el residuo, la asignatura a la que corresponde la práctica, el estado físico y por ultimo llevar el

pictograma que indica la característica de peligrosidad del residuo. La Ilustración 2 presenta los pictogramas con los cuales se permite identificar la clasificación de los residuos según sus características.

**Ilustración 1. Pictogramas de clasificación de residuos peligrosos. (Mera Benavides, Andrade Vivas, & Ortiz Sarria, 2009)**



A través de este proceso se hace más fácil la toma de decisiones en cuanto al manejo de residuos, ya que tener de manera organizada almacenados los residuos y con un rotulado que brinde la información suficiente de este, permite conocer el residuo e identificar el paso a seguir con el mismo.

### **2.2.2. Técnicas de tratamiento, eliminación y recuperación de residuos generados en laboratorios.**

Dentro de la gestión de los residuos generados en los laboratorios de docencia, la segregación de estos da el punto de partida para la ejecución de alternativas que permitan la reutilización, recuperación valorización o aprovechamiento de los residuos según las características de los mismos. No todos los residuos generados en el laboratorio presentan características de peligrosidad y hace más fácil la eliminación o recuperación de estos, sin embargo en el caso de aquellos residuos que son considerados peligrosos existen tratamientos destinados a reducir la peligrosidad del residuo o acondicionarlo para su eliminación. (Publicaciones Vértice, 2008)

Por lo anterior y en el caso de los residuos peligrosos, (Villanueva Tagle, Torres Pérez, & García Fernández, 2010) menciona que los métodos para reducir la peligrosidad de los residuos se basan principalmente para agentes químicos en procesos de neutralización, oxidación, precipitación, floculación y decantación, concentración y deshidratación, e hidrolisis. Para el tratamiento de residuos hospitalarios también generados en laboratorios de docencia se realizan operaciones de degradación e inertización, que son encaminadas a eliminar características peligrosas para la salud y el medio ambiente.

Según (Wei, 2014) “tratar un desperdicio implica cambiar las características físicas, químicas o biológicas de ese desperdicio. Puede ser tratado un desperdicio para hacerlo menos corrosivo o tóxico, o se puede estar tratando de reducir su volumen.

Incluso si alguien solo está tratando de obtener energía del residuo quemándolo, sería considerado como tratado.”

(Villanueva Tagle, Torres Pérez, & García Fernández, 2010) Describe que lo ideal tras aplicar algún método de tratamiento para residuos peligrosos, se resume en que, se ha de eliminar la característica peligrosa de un residuo químico, la destrucción del producto químico ha de ser completa y los productos obtenidos de la destrucción del residuo sean inocuos (de no ser así, se debe evaluar el riesgo químico o biológico de los productos de descomposición).

Una vez destruida o eliminada la característica peligrosa de los residuos se procede a seleccionar el método de eliminación o recuperación de los mismos. Para dicha selección se debe tener presente que aunque un residuo ya no posea característica de peligrosidad, contiene otras características que a su vez son distintas a las de otros residuos, además de producirse en cantidades variables, por lo cual se debe seleccionar un método específico para ciertas características y volúmenes.

Para el tratamiento de residuos peligrosos es necesario la realización de una adecuada segregación de los mismos, con el fin de identificar cuáles de estos residuos no pueden ser tratados y requieren de un almacenamiento y disposición final especializada, o identificar el tratamiento pertinente para las características del residuo. Según (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013) de la Universidad



Católica de Manizales hay dos tipos de tratamiento de residuos, tratamiento físico o tratamiento Químico y los describe así:

**Tratamiento Físico:** se aplica para separar diferentes fases o sustancias y poder tratarlas por separado o inmovilizarlos. Modifica las propiedades físicas del RESPEL y permite eliminar los componentes tóxicos que se encuentran disueltos o suspendidos. La tabla 4. Describe de manera puntual los tratamientos físicos más comunes.

**Tabla 4. Tratamiento Físico Residuos. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013)**

| TIPO DE TRATAMIENTO       | DESCRIPCIÓN   |
|---------------------------|---|
| <b>SEPARACIÓN MANUAL</b>  | Elimina residuos seleccionados mediante inspección visual |
| <b>CRIBADO Y TAMIZADO</b> | Elimina el material grueso                                |
| <b>SEDIMENTACIÓN</b>      | Asienta los sólidos para separarlos del líquido           |
| <b>DECANTACIÓN</b>        | Elimina el contenido del agua                             |
| <b>CENTRIFUGACIÓN</b>     | Elimina el contenido del agua                             |
| <b>FILTRACIÓN</b>         | Separa mezclas heterogéneas de sólidos y líquidos         |
| <b>ABSORCIÓN</b>          | Adhiere contaminantes sobre superficies controladas       |
| <b>LAVADO DEL SUELO</b>   | Extrae contaminantes solubles                             |
| <b>SECADO DEL LODO</b>    | Elimina líquidos retenidos en los lodos                   |

**Tratamiento Químico:** Alteran la naturaleza interna de los constituyentes peligrosos por medio de reacciones químicas, en la mayoría de los casos eliminando la peligrosidad del residuo. La tabla 5. Describe de manera puntual los tratamientos químicos más comunes.

Tabla 5. Tratamiento Químico. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013)

| TIPO DE TRATAMIENTO  | DESCRIPCIÓN   |
|--|---|
| REDUCCIÓN Y OXIDACIÓN QUÍMICA  | Utiliza agentes oxidantes y reductores para transformar los componentes             |
| NEUTRALIZACIÓN   | Neutraliza el pH  |
| PRECIPITACIÓN  | Separa los componentes peligrosos de la solución                                    |
| DECLORACIÓN  | Elimina el cloro de los materiales orgánicos  |
| HIDRÓLISIS   | Separa los componentes añadiendo agua   |
| ELECTROLISIS   | Separa los compuestos químicos mediante descarga eléctrica                          |
| EXTRACCIÓN DE SOLVENTES<br>SEPARACIÓN DE LA MEMBRANA -<br>SEMIPERMEABLES | Utiliza un solvente inmisible para disolver material orgánico en la solución acuosa |
| FLOCULACIÓN Y COAGULACIÓN  | Agrega componentes puros  |
| “STRIPPING” / DESORCIÓN  | Separa los componentes volátiles del líquido, sometiéndolos a una corriente de gas  |
| LIXIVIACIÓN  | Elimina los componentes solubles del material sólido                                |
| IRRADIACIÓN DE UVA/ OZONÓLISIS   | Separa los componentes peligrosos mediante ozono/energía                            |
| INTERCAMBIO DE IONES   | Intercambio con especies iónicas disueltas mediante el contacto con resina          |

Para la eliminación o recuperación de residuos químicos (Águila Hernández , Hereira Díaz, & Primelles Alberteris, 2005), describe los métodos utilizados comúnmente:

**Vertido:** Recomendable para residuos no peligrosos y residuos peligrosos (previamente tratados). El vertido se puede realizar directamente a las aguas residuales o bien a un vertedero. **Por ejemplo:**

- Haluros de Ácidos orgánicos: añadir  $\text{NaHCO}_3$  y agua. Verter por el desagüe.
- Sales inorgánicas: añadir un exceso de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y agua, dejar en reposo 24 horas, neutralizar con HCl, verter al desagüe.
- Peróxidos inorgánicos: diluir, verter al desagüe.

**Incineración:** Los residuos son quemados en un horno y reducidos a cenizas. Es un método muy utilizado para eliminar residuos de tipo orgánico y material biológico. debe controlarse la temperatura la toxicidad de los humos producidos en las instituciones educativas no se justifica a instalación de un incinerador debido a que el volumen de los residuos generados en un laboratorio de docencia no es tan significativo como lo es en la industria o centros hospitalarios. Para ello existen empresas que se dedican a la recolección e incineración de residuos y prestan este servicio a los laboratorios universitarios que lo requieran. **Por ejemplo:**

- Compuestos orgánicos halogenados: absorber sobre vermiculita, arena o bicarbonato, incinerar.
- Hidrocarburos, alcoholes, cetonas, esterres: mezclar con un disolvente inflamable, incinerar.
- Ácidos orgánicos: mezclar con papel o con un disolvente inflamable, incinerar.

**Recuperación:** Este procedimiento consiste en efectuar un tratamiento al residuo que permita recuperar algún o algunos elementos o sus compuestos que su elevado valor de toxicidad hace aconsejable no eliminar. Especialmente indicado para los metales pesados y sus compuestos. **Por ejemplo:**

- Desechos metálicos: recuperar y almacenar (según costes)
- Mercurio compuestos: disolver y convertirlos en nitratos solubles, precipitarlos como sulfuros, recuperar.
- Disolventes halogenados: destilar y almacenar.

