

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS EN UNA
INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR**

TRABAJO ESCRITO

Que para obtener el GRADO de
MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Presenta:

Valeria Durazo Estrada

Director de Tesis:

Dra. Nora Elba Munguía Vega

HERMOSILLO, SONORA

JUNIO 2020

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO



UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA



COORDINACIÓN DE PROGRAMA DEL POSGRADO EN SUSTENTABILIDAD ESPECIALIZACIÓN EN DESARROLLO SUSTENTABLE / MAESTRÍA EN SUSTENTABILIDAD

Hermosillo, Sonora, a 09 de junio del 2020

Dr. Javier Esquer Peralta
Coordinador del Posgrado en Sustentabilidad
PRESENTE. -

Por este conducto, hago de su conocimiento que estoy de acuerdo que se realice el siguiente examen de posgrado:

Programa:	Maestría en Sustentabilidad:	X	Especialidad en Desarrollo Sustentable:
Alumno (a):	Valeria Durazo Estrada		
Expediente:	212201643		
Fecha:	25 de Junio 2020		
Hora:	11:00 horas		
Edificio y Aula:	Virtual		

Relación de Jurados:

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE:	Dra. Nora Elba Munguía Vega	<i>Nora E Munguia</i>
SECRETARIO:	M.S David Slim Zepeda Quintana	<i>[Firma]</i>
VOCAL:	Dr. Javier Esquer Peralta	<i>[Firma]</i>
SUPLENTE:	Dr. Héctor Manuel Guzmán Grijalva	<i>Hector M. Guzman G</i>

ATENTAMENTE

MIEMBROS DEL JURADO



Página dejada intencionalmente en blanco

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se expone el procedimiento llevado a cabo para el diseño de un Plan de Gestión de Residuos Peligrosos dirigido específicamente a los laboratorios situados en Instituciones de Educación Superior (IES). Asimismo, se presenta el estudio de la literatura con enfoque en temas de gestión de residuos peligrosos, importancia de su implementación, planes en laboratorios y tópicos relacionados.

El procedimiento experimental ha comprendido las siguientes actividades: diagnóstico del estado actual del laboratorio en relación al uso de reactivos químicos y a la gestión de residuos peligrosos que se ejecutaba en el laboratorio analizando las fases de generación, clasificación, depósito, etiquetado, almacenamiento y el envío a confinamiento, y finalmente, con la información de las fases mencionadas, el diseño de un Plan de Gestión de Residuos Peligrosos adaptado a las particularidades del laboratorio.

Con dicho Plan, la Universidad de Sonora tendrá la oportunidad de minimizar la cantidad de residuos recolectados, agregando los posibles tratamientos de residuos al final de cada proceso experimental de los usuarios. Esto a su vez será de utilidad para adaptar un plan a cada laboratorio que precise de prácticas nuevas o modificadas para el control de los residuos peligrosos generados.

ABSTRACT

In this research project, the procedure for the design of a Hazardous Waste Management Plan is exposed, specifically aimed at laboratories located in Higher Education Institutions (HEI). Likewise, the study of the literature is presented with a focus on topics of hazardous waste management, the importance of its implementation, plans in laboratories and related topics.

The experimental procedure has included the following activities: diagnosis of the current state of the laboratory about to the use of chemical reagents and the management of hazardous waste that was executed in the laboratory, analyzing the phases of generation, classification, deposit, labeling, storage and shipment to confinement, and finally with the information of the mentioned phases, the design of a Hazardous Waste Management Plan adapted to the particularities of the laboratory.

With this plan, the University of Sonora will have the opportunity to minimize the amount of waste collected, adding possible waste treatments at the end of each experimental process of the users. This in turn will be useful to adapt a plan to each laboratory that requires new or modified practices for the control of generated hazardous waste.

ÍNDICE

Índice de Contenido.

<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
<u>I. Introducción</u>	1
<u>II. Objetivo Estratégico</u>	2
<u>III. Objetivos Específicos</u>	2
<u>IV. Análisis Literario</u>	3
<u>V. Metodología</u>	15
<u>VI. Resultados</u>	17
<u>VII. Discusión</u>	54
<u>VIII. Conclusiones</u>	56
<u>IX. Recomendaciones</u>	58
<u>X. Referencias</u>	59

Índice de Tablas

<u>Tabla</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Enfermedades asociadas a la exposición de sustancias peligrosas	7
2	Normas oficiales mexicanas emitidas por la SEMARNAT	12
3	Normas oficiales mexicanas emitidas por la STPS	12
4	Operaciones realizadas por usuarios en el laboratorio	21
5	Reactivos en disposición del Laboratorio	24
6	Residuos recolectados en abril del año 2018	32
7	Residuos recolectados en junio del año 2018	33
8	Residuos recolectados en septiembre del año 2018	34
9	Residuos recolectados en noviembre del año 2018	34
10	Residuos recolectados en enero del año 2019	35
11	Residuos recolectados en febrero del año 2019	35
12	Residuos recolectados en abril del año 2019	36
13	Residuos recolectados en mayo del año 2019	36
14	Residuos recolectados en junio del año 2019	37
15	Residuos recolectados en el Semestre 2018-1	38

16	Residuos recolectados en el Semestre 2018-2	38
17	Residuos recolectados en el Semestre 2019-1	38
18	Áreas de oportunidad consideradas para el Plan de Gestión	50

Índice de Figuras

<u>Figura</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Diagrama esquemático de posibles vías de liberación de sustancias en un vertedero de RP	6
2	Características de los Residuos Peligrosos	8
3	Tipos de segregación de residuos	9
4	Modelo de jerarquía de los reactivos y residuos	11
5	Diagrama de flujo de la metodología de trabajo	13
6	Diseño metodológico para el Plan de Gestión de Residuos	15
7	Planta arquitectónica primer nivel	17
8	Edificio 3G: Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales	18
9	Laboratorio de Semiconductores Inorgánicos	19
10	Laboratorio de Semiconductores Inorgánicos	19
11	Ubicación de las batas de laboratorio	20
12	Reactivos en gaveta	22
13	Reactivos en gabinetes	23
14	Reactivos en mesa	23
15	Reactivos en recipientes no originales	28
16	Etiquetado del No. CAS, palabra de Advertencia y pictogramas	29
17	Clasificación de residuos peligrosos en contenedores	40
18	Ejemplo de contenedores utilizados para depósito de residuos	41
19	Ejemplo de contenedores utilizados para depósito de residuos sólidos	42
20	Ejemplo de contenedores utilizados para depósito de residuos sólidos	43

21	Etiqueta de identificación de residuos PISSA-UNISON	44
22	Ubicación y distribución de residuos peligrosos	45
23	Ubicación y distribución de residuos peligrosos	46
24	Formato de entrega de residuos de la bitácora de generación de residuos peligrosos químicos	48
25	Formato para ubicación y distribución de residuos peligrosos	49
26	Portada del documento Plan de Gestión	51

Índice de Gráficos

<u>Gráfico</u>	<u>Descripción</u>	<u>Página</u>
1	Opinión y percepción de los usuarios	21
2	Estadística de palabra de advertencia	30
3	Estadística en base a pictogramas de peligro de SGA	31

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la generación de residuos es producto del consumismo por medio del ser humano, y en particular, los residuos peligrosos son parte del consumo de reactivos y el avance de la ciencia que exige los estudios experimentales a nivel laboratorio en las instituciones. Es por tal razón que se torna urgente el abordar el tema de la gestión de residuos peligrosos, especialmente por los daños que estos implican para la salud humana y para el medio ambiente, desde su generación hasta su confinamiento.

El diseño del plan de gestión de residuos peligrosos implica conocer la situación actual del laboratorio, por medio de la recaudación de datos como lo son el nivel académico de los usuarios, las operaciones realizadas, cuestiones de seguridad e higiene que se llevan a cabo en el laboratorio, antecedentes de los residuos peligrosos que se han generado, y las actividades realizadas que forman parte de la gestión actual de sus residuos. Con la información recaudada se ha priorizado el identificar las áreas de oportunidad que el laboratorio necesita atender por medio de un plan de gestión adaptado.

Por lo anterior descrito, en el presente documento se ha realizado una investigación en el Laboratorio de Semiconductores Inorgánicos perteneciente al Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales (DIPM) en la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora. Dicha investigación se ha consolidado en estudiar el laboratorio desde una perspectiva que considera el reactivo químico como la materia prima para el proceso que genera un residuo. Asimismo, el plan de gestión propuesto se ha diseñado de una manera integral, exponiendo la importancia que implica el uso y manejo de los reactivos químicos, las medidas de seguridad, medidas de control y minimización de residuos desde la fuente.

El documento se encuentra seccionado con el fin de presentar los objetivos del proyecto, la elaboración de un análisis literario que supone el estudio del estado del arte sobre temas relacionados, la metodología utilizada para desarrollar el proyecto, los resultados obtenidos en el periodo estimado, la discusión y conclusiones como producto de la relación entre la literatura y la práctica del proyecto, y finalmente recomendaciones que se han considerado en base a algunas de las áreas de oportunidad que suponen un estudio más profundo de particularidades puntuales.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Coadyuvar al cuidado del medio ambiente y salud humana mediante la elaboración de un plan de gestión de residuos peligrosos en un laboratorio de investigación científica.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis literario del estado del arte respecto a la gestión de residuos peligrosos, importancia de su implementación, planes en laboratorios y tópicos relacionados.
- Obtener el compromiso por parte del laboratorio de Semiconductores Inorgánicos del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora para la realización del estudio y ejecución del plan.
- Caracterizar el estado actual de generación y manejo de residuos peligrosos en el laboratorio.
- Diseñar un plan de gestión de residuos peligrosos adaptado a las particularidades de las instalaciones que cumpla con la normatividad vigente aplicable.
- Validar el diseño del Plan de Gestión por parte de las autoridades correspondientes.

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 Generación de Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos (RP) se caracterizan por ser residuos no domésticos que contienen materiales con sustancias químicas peligrosas (Fazzo, et al., 2017a). También se caracterizan por ser un material no deseado en el ambiente laboral y para el medio ambiente en general, ya que representan serias implicaciones en su manejo y disposición final (Soniya, 2014). Proviene principalmente de prácticas agrícolas y agroindustriales, instalaciones médicas, centros comerciales, sectores informales, y generalmente de las industrias de rápido crecimiento tales como la industria química, del metal, militar, farmacéutica, así como de centros clínicos y pequeñas empresas (Skenderovic, Kalac y Becirovic, 2015; Devi, Sujana y Charan Singh, 2018a).

Actualmente se considera que hay una descontrolada generación de RP alrededor del mundo, así como limitaciones en los sistemas gubernamentales que auditan, la infraestructura para plantas de tratamiento, la escasez en el cumplimiento, la regulación de las leyes y la falta de interés de las partes involucradas, creando una demanda urgente de acciones (Karthikeyan, *et al.*, 2018a). En el mismo sentido se ha encontrado que las prácticas deficientes, obsoletas e ilegales relacionadas con su eliminación crean una problemática mundial por tratar acciones ilegales y deficientes respecto los residuos creando a su vez la contaminación del suelo y de las aguas subterráneas (Fazzo, et al., 2017b). Por tanto, se necesita una mayor eficiencia en la recuperación de recursos y una recolección adecuada de los RP evitando que terminen en lugares no adecuados, así como evitando que éstos se encuentren dispersos y evitar así la contaminación (Engineering and consulting firms association, 2010).

Se torna aún más importante la cuantificación de RP a nivel mundial, ya que su generación seguirá excediéndose como una cuestión continúa e inevitable mientras la industrialización siga desarrollándose alrededor del mundo (Santosh, et al., 2017a). Principalmente por la implementación de nuevas tecnologías utilizadas en el sector industrial por el consumo de sustancias químicas en procesos y operaciones, provocando constantemente un incremento en los impactos negativos (Castillo, Camargo y Rodríguez,

2013). Aunque parezca ser contradictorio, el uso de nuevas tecnologías también se adopta para la disminución de impactos ambientales generados en el aire, agua y suelo, pero esto con un control en su uso y en base solo a lo requerido por la generación de RP (Arias, 2009).

Al encontrarse que las consecuencias de la generación de estos residuos son alarmantes respecto a los impactos negativos que se crean a nuestro alrededor, se ha demostrado que es posible una disminución de impactos mediante la implementación de un plan de gestión adecuado, desde su almacenamiento, segregación, transporte y eliminación (Devi, Sujana y Charan Singh, 2018b). No obstante, se debe tener una organización en la implementación de planes de gestión, ya que se ha encontrado que una de las razones por las que ésta resulta ineficiente es debido a que en los países en desarrollo no se documentan las cantidades reales de generación, provocando que los impactos ambientales cada vez sean mayores y que los recursos para contribuir a una disminución de impactos no estén a disposición (Mmereki, et al., 2016a). Asimismo, se debe tomar en consideración que los planes de gestión implementados varían alrededor del mundo en base a las leyes o normas ambientales correspondientes a cada país, concordando con las particularidades de cada lugar (Douglas, 2016).

Alrededor del mundo hay una gran variación entre la generación de RP, los principales generadores, y la manera en que se gestionan, principalmente debido a que no en todos los lugares se cuenta con un seguimiento respecto a la manera de gestionarlos, lo que causa poca preocupación por tratarlos de manera adecuada (Hernández y Corredor, 2016). Sin embargo, el accionar de manera responsable al generar RP logra como resultado importantes implicaciones a beneficio de la salud y bienestar de la sociedad, la preservación del medio ambiente, la sostenibilidad y la economía (World Health Organization, 2015). Por lo que, la implementación de un plan de gestión en los lugares de generación de RP es de carácter primordial por el hecho de que las políticas de acción al respecto son clave para el desarrollo sustentable, así como para la seguridad pública (Wilson, et al., 2015)

4.2 Implicaciones a la Salud y Medio Ambiente por Residuos Peligrosos

Los impactos dirigidos a la salud y al medio ambiente a causa de los RP se deben principalmente a la falta de protección de las instalaciones en donde se generan, así como a la falta de identificación y disposición de lugares apropiados para el proceso de eliminación de estos residuos (Santosh, et al, 2017b). Por esta razón, resultan como principales afectadas las comunidades locales que suelen padecer enfermedades a causa de la variedad de riesgos a la salud por la exposición a estos residuos presentes en los lugares de disposición inadecuada como los vertederos, ubicados cerca de donde dichas comunidades habitan (Fazzo, et al., 2017c). Con lo mencionado, se evidencia el peligro inherente para las personas y para el medio ambiente con el que interactúan mediante reacciones adversas, representando un reto para muchos investigadores al trabajar constantemente en tratamientos adecuados para los residuos peligrosos, encontrándose en la necesidad de leyes más estrictas para lograr su aplicación (Kulkarni, 2016).

La acción de proteger mejor la salud pública y el medio ambiente, manteniendo ambos aspectos a salvo de sustancias nocivas y desechos peligrosos va más allá de la gestión, ya que es importante también tratar la problemática de vertederos ilegales, los cuales resultan de la incorrecta y no apta disposición final (UNEP, 2010). Tal es el caso de Canadá, donde se han establecido lineamientos nacionales para vertederos de residuos peligrosos, en donde se exponen las vías principales de liberación potencial de sustancias en un vertedero de RP como se muestra en la Figura 1 (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2006). Por su parte, la composición química, física y/o biológica de los residuos peligrosos es una característica relativa a la liberación potencial de cada sustancia que se deriva en la contaminación generada en el aire, agua y suelo (Tovar, Losada y García, 2015).



Figura 1. Diagrama esquemático de posibles vías de liberación de sustancias en un vertedero de RP.