**Reutilización – Reciclado:** una vez recuperado un compuesto, la solución ideal es su reutilización o reciclado, ya que la acumulación de productos químicos sin uso previsible en el laboratorio no es recomendable.

Para la eliminación de residuos biológicos generados en laboratorios universitarios, se requiere la aplicación de distintos métodos de eliminación con respecto a la eliminación de residuos químicos. Para este tipo de residuos se busca eliminar el potencial infeccioso, reducir el volumen de los residuos e impedir el reusó de estos. (Monge, 2000), describe los tratamientos más utilizados para los residuos hospitalarios así:

**Incineración:** como se mencionó en el tratamiento de residuos químicas, este método se aplica también a la eliminación de material biológico con el fin de oxidar el carbón y el hidrogeno presente en estos residuos hospitalarios. La ventaja de este método es la

reducción del volumen y masa del material y la posibilidad de recuperar energía para generar vapor o electricidad.

**Esterilización a vapor autoclave:** en el tratamiento por autoclave, los residuos se exponen a altas temperaturas mediante la inyección de vapor y alta presión, lo que permite destruir patógenos.

**Microondas:** en este tipo de tratamiento, los residuos se trituran y se les inyecta vapor para asegurar la absorción uniforme del calor, en ese estado, son impulsados a través de una cámara donde son expuestos a las microondas. Las ventajas del método son su bajo consumo de energía, deja irreconocibles los residuos y la descarga de efluentes es insignificante.

A pesar de que estos métodos existen hace más de 20 años son los más efectivos y comúnmente utilizados, de hecho en el año 2011 el Hospital Nacional Hipólito Unánue, (Perú), se proyectó la instalación de un sistema de tratamiento de los residuos biocontaminados por medio de una autoclave para dicho año, y así optimizar el manejo de residuos sólidos hospitalarios de este hospital. (Hospital Nacional Hipólito Unánue, 2011).

### **2.3 Vertimientos de Residuos Líquidos Peligrosos**

(Ramos Alvariño, Espinosa Lloréns, López Torres, & Pellón Arrechea, 2005) Afirman que los residuos líquidos generados en los laboratorios suponen un problema por la

variedad de residuos en su composición y concentración, que se derivan de las diferentes modalidades de operación que allí se realizan por medio de las prácticas experimentales, siendo difícil determinar una alternativa de tratamiento para las aguas residuales de tipo industrial que reduzca su carga contaminante.

Como se ha mencionado en el subcapítulo 2.5 algunos de los residuos peligrosos generados en laboratorios pueden ser sometidos a tratamientos de tipo físico o químico con el fin de reducir su volumen o disminuir la toxicidad del mismo, otros residuos por ser más peligrosos solo deben ser almacenados y no someterse a algún tipo de tratamiento. La mayoría de los residuos generados en laboratorios de docencia se encuentran en estado líquido, por ende una vez tratados los residuos peligrosos líquidos tratables son dispuestos junto a los residuos no peligrosos a través del vertido por las redes de alcantarillado.

Lo mencionado anteriormente no quiere decir que por el tratamiento aplicado a los residuos peligrosos estos se conviertan en residuos inocuos, ya que al ser aguas residuales derivadas de la actividad química, se consideran como vertimientos industriales, lo que indica que estas aguas aun contienen cargas contaminantes que a concentraciones excesivas son perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

En Colombia el decreto 1594 de 1984, derogado por el decreto 3930 de 2010 excepto algunos artículos, regula el vertimiento de residuos líquidos domésticos e industriales, razón por la cual las autoridades ambientales se encargan de la vigilancia del

cumplimiento de esta normativa, además de imponer las multas pertinentes para quienes no cumplan los parámetros aquí dispuestos.

Las deficiencias en cuantificación e identificación de residuos líquidos sumado la variedad de residuos derivados de las distintas modalidades de operación en laboratorios como se mencionó en párrafos anteriores, dificultan establecer un tratamiento adecuado para el vertimiento de residuos líquidos generados en los laboratorios de docencia, y así cumplir con los parámetros establecidos por la legislación. A pesar de este hecho una adecuada segregación de los residuos químicos peligrosos o no peligrosos, tratables o no tratables, facilita el tratamiento de los vertimientos. Algunas investigaciones se centran en alternativas tecnológicas para el tratamiento de aguas residuales industriales generadas en laboratorios.

(Gil Solano, 2012) En su estudio sobre el Tratamiento electroquímico para la remoción de metales pesados en residuos líquidos peligrosos generados en los laboratorios de docencia de la Universidad del Cauca, tiene como objeto evaluar el procedimiento de Electrodeposición para la remoción de Cromo (VI) y Plata (I) presentes en soluciones sintéticas y muestras aproximadas de residuos líquidos peligrosos, utilizando una metodología sencilla y económica. En esta investigación se trabajó con el equipo de prueba de jarras, el cual se adaptó como celda electrolítica de una capacidad de 2 litros, con electrodos de cobre como cátodo y zinc como ánodo. Las soluciones sintéticas trabajadas fueron dicromato de potasio y nitrato de plata a concentraciones máximas y mínimas de 150 mg/l y 50 mg/l respectivamente. Allí se evaluaron

parámetros como, el porcentaje de remoción, concentración, pH y tiempo de hidrólisis. Como resultado se obtuvo un porcentaje de remoción del 95% para el cromo (VI) y del 29% para la plata (I), pH de 0.5 unidades en el cromo (VI) y 0.2 unidades para la plata (I), y un tiempo de hidrólisis de 30 minutos para ambos, siendo estos, los valores óptimos obtenidos de los parámetros para electrodeposición.

(Cardozo Miño, 2012) En su trabajo investigativo “Evaluación de la Fotocatálisis heterogénea UV/TiO<sub>2</sub> y Fenton heterogéneo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup>/carbón activado en el tratamiento del agua residual de laboratorios de microbiología”, comparte que los procesos de oxidación avanzada son ampliamente reconocidos por su eficiencia en el tratamiento de aguas residuales que contienen contaminantes persistentes. En su labor investigativa este autor estudio las aguas residuales generadas en tres laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana, donde se evaluó la remoción de materia orgánica en términos de DQO (Demanda Química de Oxígeno), COT (Carbono Orgánico Total), UC (Unidades de Color) e inactivación de algunos microorganismos presentes. En la caracterización inicial de las aguas de estudio se identificó que los valores de los parámetros ya mencionadas superan los límites de vertimientos estipulados por la normativa. Según los resultados obtenidos en la investigación del autor referenciado, se observó que la fotocatalisis fue eficiente en la remoción de UC, DQO y COT con porcentajes de 99,5%, 76,7% y 79,5% respectivamente, además de una inactivación del 100% de las poblaciones de microorganismos evaluadas. Por lado del Fenton no inactivo totalmente uno de los



grupos bacterianos trabajados (74%) así mismo el tratamiento únicamente removió el 51% de UC, 59,3% de DQO y 56,6% de COT.

#### **2.4. El principio de Química Verde o Sostenible.**

La química verde como afirma (Benavides Benavides, Vargas González, Chaves Barbozal, & Rodríguez Corrales, 2012) surge como una alternativa de prevención de la contaminación al medio ambiente por parte de la industria en la década del 90, gracias a la preocupación generada décadas atrás por el notorio crecimiento económico y a su vez industrial el cual era adverso a la idea que se tuviese de proteger al medio ambiente. Esta preocupación llevó a que los entes gubernamentales tomaran medidas en pro de proteger el medio ambiente y de ese modo no comprometer las generaciones venideras, siendo así como nace el concepto de desarrollo sostenible el cual impulso a la Oficina de Prevención de la Contaminación y Sustancias Tóxicas de la Environmental Protection Agency EPA, a enfocarse en la búsqueda de alternativas para disminuir el peligro procedente de productos y procesos químicos a la salud y al medio ambiente, siendo así como en 1991 se pone en marcha en los Estados Unidos el programa modelo *“Rutas Sintéticas Alternativas para la Prevención de la Contaminación”* y consiguiendo de este modo dar paso al principio de Química Verde o Sostenible.