Fuente: Canadian Council of Ministers of the Environment (2006)

En este sentido, se comprueba que muchas acciones manifestadas por el hombre conducen a un cambio en el medio ambiente terrestre creando que el suelo se considere como no productivo debido a la presencia de los lixiviados en los vertederos, siendo los más dañinos los metales pesados como cadmio, plomo, zinc y cobre, los compuestos orgánicos disueltos y el nitrógeno (Amadi, Okeke y Amadi, 2017a). Estos impactos se relacionan principalmente con el calentamiento global y el indicador de emisiones de gases de efecto invernadero (Fikri, Purwanto y Rya, 2015). Además, se ha demostrado que la creación no intencionada de estos vertederos contenidos con RP causa que sus instalaciones no sean las apropiadas, impidiendo que el volumen de residuo depositado tenga algún tipo de degradación, con lo que, a su vez, esta persistencia crea propagación de plagas de animales y epidemias con alto índice de mortalidad, representando un riesgo para la salud pública (Amasuomo y Baird, 2016).

Los riesgos a la salud asociados a los RP por exposición directa resultan de la recurrencia o exposición prolongada a la toxicidad de estos productos, como lo es el uso de metales pesados, que, a pesar de ser identificadas las consecuencias en la salud, su empleo sigue siendo constante, más aún en países en desarrollo (Loureiro y Bitencourt da Silva, 2015). Algunos síntomas causales de dicha exposición se identifican por ser a corto plazo

relacionados con dolores de cabeza y náuseas, hasta a plazos más largos de disiparse como cánceres y defectos de nacimiento, y de manera inmediata la presencia de lesiones o la muerte (Amadi, Okeke y Amadi, 2017b). Por su parte, la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR por sus siglas en inglés), enlista diversas enfermedades asociadas con reacciones a sustancias químicas peligrosas mostradas en la tabla 1 (Díaz, 2009).

Tabla 1. Enfermedades Asociadas a la exposición de sustancias peligrosas

Enfermedades asociadas a Sustancias Peligrosas
Anomalías inmunológicas
Cáncer
Daño reproductivo y defectos del nacimiento
Enfermedades respiratorias y del pulmón
Problemas de Funcionamiento Hepático
Problemas de Funcionamiento Neurológico
Problemas de Funcionamiento Renal

Fuente: Díaz (2009)

Con el fin de prevenir que los RP se conviertan en una amenaza para la salud humana y medio ambiente, Sant'ana (2016) considera importante la identificación de los tipos de residuos, la cantidad en la que se están generando y conocer cómo deben ser tratados de manera adecuada, ya que al generarse en pequeñas instituciones como en laboratorios institucionales su eliminación no es controlada. En este mismo propósito, las personas expuestas a estas sustancias deben conocer los riesgos y peligros asociados y recibir capacitación sobre el correcto procedimiento de su separación (Kerr, 2017). Esto también para evitar que los residuos se almacenen juntos en contenedores frágiles, evitar el riesgo de roturas y derrames que liberen materiales al medio ambiente y finalmente, evitando que terminen en lugares no deseados (Waddell, 2015a).

4.3 Residuos Peligrosos Generados en Laboratorios

Los residuos generados en laboratorios se distinguen por pertenecer a la clasificación de residuos peligrosos para el medio ambiente y la salud humana (Lozano, 2016). Así como en base a los potenciales efectos que se derivan de su manejo, los cuales dependen de ciertas características y particularidades (Mora y Benavides, 2011; PEGEX, 2014). A pesar de considerarse que la generación de estos residuos es y será una problemática y una amenaza constante, puede ser abordada implementando una gestión integral en cada

lugar de trabajo en donde se estén generando como lo es en los laboratorios (Vega, 2016).

Ahora bien, los residuos varían dependiendo del laboratorio en donde se generan, en laboratorios médicos se identifican residuos farmacéuticos con características de infectividad, inflamabilidad, reactividad, corrosividad y toxicidad, siendo desechos infecciosos y/o sólidos; los residuos provenientes de laboratorios químicos se categorizan en base a inflamabilidad, reactividad, inestabilidad, corrosividad y toxicidad; los laboratorios de biología, agricultura, microbiología y biotecnología generan microorganismos infecciosos, químicos cancerígenos, pesticidas, herbicidas e insecticidas, y finalmente, los laboratorios de ingeniería y ciencias físicas generan compuestos radioactivos, desechos electrónicos peligrosos, desechos de automóviles, entre otras sustancias cancerígenas (Sivaramanan, 2015). De esta manera, el Código de Reglamentos Federales de Estados Unidos identifica a los residuos peligrosos debido a la presencia de una o más características definidas en la Figura 2 (University of South Florida, 2018).



Figura 2. Características de los Residuos Peligrosos

Fuente: University of South Florida (2018)

Por lo anterior descrito, es importante que el generador identifique de manera correcta el tipo de residuo que está generando mediante la composición de éstos, ya que es crucial para conocer su reacción y comportamiento y por ende, qué tan peligrosos pueden llegar

a ser para los seres humanos, animales y plantas, y así evitar que lleguen a provocar daños y, en conjunto con otras características, posibilitando su segregación de la manera correspondiente como se muestra en la Figura 3 (Bagban, et al., 2016; McLeod, 2017). Así como la composición, hay otros puntos a tratar, como el estado físico, que son capaces de brindar facilidades respecto a la segregación, almacenamiento y tratamiento de RP (Concha, 2016).

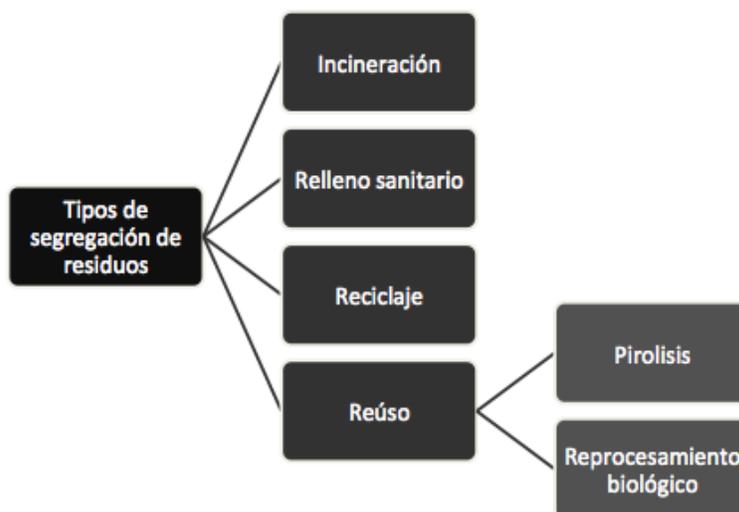


Figura 3. Tipos de segregación de residuos

Fuente: Bagban et al (2016)

Dadas las condiciones que anteceden, la implementación de prácticas nuevas o modificadas en los laboratorios es crucial para la reducción de impactos por sustancias peligrosas desde su origen, implicando un esfuerzo adicional (Benavides, et al., 2012a). El almacenamiento adecuado de las sustancias como de RP requiere de igual manera, el uso de prácticas prudentes de manejo y almacenamiento y de una instalación de laboratorio apta para las actividades realizadas (Waddell, 2015b). Asimismo, Scungio (2018) estipula que el paso primordial es aprender y diferenciar los diversos flujos de desechos, así como capacitar al personal para la correcta separación. La importancia de evaluar todos los flujos de residuos peligrosos que surgen de las operaciones del laboratorio radica en seleccionar la ruta de eliminación adecuada, al igual que depositarse en recipientes hechos de material apto para el residuo y etiquetarse correctamente con el fin de identificar su contenido (Laboratory waste disposal guidelines, 2018).

En el cumplimiento de las especificaciones anteriores hay actividades que deben organizarse como lo son el período de almacenamiento de residuos en el laboratorio, asegurar que el recipiente tenga el etiquetado correcto y sea legible, que los envases estén cerrados con la tapa original del recipiente, el exterior del embalaje debe estar limpio y seco, y el límite del llenado de los recipientes no debe excederse del 90% (Concha, 2016b). Esto se lleva a cabo solo mediante la mejora continua en las condiciones de trabajo, las buenas prácticas dentro de los laboratorios y una gestión adecuada de acuerdo a las exigencias de la normatividad vigente y aplicable y considerar particularmente aquellos residuos que tienen una legislación específica (Ramos y Peña, 2008a; Berrio, et al., 2012a).