“la Química Verde tiene como objetivo el diseño de productos o procesos que reduzcan o eliminen el uso o la producción de sustancias peligrosas para el ser humano y el medio ambiente”. (Benavides Benavides, Vargas González, Chaves Barbozal, & Rodríguez Corrales, 2012)

Este principio no solamente se enfoca a prevenir la contaminación por sustancias químicas, también potencia el desarrollo de energías renovables, reducir costos de tratamiento de los residuos generados, el cambio de hidrocarburos fósiles por biocombustibles, entre otras alternativas que permitan conservar el medio ambiente.

#### **2.4.1. Los 12 principios de la química verde.**

Los miembros de la agencia de protección ambiental de los Estados Unidos, Paul Anastas y John C. Warner desarrollaron doce principios de la química verde en su libro “*Green Chemistry: Theory and Practice*” de donde , se basan para describir los 12 principios así:

- 1. Prevención:** Es mejor prevenir, desde el principio y en cualquier proceso, la generación de residuos que eliminarlos una vez que se han creado.
- 2. Economía Atómica:** La idea se basa en el diseño de métodos sintéticos en los que la incorporación al producto final de todos los materiales usados en la síntesis sea la mayor posible. Esto provoca que los pasos necesarios para la obtención de una de una sustancia sean lo más selectivo posible y se minimice la formación de subproductos y, por tanto, de residuos.
- 3. Uso de tecnologías más seguras:** Siempre que sea posible, los métodos de síntesis deberán diseñarse para utilizar y generar sustancias

que tengan poca o ninguna toxicidad, tanto para el hombre como para el medio ambiente.

- 4. Diseño de productos químicos más seguros:** Los productos químicos deberán diseñarse para efectuar la función deseada, reduciendo al mínimo su toxicidad.
- 5. Uso de disolventes y productos auxiliares más seguros:** El uso de sustancias auxiliares, como por ejemplo, disolventes, agentes de separación, grupos protectores, etc., deberán reducirse e incluso, si es posible, eliminarse. En caso de ser necesarios deberán ser lo menos agresivos con el medio ambiente.
- 6. Eficiencia energética:** Los requerimientos energéticos deberán clasificarse por su impacto medioambiental y económico, reduciéndose todo lo posible la incidencia en el medio ambiente y los costes de producción. Se intentaran llevar a cabo los métodos de síntesis a temperatura ambiente y presión atmosférica.
- 7. Uso de materias primas renovables:** Las materias primas deben ser preferentemente renovables en lugar de no renovables, siempre que, desde el punto de vista técnico y económico, sea posible.
- 8. Reducción de derivados:** La formación de derivados debe ser reducida al mínimo o, si es posible, evitarla, porque esto requiere reactivos y disolventes adicionales que generan más residuos.

- 9. Catálisis:** Es preferible potenciar el uso de catalizadores lo más selectivos posible, frente al empleo de reactivos en cantidades estequiométricas.
- 10. Degradación controlada:** Los productos químicos deberán diseñarse de modo que en el final de su vida útil no persistan en el medio ambiente y se degraden de forma controlada.
- 11. Análisis en tiempo real para la prevención de la contaminación:** Se desarrollan al máximo los procedimientos y metodologías analíticas que permitan monitorizar y controlar en tiempo real la formación de sustancias potencialmente peligrosas.
- 12. Reducción del potencial de accidentes químicos:** Se elegirán las sustancias para la realización de los procesos químicos de forma que se minimicen los riesgos de accidentes químicos, incluidas las emanaciones, explosiones e incendios.

Estos principios se aplican tanto al sector industrial asociado a ramas de la química, y al desarrollo de actividades prácticas en laboratorios de docencia e investigación. Esto se aplica en los centros universitarios con el objetivo de lograr la reducción de residuos peligrosos derivados de la manipulación de sustancias químicas y material biológico causante de efectos adversos al medio ambiente, a través de la mejora de procesos, sustitución de materiales de características peligrosas, reducción costos de tratamiento y en recursos con la aplicación de nuevas alternativas, entre otras, sin olvidar también

la importancia que tiene el desarrollo de energías renovables eficientes que contribuyan al medio ambiente y a la reducción de costos.

(Karpudewan, Ismail, & Mohamed, 2011) En su publicación informa sobre la integración de la química verde y conceptos del desarrollo sostenible, en un curso de métodos de enseñanza existentes para la química dictado a docentes universitarios, con el objetivo de introducir estrategias pedagógicas para la enseñanza de la química a nivel universitario sin alejarse del concepto de desarrollo sostenible para el cual la química verde logra ser incorporada dentro del plan de estudios de los estudiantes.

## **2.5. El enfoque ecológico en las prácticas de laboratorio como nueva metodología de educación en universidades.**

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo las actividades de docencia e investigación trae consigo la generación de impactos negativos a la salud y al medio ambiente por lo que se ha hecho necesario la aplicación de buenas prácticas de laboratorio. Ya que la mayoría del personal que hace uso de los laboratorios de docencia son estudiantes es importante involucrarlos en las labores de mitigación de impactos ambientales que allí se generan. Siendo los centros educativos o que administran los laboratorios los responsables del manejo integral de los residuos generados, contribuye crear un sentido de responsabilidad en los estudiantes que aporte tanto a la formación profesional de estos como al cumplimiento correcto de los alcances propuestos en los planes de gestión integral de residuos peligrosos y similares.

Por dicha razón los centros universitarios deben rediseñar su metodología de enseñanza en áreas de la ciencia y la medicina, donde el trabajo práctico sea motivado a mitigar impactos ambientales y realizar un adecuado manejo de recursos utilizados en laboratorios.

Lo primero que se debe tener en cuenta es que en el mayor de los casos los estudiantes no conocen el tipo de elementos y sustancias con los que trabaja, y por ende no percibe los riesgos inherentes a estos para el medio ambiente y la salud humana. Este hecho conlleva inicialmente al desarrollo de programas de capacitación a los estudiantes donde ellos puedan conocer a fondo los factores presentes en los laboratorios que influyen a ocasionar impactos negativos. La idea con esto es que a la hora de realizar trabajos en el laboratorio tengan claro qué clase de sustancias están utilizando, que características tienen las mismas y que efecto puede ocasionar el mal manejo de estas sustancias y sus residuos, y así ellos mismos logren dimensionar el cuidado que deben tener con los elementos acá presentes y cómo deben proceder para la adecuada disposición de los residuos generados. También con la aplicación de esta metodología de capacitación los estudiantes tendrán claridad en las normas de seguridad para el trabajo en el laboratorio y conozcan los pasos a seguir en caso de que ocurra un accidente en este lugar de trabajo.

Como acto seguido es importante que los centros universitarios por medio de las facultades en ciencias diseñen prácticas de laboratorio que vayan dirigidas a la solución de problemas ambientales, es decir, que se entregue un problema de la vida

real de contaminación por la presencia de agentes químicos o biológicos, y que los procesos guiados a través de la práctica conlleven a solucionar dicho problema de contaminación de manera experimental. Este enfoque además de generar un sentido de responsabilidad ambiental a los estudiantes, permite que los mismos desarrollen su capacidad de observación crítica que permite a los estudiantes proponer ideas propias, permitiendo esto la formación de profesionales innovadores y responsables con el medio ambiente.

Por último los centros universitarios deben contar con un plan de manejo de residuos peligrosos en los laboratorios, el cual debe ser conocido por los estudiantes quienes terminadas sus actividades prácticas deben realizar el adecuado almacenamiento, tratamiento y/o disposición final de los residuos que generen ya que estos son responsabilidad de quien los genera.

La educación ambiental toma fuerza algunos años atrás por la crisis ambiental que se está viviendo actualmente, sin embargo se habla de educación ambiental desde hace más de 30 años. La Unesco en 1980 afirma: “La característica más importante de la educación ambiental consiste en que apunta a la resolución de problemas concretos. Se trata de que individuos... perciban claramente los problemas que coartan el bienestar individual y colectivo, diluciden sus causas y determinen los medios que pueden resolverlos.” (Zulmalacárregui de Cárdenas, Mondeja González, & Parra Rodríguez, 2009)

Muchos centros educativos han iniciado labores de implementación de esta metodología, en algunos casos se han realizado a través de aula-taller con los estudiantes pruebas para la implementación definitiva de la educación ambiental en laboratorios de docencia.