4.4 Metodologías y Normatividad Aplicable a la Gestión de RP en Instituciones de Educación Superior

El uso de productos químicos y la generación de residuos en los laboratorios científicos es muy común mediante las operaciones realizadas por fines educativos, de investigación, de consultoría o industriales (Berrio, et al., 2012b). Por lo que las operaciones, procesos y actividades en un laboratorio ubicado en una IES deben realizarse de manera responsable tomando en cuenta el modelo de jerarquía de residuos [Figura 4] para la disminución de riesgos inherentes, principalmente para la gestión interna que realiza operaciones de manipulación, clasificación, envasado, etiquetado, recogida, traslado y almacenamiento, mientras que para la gestión externa deben de conocerse los procedimientos de recolección, transporte, tratamiento y eliminación (Benavides, et al., 2012b; Alcázar, 2016). Al mismo tiempo, es de importancia atender la carencia de seguridad en las instalaciones por los accidentes ocurridos en distintos lugares donde trabajan y disponen de sustancias químicas y de RP (Ortiz, 2014a).



Figura 4. Modelo de jerarquía de los residuos

Fuente: Benavides, et al. (2012b)

Con el cometido de salvaguardar la integridad física de las personas, de proteger y mitigar los daños a las instalaciones, bienes e información y de reducir los impactos al entorno existen los Términos de Referencia de la Unidad Estatal de Protección Civil, que establecen los lineamientos y especificaciones para elaborar e instrumentar el Programa Interno con el fin de determinar acciones de prevención y auxilio ante la ocurrencia de un fenómeno perturbador (Protección Civil del Estado de Sonora, 2009). Por otra parte, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2015) establece reglas, especificaciones, o características aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado o etiquetado de sustancias y RP como se muestra en la Tabla 2. Mientras que, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS, 2012) determina las condiciones mínimas necesarias para la prevención de riesgos en los centros de trabajo en donde se manejen sustancias químicas peligrosas como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2. Normas oficiales mexicanas emitidas por la SEMARNAT

Norma	Contenido	Referencia
NOM-052-SEMARNAT-2005	Características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos como un aspecto obligatorio para los responsables de identificar la peligrosidad de un residuos.	Diario Oficial de la Federación, 2006
NOM-055-SEMARNAT-2003	Requisitos que deben cumplir los sitios que se destinarán al confinamiento controlado de residuos peligrosos.	Diario Oficial de la Federación, 2004
NOM-098-SEMARNAT-2002	Especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos.	Diario de la Federación, 2004
PROY-NOM-160-SEMARNAT-20	Elementos y procedimientos para formular los planes de manejo de residuos peligrosos, dirigido especialmente para los grandes generadores de residuos peligrosos y para los productores y distribuidores de productos que al desecharse se convierten en residuos peligrosos.	Diario de la Federación, 2011

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Normas oficiales mexicanas emitidas por la STPS

Norma	Contenido	Referencia
NOM-005-STPS-1998	Condiciones de seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, para prevenir y proteger la salud de los trabajadores y evitar daños al centro del trabajo,	Diario Oficial de la Federación, 1999
NOM-010-STPS-2014	Medidas para la prevención de daños a la salud de los trabajadores expuestos a sustancias químicas.	Diario Oficial de la Federación, 2014
NOM-017-STPS-2008	Requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores, el equipo de protección personal correspondientes para protegerlos de los agentes del medio ambiente laboral que puedan dañar su integridad física y su salud.	Diario Oficial de la Federación, 2008
NOM-018-STPS-2015	Requisitos para disponer en los centros de trabajo del sistema armonizado de identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, a fin de prevenir daños a los trabajadores y al personal que actúa en caso de emergencia.	Diario de la Federación, 2015

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a la NOM-018-STPS-2015 se basa en el Sistema Globalmente Armonizado (SGA,2019) el cual establece criterios para clasificar sustancias con respecto a sus peligros físicos, para la salud y para el medio ambiente, teniendo como objetivo el desarrollar un régimen de comunicación de peligros con etiquetas, fichas de seguridad y pictogramas. En tanto a lo anterior, también es posible clasificar a los agentes químicos en base al peligro que presentan, según sus propiedades y en función de las frases R y/o frases H, que se logran obtener a través de las etiquetas de los reactivos químicos y sus hojas de seguridad, según el método de evaluación COSHH Essentials (Marín, Montes de Oca y González, 2017).

Las metodologías para conocer los riesgos procedentes de sustancias químicas y de residuos peligrosos se pueden basar en dos etapas cómo la evaluación de riesgos por

sustancias químicas y la gestión de residuos generados (Ábalos, Aguilera y Pérez, 2010). Una de ellas es la metodología de trabajo creada por Ortiz (2014b), como una herramienta de apoyo para la aplicación de las exigencias legales mostrada en la Figura 5, contenida por notas técnicas y guías empleadas para la identificación de las tareas realizadas por estudiantes y por docentes y adaptable a los lugares de trabajo en donde se utilicen sustancias químicas, tengan presencia de equipos y material fungible y además generen residuos. Es posible también aplicar el método llamado “checklist”, como herramienta para verificar el cumplimiento de un reglamento o procedimiento en donde se precisa conocer el sistema y las normas o estándares aplicables para cualquier fase de un proyecto (Protección Civil de España, 2013).

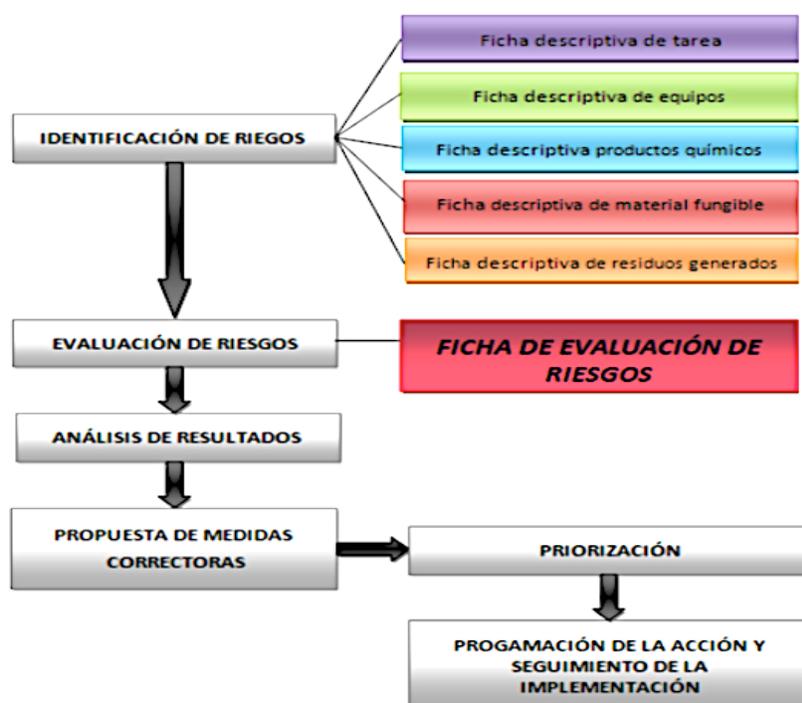


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología de trabajo

Fuente: Ortiz, 2014b.

De manera similar, existe el método llamado “What If” que por su traducción al español significa ¿Qué pasaría si...?, en donde se enlistan una serie de preguntas contenidas con situaciones que podrían generar accidentes (ISOTools, 2015). Asimismo, como método cualitativo de evaluación de riesgos de causa-efecto se encuentra la Matriz de Leopold, siendo esta la más popular para la evaluación de impactos ambientales mediante la presentación de una serie de valores que indican el grado de impacto que una acción

puede tener sobre un factor del medio (Dellavedova, 2011). Por su parte, el Diagrama de Ishikawa es un método de causa-efecto que permite organizar grandes cantidades de información sobre un problema específico y determinar las principales causas (Romero y Díaz, 2010).

Por lo anterior descrito, en cuanto a las condiciones del lugar de trabajo y de proteger la salud y medio ambiente en un laboratorio debe incluirse un plan de gestión de seguridad y residuos peligrosos que priorice la evaluación de riesgos por uso de sustancias químicas que inciten a la generación de RP y la minimización del vertimiento de residuos, tomando acciones en el siguiente orden: preparación del personal, creación de base de información sobre peligrosidad de las sustancias utilizadas, primeros auxilios, almacenamiento de sustancias y eliminación de residuos en el laboratorio con procedimientos generales en donde se clasifiquen los residuos y se consideren factores para su eliminación (Hernández, et al., 2005). Así, se torna esencial para la salud de las personas que manipulan dichas sustancias y de la comunidad cercana, el disponer adecuadamente los RP, tratando los puntos anteriormente descritos sobre reducción en la fuente, almacenamiento, y tratamiento (Ramos y Peña, 2008b).

Finalmente, en la problemática del uso de sustancias químicas y generación de RP se debe posicionar tanto la intervención del sector gubernamental como la del sector privado (Avsar y Önder, 2017). Puesto que hay carencia de responsabilidad entre los departamentos gubernamentales y las autoridades locales creando una directa afectación en la implementación de regulaciones de manejo de residuos peligrosos, incapacitando su recolección y su manejo de manera efectiva, así como para la reducción de los impactos negativos provenientes de dichas actividades (Mmereki, et al., 2016b). Por lo que constantemente se debe acudir a la implementación de distintos métodos o mejora de éstos para promover campañas, programas y actividades que valoren la integridad física de las personas, la salud pública, y el cuidado al medio ambiente (Zainu y Songip, 2017).

V. METODOLOGÍA

a) Tipo de estudio

El tipo de estudio a desarrollar es de carácter mixto, es decir, cuantitativo y cualitativo.

Cuantitativo: Recolección de datos numéricos respecto al inventario de sustancias químicas y de la generación de residuos peligrosos en el laboratorio.

Cualitativo: Descripción del estado actual del laboratorio mediante percepciones y observaciones de los participantes.

b) Diseño Metodológico

El diseño metodológico se adapta al procedimiento utilizado en la Universidad de Agricultura y Mecánica de Texas (Texas A&M University) para la gestión y minimización de residuos mostrado en la Figura 6.



Figura 6. Diseño metodológico para el Plan de Gestión de Residuos

Fuente: Universidad Agrícola y Mecánica de Texas (Texas A&M University) - 2017

c) Alcance.

El plan de gestión de residuos peligrosos se implementará en el laboratorio de Semiconductores Inorgánicos en el Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora. En el periodo de Enero 2018 a Diciembre de 2019.

d) Preguntas de investigación.

1. ¿Cuál es la gestión actual de los residuos peligrosos de el laboratorio de Semiconductores Inorgánicos en la Universidad de Sonora?
2. ¿Qué tipo de peligros existen en la integridad física de las personas y en el ambiente por la presencia y exposición de sustancias químicas y RP en el laboratorio?

e) Objeto de estudio.

El objeto de estudio serán las prácticas que se realizan en el uso, manejo, transporte y almacenamiento de los residuos peligrosos generados en el laboratorio.

f) Selección del objeto de estudio o del lugar que ubica al objeto de estudio.

El objeto de estudio se presenta por conveniencia, ya que se seleccionó por solicitud de los encargados del laboratorio.

g) Instrumentos de recolección y manejo de datos.

Se realizarán entrevistas semiestructuradas a los usuarios (en su totalidad) del laboratorio como instrumento cualitativo para la recolección de datos. Además para la elaboración de bitácoras y formatos especiales para el manejo de datos, se utilizará el programa Microsoft Office Excel.

VI. RESULTADOS

6.1 Diagnóstico del estado actual

Realizar un diagnóstico del estado actual del laboratorio es primordial para conocer las condiciones en las que se encuentra, identificar los procesos y operaciones que se realizan en éste, así como las particularidades y necesidades del lugar y de los usuarios.

6.1.1 Descripción del laboratorio

El laboratorio de Semiconductores Inorgánicos está ubicado en el primer nivel, ver Figura 7, del edificio del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales en la Unidad Regional Centro de la Universidad de Sonora, ilustrado en la Figura 8, contando éste con 12 años de antigüedad al ser construido en agosto del año 2007.



Figura 7. Planta arquitectónica primer nivel

Fuente: Archivo del DIPM



Figura 8. Edificio 3G: Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales

Fuente: Archivo del DIPM

Las condiciones visuales del interior del laboratorio se muestran en la Figura 9 y Figura 10.



Figura 9. Laboratorio de Semiconductores Inorgánicos

Fuente: Elaboración propia



Figura 10. Laboratorio de Semiconductores Inorgánicos

Fuente: Elaboración propia

Respecto al uso de EPP, en la Figura 11 se observa el lugar en donde se encuentran las batas del laboratorio, siendo uno de los rincones del lugar, encima de un banco en obstrucción con la puerta que conecta un laboratorio de otro.



Figura 11. Ubicación de las batas de laboratorio

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Usuarios

Los usuarios del laboratorio son estudiantes de posgrado, quienes asisten al lugar a realizar la parte experimental de sus proyectos de investigación.

La experimentación comprende distintas operaciones, algunas siendo repetitivas y otras por única ocasión debido a los procedimientos realizados por cada estudiante.

Por su parte, se realizaron entrevistas a los usuarios con el fin de identificar sus conocimientos y percepción en materia de la gestión actual de residuos peligrosos en el laboratorio. Como se muestra en el gráfico 1 inciso "a", el 63% de los usuarios han obtenido (con anterioridad) capacitación sobre el manejo de residuos exclusivo para el laboratorio, mediante cursos y/o clases impartidas en el posgrado y el 37% declara no haber obtenido capacitación alguna. Así mismo como se muestra en el gráfico 1 inciso "b",

el 25% considera que el sistema de depósito y almacenamiento de residuos peligrosos en el laboratorio es correcto, mientras que el 75% considera que no lo es.

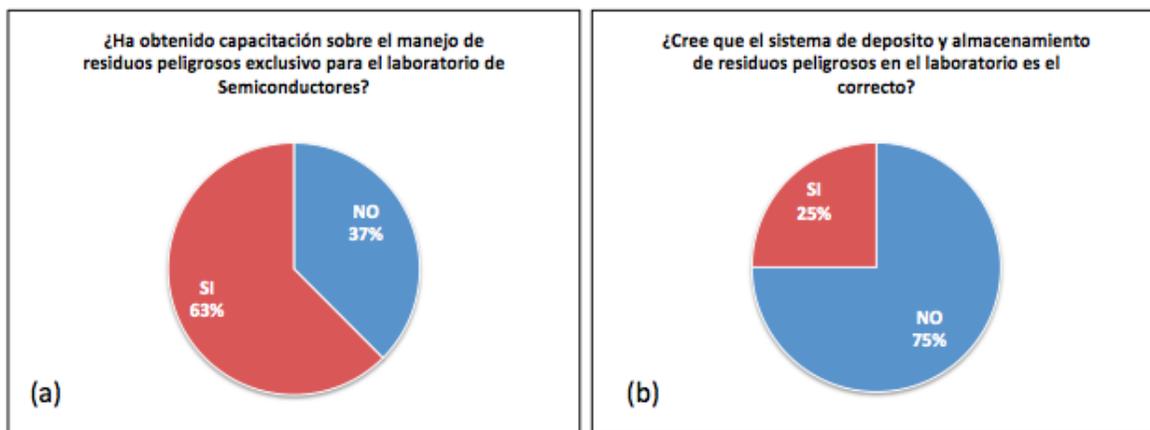


Gráfico 1. Opinión y percepción de los usuarios

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Operaciones realizadas en el laboratorio

Las operaciones del laboratorio varían de acuerdo a lo requerido por el proyecto de cada estudiante. En la Tabla 4 se mencionan las operaciones más comunes y frecuentes realizadas en el laboratorio.