(Osicka, Benitez, Blanes, Herrera Ahuad, & Giménez, 2005) menciona que en la cátedra de Química Analítica General, de la Facultad de Agroindustrias de la Universidad Nacional del Nordeste U.N.N.E., a través de la estrategia Aula-Taller se trabajó con los alumnos y se diseñó una guía o primera versión del Manual sobre Manejo de residuos Químicos. Para el desarrollo de este Manual se dividió el proceso en dos etapas. En la primera etapa el equipo de docentes y estudiantes adscritos a la cátedra trabajaron en la recopilación y en la elaboración de procedimientos para el manejo de residuos. Posterior a esto la segunda etapa se trabajó con 84 alumnos, donde a través de la estrategia de Aula-Taller los alumnos trabajaron por equipos en guías seleccionadas gracias a la primera fase del proyecto. Este trabajo abordó la realidad con un enfoque holístico que exigió un trabajo grupal en busca de generar un intercambio de ideas como fuente de construcción del conocimiento científico. Lo anterior permitió que fueran los estudiantes quienes en colaboración con los docentes, confeccionaran la primera versión del Manual sobre el Manejo de Residuos Químicos. Los aspectos trabajados en el Aula-Taller fueron la gestión, clasificación, tratamiento, neutralización, recuperación y/o eliminación de residuos químicos empleados en cada trabajo práctico en los laboratorios.

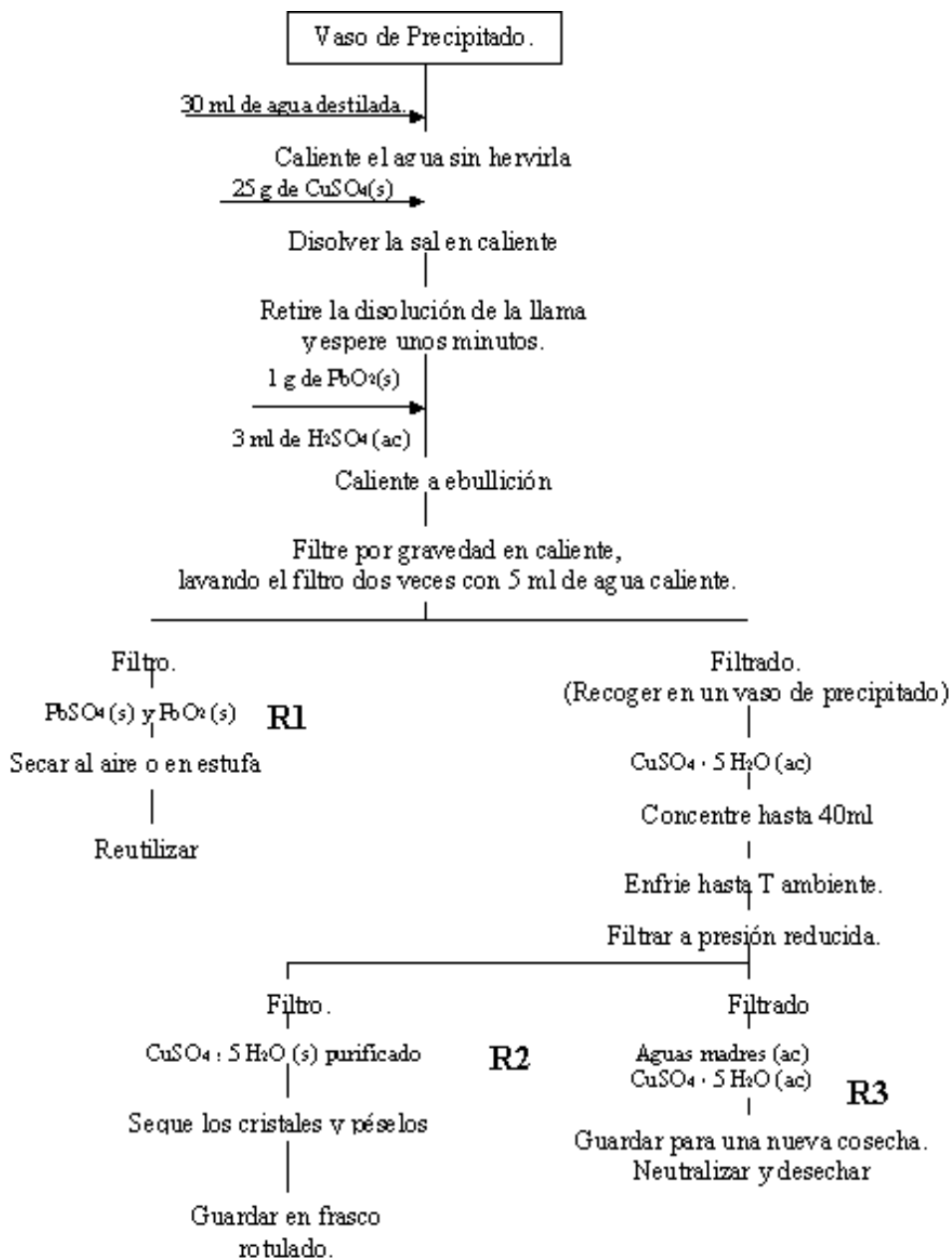


Describe (Torres, García, & Castro, 2011) otro caso real de la aplicación del enfoque ecológico en la realización de prácticas de laboratorio, es el proceso realizado en la Facultad de Química de la Universidad de la Habana. En la asignatura de Química General las prácticas de laboratorio han sido diseñadas mediante el método de aprendizaje basado en problemas, por medio de este método los estudiantes deben “resolver experimentalmente los problemas científicos orientados, construir los diagramas de flujo ecológico, y analizar la toxicidad de los reactivos, productos y residuales generados durante el trabajo práctico”. Dentro de esta aplicación los estudiantes deben seguir las normas de seguridad y protección con sustancias tóxicas, y tomar las medidas establecidas para minimizar la afectación de estos al medio ambiente, actuando de manera responsable.

(Villanueva Tagle, Torres Pérez, & García Fernández, 2010) Afirma que “El diagrama de flujo ecológico resume, de forma esquemática, las diferentes operaciones necesarias para llevar a cabo en el laboratorio una técnica experimental dada”. Allí se representan procesos de separación como filtración, destilación, extracción; además se identifican y se señalan dentro del diagrama las sustancias tóxicas y para los residuos generados se debe especificar la composición de cada uno, su tratamiento posterior, y se señala la disposición final más conveniente para los mismos. La Ilustración 1 es un ejemplo de la construcción de un diagrama de flujo ecológico para una práctica de laboratorio específica, donde se ven representados los procesos a llevar a cabo durante la práctica experimental donde se incluyen procesos de separación,

tratamiento, reutilización y almacenamiento de residuos generados a través del proceso realizado.

Ilustración 2. Ejemplo del diagrama de flujo ecológico. (Torres, García, & Castro, 2011)



### **3. Buenas Prácticas de Laboratorio en la UCM.**

#### **3.1. Los Laboratorios de la UCM.**

En la actualidad la UCM cuenta con la infraestructura apropiada en laboratorios necesarios para el desarrollo de los estudiantes pertenecientes a programas académicos de la Facultad de Ciencias de la Salud, y de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. La mayoría de laboratorios se encuentran ubicados en el Bloque B de la UCM que pertenece a la Facultad de Ciencias de la Salud, además de ser esta facultad quien administra los mismos a través del Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, el cual es el encargado de establecer la disponibilidad de los laboratorios y suministrar los equipos y reactivos necesarios para llevar a cabo una práctica experimental, así como también son encargados de establecer las normas de seguridad dentro de los laboratorios y el manejo adecuado de los residuos.

Los laboratorios con los que cuenta la UCM son:

- Laboratorio de Microbiología Clínica.
- Laboratorio de Biología y Química.
- Laboratorio de Simulación Clínica.
- Laboratorio de Fitopatología y Diagnostico Animal.
- Laboratorio CALER.
- Laboratorio de Operaciones Unitarias.
- Laboratorio de Calidad de Aguas.

Cabe recalcar que solo se han mencionado los laboratorios que en alto o menor grado requieren de la manipulación de reactivos químicos que suponen un impacto negativo al ambiente y a la salud. Se debe tener claro que dentro de las instalaciones de la UCM se cuenta además con el laboratorio de Física, SIG, Telecomunicaciones, entre otros, los cuales no se asocian a la actividad química y su impacto al medio ambiente es casi nulo excepto por el gasto energético que puede ser muy alto.

Entre los proyectos más significativos de la UCM hacia los próximos años, es la construcción del bloque de laboratorios que será construido donde se encuentra actualmente el campus deportivo de la universidad. Lo que se busca con la construcción de este nuevo bloque es la integración de los laboratorios bajo un diseño eco-eficiente con el fin de disminuir los impactos negativos generados por las actividades prácticas realizadas en los laboratorios.

El CALER dentro de sus funciones ha diseñado el “Programa de Residuos Químicos Peligrosos”, el cual consta de una serie de protocolos dirigidos al manejo eficiente de sustancias y residuos químicos peligrosos.

### **3.2. Programa de Residuos Químicos Peligrosos**

El objetivo principal del Programa de Residuos Químicos Peligrosos es la protección de la salud de cada uno de los expuestos y del medio ambiente, logrando esto a través de planes de inducción y entrenamiento a estudiantes y funcionarios, además de establecerse los parámetros enfocados en buenas prácticas y seguras para el manejo

de residuos peligrosos y así controlar la exposición al riesgo. La responsabilidad en los laboratorios y el cumplimiento de las directrices del programa de residuos químicos peligrosos es de los docentes, quienes deben encargarse del transporte y almacenamiento temporal de los residuos químicos peligrosos, al igual que debe encontrarse capacitado para la orientación de estudiantes en la disposición de residuos químicos peligrosos tratables y por ultimo realizar el adecuado diligenciamiento de los registros de desechos de residuos peligrosos y no peligrosos. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013)

El programa presenta una serie de protocolos específicos a cada proceso involucrado en el manejo de sustancias y residuos químicos basados en Buenas Prácticas de Laboratorio. Para ser más claro en cuanto a los protocolos para el manejo eficiente de sustancias químicas, se realizara una breve descripción de estos a continuación:

### **3.2.1. Manejo Eficiente de Sustancias Químicas.**

Este protocolo se caracteriza por ser de carácter preventivo en cuanto a los aspectos que deben ser identificados por docentes, estudiantes, investigadores y funcionarios antes de hacer uso de los laboratorios y durante el desarrollo de prácticas, para que así todos sean conocedores de las normas de seguridad y en conjunto se contribuya a la disminución de la exposición al riesgo químico.

Dentro de este protocolo se enlistan las Normas de Seguridad con Reactivos en el Laboratorio importantes para evitar y actuar en caso de accidente, por ejemplo, la

identificación de grifos, duchas de emergencias, lavadores de ojos, siendo estos esenciales para una intervención oportuna en caso de presentarse un accidente en el laboratorio. También se menciona el uso de elementos de protección personal como polainas, gorro, guantes de látex, delantal de manga larga, todos estos de uso obligatorio y que serán vigilados por personal de CALER, donde dependiendo del residuo a manejar, también se hace necesario del uso de gafas de seguridad, caretas, entre otros elementos de protección. Adicionalmente se realizan recomendaciones en el uso de reactivos como evitar oler un reactivo directamente, jamás probar un reactivo, tapar los reactivos inmediatamente se extraiga lo requerido, evitar regresar el reactivo al recipiente, entre otras recomendaciones necesarias para evitar la exposición a riesgos para la salud y el medio ambiente.

Lo que corresponde al almacenamiento de sustancias químicas, es necesario seguir las normas de seguridad específicas para realizar este procedimiento, teniendo en cuenta aspectos como la rotulación de sustancias químicas para lo que es importante especificar nombre, concentración, fecha de vencimiento, riesgos y precauciones. Es importante revisar periódicamente las hojas de seguridad de las sustancias químicas, lo anterior con el fin de segregar de manera correcta los residuos químicos peligrosos y los no peligrosos, además de tener claro las fechas de caducidad de las sustancias. Cabe recalcar que el almacenamiento de sustancias químicas es responsabilidad del CALER, quienes son encargados de suministrar los reactivos solicitados por los docentes para la realización de prácticas, así como de recibir los residuos debidamente

rotulados para ser almacenados y entregados para disposición final. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013)

### **3.2.2. Manejo y Disposición de Residuos Químicos Peligrosos.**

Este protocolo se centra principalmente en la minimización de residuos químicos, ya que uno de los intereses principales de la UCM con el “Programa para el Manejo de Residuos Químicos”. La minimización de los residuos químicos involucra actividades que reducen el volumen o la toxicidad de cualquier residuo químico peligroso, siendo la reducción en la fuente una actividad que reduce o elimina la generación de un residuo químico peligroso en un proceso. Dicha reducción en la fuente se puede alcanzar a través del cambio de reactivos (sustituir reactivos por otros materiales menos tóxicos), y cambios de procedimientos de operación. El tratamiento de residuos peligrosos es la alteración de los constituyentes tóxicos del residuo a formas menos tóxicas o no tóxicas. Para lograr lo anterior existen alternativas que representan una opción significativa en cuanto a la reducción de residuos químicos generada en laboratorio, por ejemplo: experimentación a micro-escala; aumento del uso de instrumentos; Identificar usuarios comunes de un químico particular; mantener la segregación individual de corrientes residuales; desarrollo de un dinámico inventario de los químicos de laboratorio para minimizar la acumulación. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013)

### **3.2.3. Manejo de Residuos No Peligrosos.**

Según (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013) los residuos no peligrosos generados en laboratorio pueden ser dispuestos bajo determinadas condiciones a través de la basura o el sistema de alcantarillado. Lo anterior conlleva este protocolo a regular las condiciones aptas para descargar residuos no peligrosos al alcantarillado o a la basura. A lo primero que invita el protocolo es asumir que una sustancia o compuesto químico es peligroso si es que existe alguna duda. El protocolo establece las concentraciones aceptables de las diluciones para ser descargados por el sistema de alcantarillado basado en normativa de la EPA. Una vez la concentración sea aceptada bajo los criterios que tiene en cuenta el protocolo puede ser descargado el residuo al sistema de alcantarillado luego de diluir los residuos sólidos en una solución acuosa y del debido diligenciamiento de la ficha de descarga a sistema alcantarillado. En la ficha de descarga se debe especificar el nombre del residuo o sustancia química, su concentración al ser descargado, la fecha y hora de descarga y el nombre de quien realiza la descarga.

Para la disposición de residuos químicos no peligrosos en la basura se debe tener en cuenta que no deben depositarse residuos gaseosos, residuos líquidos o que contengan líquidos libres, o residuos que contengan cualquiera de los metales listados en los residuos no peligrosos restringidos, como se muestra en la Tabla 6.



**Tabla 6. Residuos no peligrosos restringidos. (Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013)**

| <u>Nombre Químico</u> | <u>Promedio Diario (ppm)</u> | <u>Máximo Instantáneo (ppm)</u> | <u>Máximo Diario (ppm)</u> |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Arsénico              | 1.0                          | 4.0                             | 4.0                        |
| Cadmio                | 0.5                          | 0.6                             | 0.6                        |
| Cromo                 | 2.75                         | 5.0                             | 5.0                        |
| Cobre                 | 3.0                          | 8.0                             | 8.0                        |
| Plomo                 | 2.0                          | 4.0                             | 4.0                        |
| Mercurio              | 0.1                          | 0.2                             | 0.2                        |
| Niquel                | 2.5                          | 5.0                             | 5.0                        |
| Plata                 | 1.0                          | 3.0                             | 3.0                        |
| Zinc                  | 5.0                          | 10.0                            | 10.0                       |
| Cianuro               | 2.0                          | 3.0                             | 3.0                        |

#### **3.2.4. Manejo de Residuos Químicos Peligrosos.**

(Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER, 2013) describe que los residuos químicos peligrosos pueden ser tratables o no tratables dependiendo de la naturaleza del residuo, su potencial de recuperación de materiales, aprovechamiento energético, la característica deseada del RESPEL, entre otros factores. En el caso de que su peligrosidad sea demasiado alta estos residuos deben ser almacenados bajo criterios de seguridad y entregados a agentes externos encargados de la disposición final de estos por medio de incineración, autoclave, etc. Los residuos peligrosos de características infecciosas como material corto-punzante, piezas anatómico-patológicas, hemoderivados, etc., serán depositados en bolsas rojas o guardianes de seguridad (corto-punzantes) durante las prácticas de laboratorio y estos serán recogidos por EMAS quien se encarga de realizar la incineración de estos residuos en sus instalaciones. Los residuos químicos peligrosos no tratables serán

almacenados en las prácticas de laboratorio, y posteriormente la empresa TECNIAMSA realizara la recolección de estos residuos para su debida disposición final.

Los residuos peligrosos tratables pueden ser sometidos a dos tipos de tratamiento, físico o químico. El tratamiento físico se aplica para separar diferentes fases o sustancias y poder tratarlas por separado o inmovilizarlas.

El tratamiento químico altera la naturaleza interna de los constituyentes peligrosos por medio de reacciones químicas, en la mayoría de los casos eliminando la peligrosidad del residuo. En la UCM el tipo de tratamiento utilizado es el químico por medio de los procesos de neutralización y dilución, para posteriormente ser descargados por el sistema de alcantarillado o reutilizarlos en los casos que sea posible hacerlo.