Tabla 4. Operaciones realizadas por usuarios en el laboratorio

Operaciones realizadas por los usuarios
Halogenación
Hidrólisis
Oxidación
Desulfuración
Sulfuración

Fuente: Elaboración propia

6.1.4 Inventario de reactivos

Se realizó un inventario de reactivos dentro del laboratorio con el fin de identificar la organización y conocimientos que se tenía sobre la disponibilidad de reactivos, así como tomar en cuenta o descartar reactivos que pudieran ser residuos peligrosos a causa de su

caducidad. Además, la importancia de hacer un levantamiento, radica en conocer cómo es que los residuos son generados, qué sustancias se utilizan y en qué procesos para obtener como resultado un residuo peligroso.

Para la realización del inventario de reactivos se revisaron todos los espacios del laboratorio en donde se almacenaban, dichos espacios comprendían: gaveta, ver Figura 12, campana, gabinetes, ver Figura 13, y mesas, ver Figura 14.



Figura 12. Reactivos en gaveta

Fuente: Elaboración propia

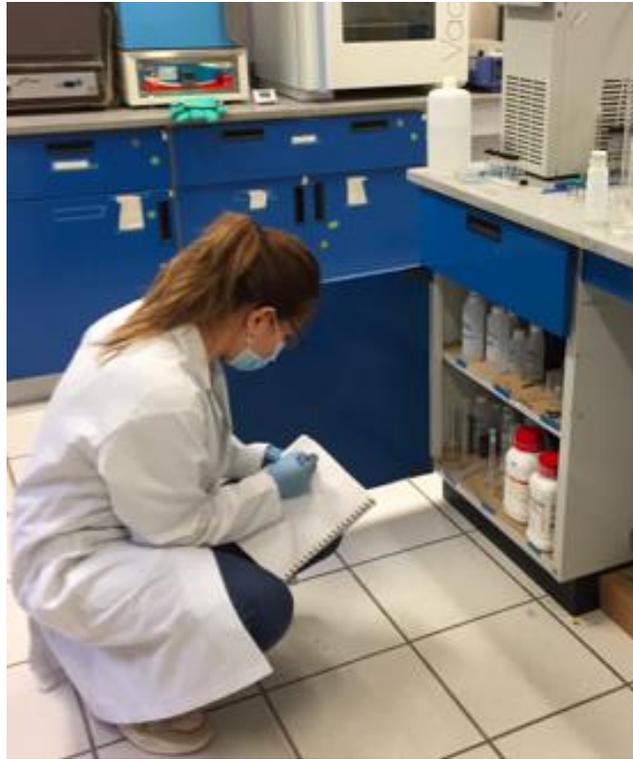


Figura 13. Reactivos en gabinetes

Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Reactivos en mesa

Fuente: Elaboración propia

El levantamiento de reactivos comprendió la cuantificación de 251 unidades mostradas en la Tabla 5. Cabe mencionar que se reportó el nombre de origen del recipiente, por lo cual se encuentran en el idioma original, ya sea español o inglés.

Tabla 5. Reactivos en disposición del Laboratorio

	Nombre	No. Cas		Nombre	No. Cas		Nombre	No. Cas
1	Hidroxymethanesulfonic acid, monosodium salt dihydrate	6035-47-8	85	TioureaACS	62-56-6	169	Nitrato ferrico(III) nonahydrate	7782-61-8
2	Sulfato ferroso (granular)	7782-63-0	86	Lanthanum chloride 7-hydrate	10099-58-8	170	Hidroxido de amonio SOLUTION	1336-21-6
3	Urea Ra	57-13-6	87	Pentóxido de divanadio	1314-62-1	171	Methanol	67-56-1
4	Iron (II) sulfate heptahydrate	7782-63-0	88	Cadmium chloride	10108-64-2	172	Acetato de etilo	141-78-6
5	Tiourea	62-56-6	89	Nitrato de bismuto CRISTALES	1304-85-4	173	Tetraethylorthosilicate	78-10-4
6	DL-homocysteine 95%	454-29-5	90	Tiourea ACS	62-56-6	174	Eter etílico	60-29-7
7	Glutathione reduced, 98%	70-18-8	91	Strontium chloride	10476-85-4	175	Sodium borohydride	16940-66-2
8	PT 114 CO/SiO2 Catalizador	N/D	92	Chromium (II) acetate	628-52-4	176	Tetraethylorthosilicate	78-10-4
9	Methacrylic Acid polymer	79-41-4	93	Cadmium chloride	10108-64-2	177	Hexamethylenetetramine	100-97-0
10	DL-cysteine 97%	3374-22-9	94	1-Thioglycerol	96-27-5	178	Aluminum isopropoxide	555-31-7
11	Sulfato Cobaltos Heptahidratado	10026-24-1	95	Bismuth oxide 99.99% METAL BASIS	1304-76-3	179	Aluminum isopropoxide	555-31-7
12	Sulfato de Zinc	7446-20-0	96	Tin(II) acetate 95% POWDER/LUMP	638-39-1	180	Zinc purificado	7440-66-6
13	Polyvinyl alcohol fully hydrolyzed	9002-89-5	97	Tiourea	62566	181	ethilenglycol	107-21-1
14	Sulfato de sodio anhidro	7757-82-6	98	Cadmium chloride, 2.5 HYDRATE, CRYSTAL	7790-78-5	182	1,2 propanediol 99%	57-55-6
15	Sol. De Ac. Borico	10043-35-3	99	Cadmium sulfat	10124-36-4	183	2-propanol	67-63-0
16	Vinyl acetate resin	108-05-4	100	Tin(II) acetate	638-39-1	184	1,2-dichloro benzene	95-50-1
17	Cloruro de litio ACS	7447-41-8	101	Cinc sulfato 7-hidrato	7446-20-0	185	Ácido fluorhídrico	7664-39-3
18	Zeolita	1318-02-1	102	Cadmium sulfide	1306-23-6	186	Ethylamine solution	75-04-7
19	Buffer Solution (borate) ph 10	5655-02	103	Sulfato de cadmio	10124-36-4	187	Acetil acetone	123-54-6
20	Sufito de Sodio	7757-83-7	104	Selenium POWDER-200 MESH, 99%	7782-49-2	188	Ethilenediamine	107-15-3
21	Zinc citrate dihydrate	5990-32-9	105	Manganese (II) sulphate monohydrate	10034-96-5	189	Palladium on activated carbon	7440-05-3