### **3.3. Factores que Influyen en la Inadecuada Disposición de Residuos Peligrosos en la UCM.**

A pesar de que la UCM por medio del CALER ha diseñado programas para el manejo de residuos peligrosos, adicionalmente de establecer el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Hospitalarios PGIRSH y cumplir con las disposiciones dictadas por la ley; según (Gonzales Zuluaga, Krastz Piedrahita, & Sánchez Arias, 2011) existen “factores que influyen en la inadecuada disposición de los residuos hospitalarios y similares”, razón por la cual estos autores han realizado su trabajo de grado para optar por la Especialización en Administración de Salud, enfocados en determinar dichos factores y los efectos en los laboratorios de practica académica de la UCM. El método

de estudio es de carácter “cualitativo, descriptivo y transversal donde se entrevistaron 94 personas expuestas a riesgo biológico con un instrumento de 16 preguntas cerradas y una lista de chequeo con 30 items para la verificación de factores de riesgos y condiciones en las diferentes áreas que generan residuos de tipo infeccioso.”

El resultado obtenido a través del estudio realizado menciona fallas en las estrategias de socialización en cuanto al PGIRSH, a estudiantes y funcionarios. También la mezcla de residuos infecciosos con ordinarios se asocia a deficiencias en la sensibilización para la realización adecuada del proceso, sumándose a esto la falta de control y seguimiento en el plan establecido por la institución.

Claramente el estudio realizado por (Gonzales Zuluaga, Krastz Piedrahita, & Sánchez Arias, 2011) demuestra que a pesar de cumplir ante la ley con el diseño de un PGIRSH y programas para el manejo de sustancias y residuos químicos, no se tiene una rigurosidad sobre este, ya que a pesar de existir las herramientas estas no son utilizadas correctamente por quienes tienen un contacto constante con los laboratorios como son estudiantes y docentes, siendo esto razón para no cumplir con el objetivo para el cual fueron diseñados dichos documentos.

#### **3.4. Sistema de Gestión Ambiental Aplicable a los Nuevos Laboratorios de la UCM**

Actualmente de acuerdo al Plan de Ordenamiento Territorial POT de la Universidad Católica de Manizales se ha proyectado la construcción de un nuevo bloque destinado para la ubicación de los laboratorios correspondientes a los programas académicos que

requieren en su componente temático el trabajo práctico en dichos recintos. Esto permite pensar en el rediseño estructural de los laboratorios en pro de que sean amigables con el medio ambiente y facilite la gestión ambiental dentro de los mismos.

La construcción del nuevo bloque destinado para los laboratorios de la UCM trae consigo grandes retos en materia ambiental, más aun cuando se tienen identificados los fuertes impactos que se materializan en este tipo de aulas. Como parte de la acreditación de los programas académicos de la UCM, ejemplo el programa de ingeniería ambiental, surge la posibilidad e importancia de complementar el proceso de acreditación con la certificación ambiental de los laboratorios de docencia bajo el marco de la norma NTC-ISO 14001.

Como se ha logrado identificar a través de este trabajo investigativo, los laboratorios de la UCM poseen fortalezas y debilidades que deben ser tenidas en cuenta para reforzar y contar con un sistema de gestión ambiental acorde a los parámetros que evalúa los organismos certificadores como el ICONTEC a través de la norma NTC-ISO 14001. De este modo se realiza un análisis general de acuerdo a la política ambiental y a la metodología conocida como Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) en cuanto a los aspectos que podrían mejorarse en los laboratorios de la UCM en busca de la certificación mencionada.

## **1. Política Ambiental**

En el caso de los laboratorios de la UCM los directivos de la universidad y del CALER como responsables de los laboratorios de docencia de la universidad, deben definir la política ambiental de los laboratorios de la UCM, siendo esta política apropiada a la naturaleza, magnitud e impactos ambientales de sus actividades, con un compromiso de mejora continua y prevención de la contaminación. Esta política debe estar comprometida con el cumplimiento de los requisitos legales aplicables.

A continuación se describe las normativas que aplican a los laboratorios de la UCM de acuerdo a los impactos ambientales que allí se producen:

**Vertimientos:** el manejo de sustancias químicas en los laboratorios genera un gran porcentaje de residuos líquidos peligrosos o no peligrosos. para ser vertidos estos residuos por los desagües que transportan a los sistemas de alcantarillado, se debe cumplir con los requisitos impuestos por el Decreto 1594 de 1984 donde se establecen, los parámetros que deben cumplir los vertimientos al alcantarillado público en el artículo 73°, las concentraciones para el control de la carga de las sustancias de interés sanitario en los artículos 74°, 75°, 76° y 77°.

**Emisiones:** en el caso de las emisiones atmosféricas, la UCM no cuenta con sistemas generados de gases contaminantes, ya que no se tienen calderas ni incineradores que emitan gases de combustibles contaminantes o compuestos altamente tóxicos. De hecho los residuos patológicos o algunos peligrosos que deben ser incinerados, son

entregados a empresas externas que se encargan de este procedimiento. Dado el caso de que en el nuevo bloque de laboratorios se emplee un sistema de incineración se deberá cumplir con el artículo 27° del Decreto 948 de 1995 donde se obliga a contar con sistemas de quemado y postquemado de gases con los sistemas de control de emisiones, además de los artículos 72° al 78° donde se dictan los parámetros para obtener los permisos de emisiones.

**Residuos:** los laboratorios de la UCM actualmente cumplen con las disposiciones impuestas por el Decreto 4741 de 2005 en los artículos 10° al 13° donde se reconocen los generadores de los residuos peligrosos y las responsabilidades de los mismos, siendo obligatorio la implementación de un plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos. además los artículos 27° y 28° obligan al registro de los generadores de desechos peligrosos. Así mismo interviene la resolución 1164 de 2002 donde se adopta el manual de procedimientos para la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. Es allí donde la UCM debe fortalecerse ya que se cumplen los compromisos legales pero a nivel interno se carece de conocimiento de los planes de gestión por parte de los estudiantes y por tal razón no actúan conforme a estos y se sigue realizando un inadecuado manejo. Esto puede mejorarse a través de jornadas de socialización y capacitación, rediseñando también la metodología de las prácticas de laboratorio.

## **2. Planificar:**

Una vez definida la política ambiental de los laboratorios de la UCM, se permite inferir las acciones que pueden ser llevadas a cabo para dar cumplimiento a legislación que aplica allí al igual que lograr materializar los demás alcances ambientales que se propongan dentro de la política.

En el caso de los vertimientos generados en la UCM, se hace necesario realizar una caracterización de estos donde se pueda constatar la composición o características de la carga contaminante de estos vertimientos. Actualmente no se tiene un dato preciso en la universidad sobre la composición de las aguas residuales provenientes de los laboratorios. Una vez hecha esta caracterización se da un paso para investigar sobre alternativas tecnológicas para el tratamiento de vertimientos, en busca de implementar alguna alternativa a la construcción del nuevo bloque.

En cuanto a los residuos peligrosos generados en la UCM se hace indispensable evaluar metodologías de capacitación y socialización del plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos. Una alternativa sería rediseñar a metodología de las prácticas de laboratorio con un enfoque ecológico donde los estudiantes logren capacitarse en el manejo adecuado de los RESPEL, siendo ellos quienes a través de una actividad experimental los identifiquen, los almacenen, los traten o realicen su disposición final adecuada. Del mismo modo los docentes pueden aplicar los principios de la química verde para reducir el manejo de sustancias y procedimientos generadores de residuos peligrosos.

### **3. Hacer-Verificar-Actuar:**

Siendo lo mencionado en este subcapítulo parte de una opinión personal queda la posibilidad de evaluar a fondo la viabilidad técnica y presupuestal de implementar algunas de las acciones propuestas en la planeación y así puedan establecerse alternativas más claras que pueden implementarse y completar los puntos de la metodología PHVA en busca de un sistema de gestión ambiental que pueda ser certificado.



## **DISCUSIÓN.**

El trabajo experimental realizado en laboratorios de docencia universitaria constituye un complemento esencial en la formación de profesionales y docentes investigadores en la aplicación de sus conocimientos teóricos y de un acercamiento con su entorno profesional. Sin embargo los laboratorios son lugares que exponen demasiados riesgos para las personas que realizan labores allí, ya que se requiere del manejo de reactivos o materiales que poseen características peligrosas que afectan la salud y el medio ambiente. Esta razón inquieta a evaluar las estrategias de reducción de residuos peligrosos en laboratorios de docencia universitaria y proyectar su implementación en la UCM, siendo esto el principal objetivo en el desarrollo de esta investigación.

El manejo de los residuos peligrosos en laboratorios académicos parte de las disposiciones impuestas por la ley a través del decreto 4741 de 2005 donde se reglamenta el manejo de los residuos peligrosos bajo el marco de la gestión integral. Principalmente los planes de gestión integral de residuos se basan en una serie de protocolos a seguir para realizar un manejo acorde de los residuos peligrosos generados y así prevenir la materialización de riesgos a la salud y el ambiente inherentes a estos residuos. Como afirma (Gil Solano, 2012) “en Colombia, la generación de residuos peligrosos en instituciones educativas es uno de los temas menos estudiados”, a lo cual cabe recalcar que la mayor parte poblacional que hace uso de los laboratorios educativos (estudiantes) desconoce casi que en su totalidad los planes de gestión integral de residuos peligrosos diseñados por las instituciones. Por lo general se limita a los estudiantes solo con la socialización de los protocolos de

seguridad para el trabajo dentro de los laboratorios, y se carece de la capacitación y socialización del manejo de residuos peligrosos, ya que los centros administrativos de los laboratorios son quienes se encargan de realizar el manejo a dichos residuos de acuerdo a los protocolos impuestos en los planes de gestión.

Es allí donde los planes de gestión de residuos peligrosos presentan grandes falencias, ya que los estudiantes quienes constantemente interactúan en los laboratorios, no identifican la clase de residuos que generan y mucho menos conocen la manera de proceder con estos una vez generados, desatando una inadecuada disposición de los residuos, lo que implica a los centros administrativos de laboratorios dificultad y aumento de costos en el tratamiento de los residuos peligrosos. (Gonzales Zuluaga, Krastz Piedrahita, & Sánchez Arias, 2011) dentro de su trabajo investigativo logra inferir a través de los resultados obtenidos que la mayoría de los estudiantes de la UCM desconoce del adecuado manejo de los residuos peligrosos hasta tal punto de ser estos dispuestos junto a los residuos ordinarios.

Las alternativas para la reducción en la producción de residuos peligrosos en laboratorios de docencia, evaluados a través de este trabajo investigativo, se centran principalmente en involucrar a los estudiantes en la gestión integral de los residuos peligrosos a través de las mismas actividades prácticas en los laboratorios. El enfoque ecológico en el rediseño de la metodología educativa para las para las prácticas de laboratorio, propone la capacitación de estudiantes en la identificación de residuos peligrosos, la segregación de residuos, el tratamiento y disposición final de los mismos.

Ejemplo de ello es la construcción de diagramas de flujo ecológico que abarca de manera resumida el paso a paso para la realización de una actividad práctica donde se tenga en cuenta que tipos de residuos se están generando y como deben ser tratados y dispuestos finalmente, como lo describe (Villanueva Tagle, Torres Pérez, & García Fernández, 2010). Esta alternativa permite que los estudiantes se hagan responsables de los residuos que generan a través de sus actividades, generando una visión crítica en cuanto a la determinación de problemas y la búsqueda de medios que puedan resolver dichos problemas.

Una vez involucrados los estudiantes por medio de la práctica en el manejo eficiente de los residuos peligrosos, será más fácil para las instituciones cumplir con los planes de gestión integral de residuos peligrosos y lograr el objetivo de estos en cuanto a minimizar riesgos a la salud y al medio ambiente.

La alternativa de la química verde enfocada más a la prevención de la contaminación por parte de los residuos químicos, puede ligarse al enfoque ecológico de las metodologías de educación, en busca del diseño de prácticas que se orienten a la reducción o eliminación de sustancias generadoras de residuos peligrosos bajo los 12 principios de la química verde, impulsando además el desarrollo de investigaciones de eficiencia energética y sustancias menos contaminantes en laboratorios académicos. De hecho (Karpudewan, Ismail, & Mohamed, 2011) informa sobre cursos dictados a docentes en donde se integra la química verde a los procesos de enseñanza de la química a nivel universitario.

Esto evidencia que el rediseño en la metodología educativa representa una alternativa viable en la gestión de los residuos peligrosos de la UCM, ya que la universidad actualmente carece de un programa de socialización y capacitación a estudiantes en el manejo eficiente de los residuos. Si desde cada asignatura se involucra a los estudiantes desde las prácticas a identificar residuos peligrosos, analizar métodos de tratamiento, llevar a cabo por parte de los estudiantes dicho tratamiento bajo supervisión, o en vincular a los estudiantes con aportes para el diseño de un plan de gestión integral de residuos, esto reducirá la generación en la fuente de residuos peligrosos.

El pasado 27 de Julio de 2015 en la UCM se realizó una capacitación con algunos docentes de la institución correspondiente a la gestión de residuos en los laboratorios de la UCM, a cargo del Ingeniero Químico y Docente de Ingeniería Ambiental Javier Mauricio Naranjo. Durante la capacitación surgieron varios interrogantes y comentarios frente al manejo de los residuos peligrosos, Paula A. Botero (CALER) menciona “la importancia de que los residuos generados en los laboratorios lo ideal es que sean tratados allí mismo entre profesores y estudiantes a pesar de ser responsabilidad del CALER... además menciona que al recolectar los recipientes con los residuos peligrosos se encuentran con residuos desechados de manera incorrecta lo que les complica en gran medida su debida disposición.” Esto evidencia que el rediseño en la metodología educativa representa una alternativa viable en la gestión de los residuos peligrosos de la UCM, ya que la universidad actualmente carece de un programa de socialización y capacitación a estudiantes en el manejo eficiente de los residuos. Si

desde cada asignatura se involucra a los estudiantes desde las prácticas a identificar residuos peligrosos, analizar métodos de tratamiento, llevar a cabo por parte de los estudiantes dicho tratamiento bajo supervisión, o en vincular a los estudiantes con aportes para el diseño de un plan de gestión integral de residuos, esto reducirá la generación en la fuente de residuos peligrosos.

Por otro lado el proyecto que tiene la UCM de la construcción de un bloque destinado para los laboratorios, permite ampliar la investigación de alternativas tecnológicas para el tratamiento de residuos peligrosos o de los vertimientos líquidos generados en los laboratorios. Una alternativa que podría ser evaluada para el tratamiento de los residuos líquidos de los laboratorios químicos de la UCM, sería el diseño y construcción de un reactor electrolítico. Los residuos líquidos generados en los laboratorios se generan en volúmenes pequeños en relación a los vertimientos de las industrias. El reactor electrolítico permite la recuperación de metales pesados, los cuales constituyen gran porcentaje de la carga contaminante en las aguas residuales provenientes de los laboratorios. Sin embargo esta es una recomendación no fundamentada técnicamente y hecha por ser una de las tecnologías de tratamiento que se implementando actualmente como lo proponen (Cardozo Miño, 2012) y (Gil Solano, 2012). Antes de proponer una alternativa mejor fundamentada se recomienda en la UCM incursionar en estudios y trabajos futuros para analizar cuál es la mejor alternativa tecnológica para el tratamiento de los vertimientos de la UCM, lo cual requiere profundizar en la caracterización de efluentes de los laboratorios de la UCM, normatividad, tecnologías acordes a las caracterización de los vertimientos y el análisis económico.

## CONCLUSIONES.

- Las buenas prácticas en laboratorios de docencia abarcan todos los aspectos considerables para mitigar impactos ambientales y a la salud del ser humana, desde la adecuada gestión integral de los residuos peligrosos, el cumplimiento legal en cuanto a los vertimientos realizados, y como el uso eficiente de los recursos agua y energía. Por ello las buenas prácticas de laboratorio identificadas a través de este trabajo, se centran en el manejo eficiente de los residuos generados en laboratorios de docencia, la aplicación de conceptos de química verde en busca de reducir el uso y la producción de sustancias peligrosas o tóxicas, y el rediseño metodológico de las prácticas experimentales ecológicas.
- Se identificó que los principales factores causantes de impactos negativos a la salud y al ambiente en los laboratorios de docencia, es la producción de residuos peligrosos o no peligrosos que se derivan del manejo de sustancias y reactivos químicos, y materiales biológicos. Este hecho trae consigo efectos nocivos a los recursos naturales por la persistencia medio ambiental de los residuos, transformando las propiedades fisicoquímicas del agua y afectando la calidad del aire, además de ocasionar daños a la salud, como daños a tejidos humanos, efectos cancerígenos, transmisión de virus y enfermedades, etc. Sin embargo la aplicación de acciones preventivas orientadas a mitigar los impactos ocasionados por la generación de residuos peligrosos interpuestas por la legislación, requieren de una rigurosidad mayor, ya que en esta investigación se evidencia que los estudiantes quienes hacen uso de los laboratorios de docencia carecen de capacitaciones y socializaciones para el manejo eficiente de los residuos generados en los laboratorios, lo que impide mitigar los impactos.