22	Sulfato ferrico Amonico	7783-83-7	106	Trioxido de arsenico	1327-53-3	190	Tetrahidrofluran o	109-99-9
23	Cloruro de Amonio	12125-02-9	107	Cloruro de manganeso	7773-01-5	191	Acetato de butilo	123-86-4
24	Cloruro de Calcio ANHIDRO	10043-52-4	108	Selenium	7782-49-2	192	Tetrahydrofuran	109-99-9
25	Tarrtrato de Sodio	6106-24-7	109	Palladium on calcium carbonate	7440-05-3	193	Nitrato de Zinc 98	10196-18-6
26	Cloruro de Potasio	7447-40-7	110	Antimony (III) OXIDE	1309-64-4	194	Magnesium sulfate	7487-88-9
27	Hydroxymethanesulfinic acid monosodium salt dihydrate	6035-47-8	111	Cobaltes chloride	7791-13-1	195	Sulfato de Zn	7446-20-0
28	Silica gel	112926-00-8	112	Indium(III)chloride	10025-82-8	196	Citrato de sodio DIHYDRATE	6132-04-3
29	Zeolita mixture		113	Cupric sulphate	7758-98-7	197	Acetato de sodio ANHYDROUS	127-09-3
30	Natriumsulfit sodium sulfite	7757-83-7	114	Europium (III) chloride	10025-76-0	198	Sulfato de aluminio	10043-01-3
31	Nitrato de Sodio	7631-99-4	115	Cobaltes (II) sulphate HYDRATE	60459-08-7	199	Potassium hydroxide	1310-58-3
32	Zeolist		116	Cobaltes (II) sulphate HYDRATE	60459-08-7	200	Thioacetamide	62-55-5
33	Aluminum sulfate octadecahydrate	7784-31-8	117	Indium chloride	10025-82-8	201	Potassium hydroxide	1310-58-3
34	Sulfito de sodio, anhidro	7757-83-7	118	Cupric chloride dihydrate, crystal	10125-13-0	202	Vanadium(IV) oxide sulfate hydrate	12334-20-3
35	Potassium Nitrate	7757-79-1	119	Copper(II) nitrate hydrate	13778-31-9	203	Ácido sulfurico	7664-93-9
36	Cloruro de Sodio ACS	7647-14-5	120	Niquel chloride (II) HEXAHIDRATO	7791-20-0	204	Tiosulfato de Na	10102-17-7
37	Sulfito de Sodio	7757-83-7	121	DL-penicillamine	52-66-4	205	Acetonitrile	75-05-8
38	Tiosulfato de sodio ACS	10102-17-7	122	Tellurium(IV)oxide	7446-07-3	206	N, N dimethylformaldehyde	N/D
39	Sb antimonio	7440-36-0	123	Copper(II) chloride DIHYDRATE	10125-13-0	207	Isopropanol	67-63-0
40	Cloruro estañoso dihidratado	10025-69-1	124	Cupric chromide	747-39-4	208	Acetato de Zn	557-34-6
41	Antimon(III)-chlorid	10025-91-9	125	Copper(I) chloride 97%	7758-89-6	209	Acetato de Magnesio tetrahidratado	16674-78-5
42	Stannoues chloride dihydrate	10025-69-1	126	Cobaltes(II) acetate TETRAHYDRATE	6147-53-1	210	Yoduro de Potasio	7681-11-0
43	Potassium hydroxide pellets	1310-58-3	127	Amonium molybdate (TETRAHYDRATE)	12054-85-2	211	Nitrato de Aluminio nonahidrato	7784-27-2
44	Sulfuro de sodio RA	1313-84-4	128	Niquel (II)sulfate hezahydrate	10101-97-0	212	CADMIUM CHLORIDE ANHYDROUS POWDER REAGENT	10108-64-2
45	Diethanol-amine, 99%	111-42-2	129	Oxido cuprico	1317-38-0	213	BISMUT OXIDE 99.99% METAL BASIS	1304-76-3
46	Poly(4-styrene-sulfuric acid) solution	28210-41-5	130	Silica	112926-00-8	214	CADMIUM CHLORIDE HYDRATED	7790-78-5

							CRYSTAL REAGENT	
47	Sulfuro de sodio RA	1313-84-4	131	Mueller Hinton Broth	N/D	215	TIN(II) SULFATE	748-85-3
48	Hidroxido de sodio ACS	1310-73-2	132	agar mueller hinton Medio de Cultivo	N/D	216	NITRATO CUPRICO	10031- 43-3
49	Estaño (II) cloruro	10025-69-1	133	1-methyl-2-pyrrolidinoline	872-50-4	217	CUPRIC BROMIDE	7789-45-9
50	Dimethyl sulfoxide	67-68-5	134	Polyvinil alcohol	9002-89-5	218	CUPRIC CHLORIDE DIHYDRATE	10125-13-0
51	Amonium tetrathrotngstate packed under argon	13862-78-7	135	Methyl sulfoxide	67-68-5	219	CUPRIC SULFATE ANHYDROUS REAGENT POWDER	7758-98-7
52	Glicerina pura	N/D	136	Lead (II) iodide	10101-63-0	220	D+ galactose	N/D
53	Mercaptosucanic acid, 97%	70-49-5	137	Propilene resine	N/D	221	d+ mannose	N/D
54	Ethandamine, oxidada	141-43-5	138	Ethylene metac	N/D	222	Buffer de referencia ph 10	N/D
55	Thioacetamide 99%	62-55-5	139	Dicromato de potasio	7778-50-9	223	Sulfato de zinc	7446-20-0
56	Dimethyl sulfoxide	67-68-5	140	Hydroxymethaesulfine acideMONOSODIUM SALT DIHYDRATE	6035-47-8	224	Hydroxymethane sulfinic acid monosodium salt dihydrate	6035-47-8
57	Trietanelamina RA	102-71-6	141	Cloruro cromico hexahidratado	10060-12-5	225	Nitrato ferrico	7782-61-8
58	Nitrato oloso	N/D	142	Dipotasio	N/D	226	Cloruro de samario	13465-55-9
59	Tinchloride 1.0 M solution	7646-78-8	143	Ethanolamine	141-43-5	227	Cloruro estañoso	7772-99-8
60	Cloruro	1025-69-1	144	Zinc chloride	7646-85-7	228	POLIVINIL ALCOHOL FULLY HIDROLIZED	9002-89-5
61	Sodium hydroxide	1310-73-2	145	Ethanolamide	141-43-5	229	NITRATO DE PLATA	7761-88-8
62	Nitrato de Zinc	10196-18-6	146	Thioacetamide	62-55-5	230	Nitrato niqueloso	13478-00-7
63	Cacodylc acid	N/D	147	Tartrato de amonio	3164-29-2	231	Acetato de bario	5438-0-6
64	Nitrato de Plata	7761-88-8	148	Formaldehido	50-00-0	232	Sulfuro de sodio	1313-84-4
65	Nitrato de Cadmio	10022-68-1	149	Tiosulfato de Sodio	7772-98-7	233	Sulfuro de sodio	13138-4-4
66	Nitrato de Plata	7761-88-8	150	Amonium peroxodisulfatico	7727-98-7	234	Citrato de Amonio	3012-65-5
67	Barium perchlorate trihydrate	10294-39-0	151	Citric acide monohydrate	5949-29-1	235	Ammonium peroxodisulfate	7727-54-0
68	Potassium hydroxide	1310-58-3	152	Tin (IV) chloride	7646-78-8	236	Sodium Thiosulfate	7772-98-7
69	Nitrato de Plata	7761-88-8	153	Ácido Acético glacial	64-19-7	237	Di-potasio oxalato monohidrato	6487-48-5
70	Acetato de Bario	543-80-6	154	Peroxido de hidrogeno	7722-84-1	238	Citrato de Amonio	3012-65-5
71	Hidróxido de sodio	1310-73-2	155	Silica Gel Rubin	112926-00-8	239	POLIVINIL ALCOHOL FULLY HIDROLIZED	9002-89-5

72	Nitrato de Plomo	10099-74-8	156	N.N Dimethylformamide	68-12-2	240	Ácido Acético glacial	64-19-7
73	Titanium(IV) isopropoxide	546-68-9	157	Ethanolamine	141-43-5	241	Ácido Acético glacial	64-19-7
74	Cloruro de Samano	N/D	158	Ácido Acético glacial	64-19-7	242	Ethanolamine	141-43-5
75	Nitrato de Amonio	6484-52-2	159	Tolueno	108-88-3	243	Ethanolamide	141435
76	Silver Nitrate	7761-88-8	160	Ácido sulfúrico	7664-93-9	244	Alcohol isopropílico	67-63-0
77	Aluminum Chloride	7446-70-0	161	3-trimethoxysilyl- propyl- anilina	3068-76-6	245	Tetraethylorthosi- licate	78-10-4
78	Nitrato de Amonio	6484-52-2	162	Oleylamine tech, 70%	112-90-3	246	SULFITO DE SODIO	7757-83-7
79	Thioacetamide ACS CRYSTALLINE POWDER	62-55-5	163	Ácido clorhídrico	7647-01-0	247	TIOUREA	62-56-6
80	Sulfato de Zinc	7446-19-7	164	Ethanolamide	141-43-5	248	CONDUCTIVE CARBON	1333-86-4
81	Lead (II) chloride POWDER 98%	7758-95-4	165	Acetone	67-64-1	249	SILVER PAINT	7440-22-4
82	Acetato de plomo tirhidrato granulado, REACTIVO BAAKER ACS	6080-56-4	166	Alcohol isopropílico	67-63-0	250	BIS(TRIFLUOR OMETHENE) SULFONIMIDE LITHIUM SALT	90076-65- 6
83	Etilendinitrilotetracet ato disodico EDTA SAL POLVO DIHIDRATADO	6381-92-6	167	Alcohol etílico	64-17-5	251	SPIRO- MEOTAD	207739- 72-8
84	Lead sulfate POWDER	7446-14-2	168	Ácido nítrico 70%	7697-37-2			