- Para mitigar los impactos ambientales que se producen en los laboratorios de docencia, las alternativas evaluadas en esta investigación tienden principalmente a involucrar a los estudiantes en el manejo de estos residuos, por medio del rediseño metodológico de las actividades prácticas de laboratorio, donde inicialmente se considere el uso de sustancias menos contaminantes como lo propone la química verde, y dar un enfoque ecológico a las practicas que desarrolle la capacidad de los estudiantes a la solución de problemas ambientales, haciéndolos responsables de la generación de residuos en sus prácticas educativas. Haciendo participes a los estudiantes se logra llevar a cabo de manera correcta métodos clave en la gestión integral de residuos peligrosos, como lo son los procesos de segregación, almacenamiento, tratamiento y disposición final de estos residuos.
- Se evaluó el estado actual del manejo de residuos peligrosos en la UCM de lo cual surge el problema de capacitación y socialización a estudiantes de la UCM en los programas para el manejo de residuos peligrosos con los que cuenta la universidad. Esta razón permite relacionar el rediseño de la pedagogía de enseñanza a la hora de realizar prácticas en laboratorios y darle un enfoque ecológico que haga participes a los estudiantes de la UCM en pro de reducir la generación de estos residuos, identificando por aportes y discusiones de los mismos funcionarios de la UCM que es allí a donde se quiere llegar con los estudiantes.

- Se recomienda la realización de trabajos investigativos que permita analizar una alternativa tecnológica para el tratamiento de los vertimientos de la universidad, donde se debe estudiar a fondo variables como caracterización de los efluentes en la UCM, normatividad, tecnologías acordes a las variables anteriores y un análisis económico de las alternativas indicadas. Este estudio puede ser fundamento para ser implementado dentro del diseño y construcción del nuevo bloque de laboratorios de la UCM.



## REFERENCIAS

- Águila Hernández , I., Hereira Díaz, A., & Primelles Alberteris, E. (2005). Propuesta de programa para mejorar la seguridad y minimizar el vertimiento de residuos en laboratorios químicos de la UCLV. *Revista Cubana de Química, Vol. XVII, No. 3*, 108-116.
- Álvarez de Weldefort, A., & Campuzano F., S. (2006). Control de la contaminación biológica en los laboratorios de docencia de la universidad colegio mayor de cundinamarca en Bogotá, Colombia. *Red Nova*, 99-103.
- Benavides Benavides, A. C., Vargas González, X., Chaves Barbozal, G., & Rodríguez Corrales, J. Á. (2012). Hacia una gestión de reactivos y residuos químicos en los laboratorios de docencia de la escuela de química en la Universidad Nacional. *UNICENCIA 26*, 65-73.
- Cano V., C. A. (2010). *Formulación del plan de gestión integral para el manejo de los vertimientos del laboratorio de salud publica de Cundinamarca (L.S.P.C)*. Bogotá.
- Cardozo Miño, M. G. (2012). *Evaluación de la fotocatalisis heterogénea UV/TIO<sub>2</sub> y fenton heterogéneo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>Fe/carbón activado en el tratamiento del agua residual de laboratorios de microbiología*. Bogota D.C: Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Ciencias .
- Centro Administrativo de Laboratorios Equipos y Reactivos CALER. (2013). *Manejo de Sustancias y Residuos Químicos*. Manizales: Universidad Catolica de Manizales .

- Congreso de Colombia. (Enero 9 de 1996). *Aprobacion del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminacion [Ley 253 de 1996]*. DO: 42688.
- Galván Meraz, F. J., & Bautista Andalón, M. (2010). *Breviario sobre prevencion y gestion integral de residuos*. Guadalajara: Ediciones Arlequín.
- García Calvo-Flores, F., & Dobado, J. A. (2008). Química Sostenible: una alternativa creible. *In anales de la Real Sociedad Española de Química No. 3*, 205-210.
- Gil Solano, J. C. (2012). *Tratamiento electroquimico para la remoción de metales pesados en residuos liquidos peligrosos generados en los laboratorio de docencia de la Universidad del Cauca*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Gonzales Zuluaga, A. M., Krastz Piedrahita, C. P., & Sánchez Arias, D. M. (2011). *Factores que influyen en que se realice una inadecuada disposicion de residuos hospitalarios y similares, y que consecuencias se han generado en la Universidad Católica de Manizales en el año 2011*. Manizales: Universidad Catolica de Manizales.
- Hospital Nacional Hipólito Unánue. (2011). *Plan de manejo de residuos sólidos hospitalarios 2011*. Lima: Oficina de Epidemiología y salud ambiental.
- Hurtado, H. A. (9 de Abril de 2015). Produccion de agua destilada en laboratorios de Aguas de Manizales S.A.E.S.P. (J. S. Bavativa Ramirez, Entrevistador)
- Karpudewan, M., Ismail, Z. H., & Mohamed, N. (2011). Greening a Chemistry Teaching Methods Course a the School of Education Studies, Universiti Sains Malaysia. *Journal of Education for Sustainable Development, Vol. 5, No. 2*, 197- 214.

- Mera Benavides, A. C., Andrade Vivas, B., & Ortiz Sarria, M. F. (2009). Alternativa para la segregación de residuos químicos generados en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Cauca. *B - Corporación Universitaria Lasallista*, 54-66.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de Marzo de 2015). *Norma de vertimientos. [Resolucion 631 de 2015]*. DO: 49486.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *Política Ambiental para la Gestion Integral de Residuos o Desechos Peligrosos*.
- Ministerio del Medio Ambiente y Ministerio de Salud. (6 de Septiembre de 2002). *Manual de Procedimientos para la Gestion Integral de los residuos hospitalarios y similares. [Resolucion 1164 de 2002]*. DO: 45009.
- Monge, G. (2000). *Manejo de residuos en centros de atencion de salud*. Lima: Hojas de divulgación técnica CEPIS.
- Mora Sandoval, V. (2013). *Buenas Practicas de Laboratorio. Asociacion Farmaceutica Mexicana de Occidente, A.C.* Mexico D.F.
- Osicka, R. M., Benitez, M. E., Blanes, P. S., Herrera Ahuad, C. E., & Giménez, M. C. (2005). *Guía para el anejo de residuos químicos en el laboratorio*. Argentina: Comunocaciones Científicas y Tecnológicas.
- Presidencia de la Republica de Colombia . (25 de Octubre de 2010). *Reglamento de los usos del agua y residuos liquidos. [Decreto 1594 de 2010]*. DO: 47837.
- Presidencia de la Republica de Colombia. (26 de Junio de 1984). *Reglamento en cuanto a usos del agua y residuos liquidos. [Decreto 1594 de 1984]*. DO: 36700.

Presidencia de la Republica de Colombia. (19 de Febrero de 2014). *Reglamento para la gestion integral de los residuos generados en la atencion en salud y otras actividades. [Decreto351 de 2014].* DO: 49069.

Publicaciones Vértice. (2008). *Gestion medioambiental: manipulacion de residuos y productos quimicos.* Malaga: Editorial Publicaciones Vértice.

Ramos Alvariño, C., Espinosa Lloréns, M., López Torres, M., & Pellón Arrechea, A. (2005). Tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria de medicamentos. *Revista CENIC Ciencias Quimicas, vol. 36, No. 1, 2005.,* 39-43.

Torres, D., García, G., & Castro, M. (2011). El tratamiento de residuales en el laboratorio químico. *Pedagogía Universitaria, Vol. 16, No. 3,* 49-64.

Villanueva Tagle, M., Torres Pérez, D., & García Fernández, G. (2010). *Seguridad y protección en el laboratorio Químico.* Ciudad de la Habana: Editorial Universitaria.

Wei, N. (2014). Hazardous Waste Treatment: A cautionary Tale. *Pollution Engineering, Vol. 46, No. 7,* 46.

Zulmalacárregui de Cárdenas, B., Mondeja González, D., & Parra Rodríguez, I. (2009). Problema medioambiental en laboratorios químicos: trabajo para su solución. *Revista Pedagogía Universitaria Vol. 8, No. 4,* 8-19.