Fuente: Elaboración propia

En el inventario de reactivos se consideró la siguiente información:

- Nombre del reactivo
- Número CAS del reactivo
- Nombre de la empresa fabricante
- Fecha de fabricación
- Fecha de caducidad
- Estado físico
- Condiciones del recipiente
- Ubicación del reactivo en el laboratorio

Dichos factores se consideraron para la creación de la carpeta de Hojas de Datos de Seguridad (HDS), ya que de 251 unidades de reactivos solo se contaba con 32 HDS en la base de datos, la cual consta de una carpeta con las hojas engrapadas, creada por los

usuarios del laboratorio. Se tomaron notas del estado físico y condiciones del recipiente para identificar si su utilización seguía siendo apta.

De los 251 reactivos con los que el laboratorio dispone se identificaron que 41 reactivos estaban repetidos variando de 2 a 6 recipientes de cada uno, asimismo se identificó que todos los repetidos se encontraban abiertos y almacenados en distintos lugares del laboratorio.

Se creó una carpeta en electrónico con las HDS de los reactivos. Cabe señalar que la cantidad es menor que la de los reactivos reportados en la Tabla 5 debido a la repetición y a la falta de información de algunos reactivos para obtener la HDS, esto por encontrarse en frascos de vidrio, frascos de plástico e incluso en vasos de precipitado, ver Figura 15.

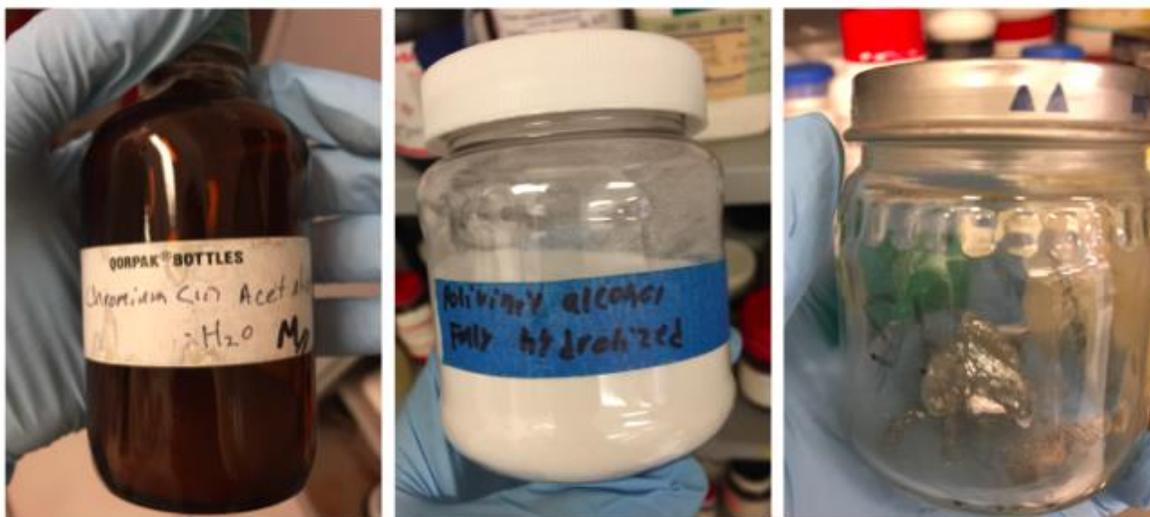


Figura 15. Reactivos en recipientes no originales

Fuente: Elaboración propia

Al inventariar todos los reactivos se observó que los datos faltantes en cada uno de ellos eran de gran importancia, principalmente el número CAS y los datos de peligrosidad conforme a la NOM-018-STPS-2015 del Sistema Armonizado para la identificación y Comunicación de Peligros y Riesgos por Sustancias Químicas Peligrosas en los centros de trabajo. Por tal razón, se investigó el número CAS de cada reactivo que no lo contenía, así como la palabra de Advertencia y los pictogramas encontrados en las HDS, esto con

el fin de crear etiquetas adhesivas y colocárselas a cada uno de los que carecía de estos datos. Dicha actividad se muestra en la Figura 16.



Figura 16. Etiquetado del No. CAS, palabra de Advertencia y pictogramas.

Fuente: Elaboración propia

6.1.6 Identificación de peligros por reactivos

Se hizo una base de datos contenida con las hojas de datos de seguridad de cada reactivo. De 251 reactivos se excluyen 16 debido a que no fueron identificados por limitantes presentadas al realizar el inventario, como se mencionó anteriormente. De esta manera se realizaron las estadísticas de peligrosidad en base al SGA con 225 reactivos.

Es importante mencionar que se encontraron reactivos repetidos, pero se tomaron en cuenta individualmente debido a que la peligrosidad radica en cada recipiente.

Lo que respecta a la palabra de “advertencia” que sugiere el SGA, se muestra en la gráfica de pastel del Gráfico 2 lo obtenido, siendo la palabra PELIGRO utilizada para el 55% de los reactivos, el 22% considerado con la palabra ATENCIÓN, el 17% de los

reactivos no indica ninguna de las dos palabras, y finalmente el 6% representa los reactivos que no fueron encontrados.

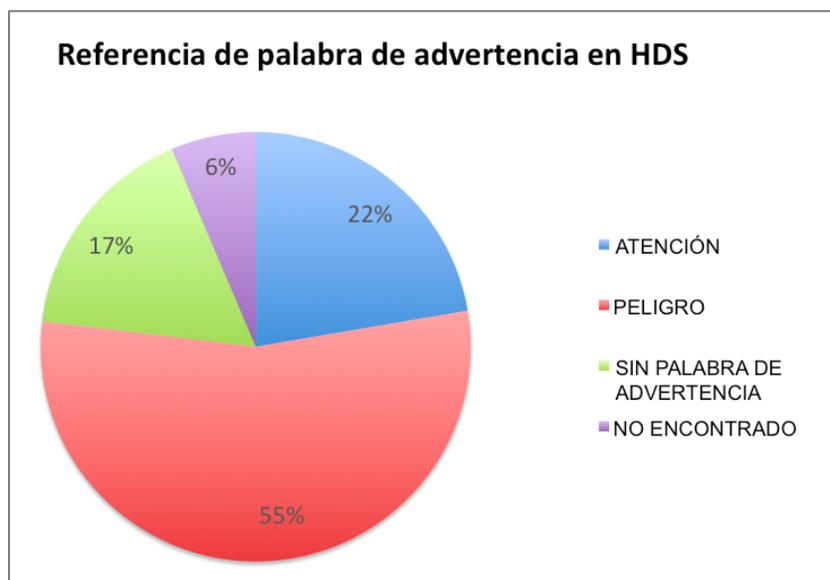


Gráfico 2. Estadística de palabra de advertencia

Fuente: Elaboración propia

Se recaudó la información de pictogramas contenidos en las HDS de los reactivos, obteniendo los resultados plasmados en el Gráfico 3. Cada uno de los reactivos contenía variedad en los pictogramas, ya sea que alguno contenía 1, 2, 3 o hasta 4 pictogramas indicando las propiedades particulares de cada uno. Se encontraron 0 sustancias explosivas, 29 sustancias inflamables, 24 sustancias comburentes, 1 sustancia considerada como gas bajo presión, 83 sustancias corrosivas, 24 sustancias categoría 1, 2, o 3 de toxicidad aguda, 121 sustancias categoría 4 de toxicidad aguda, 72 sustancias cancerígenas y/o mutágenas, y 69 sustancias que son dañinas para el medio ambiente acuático.

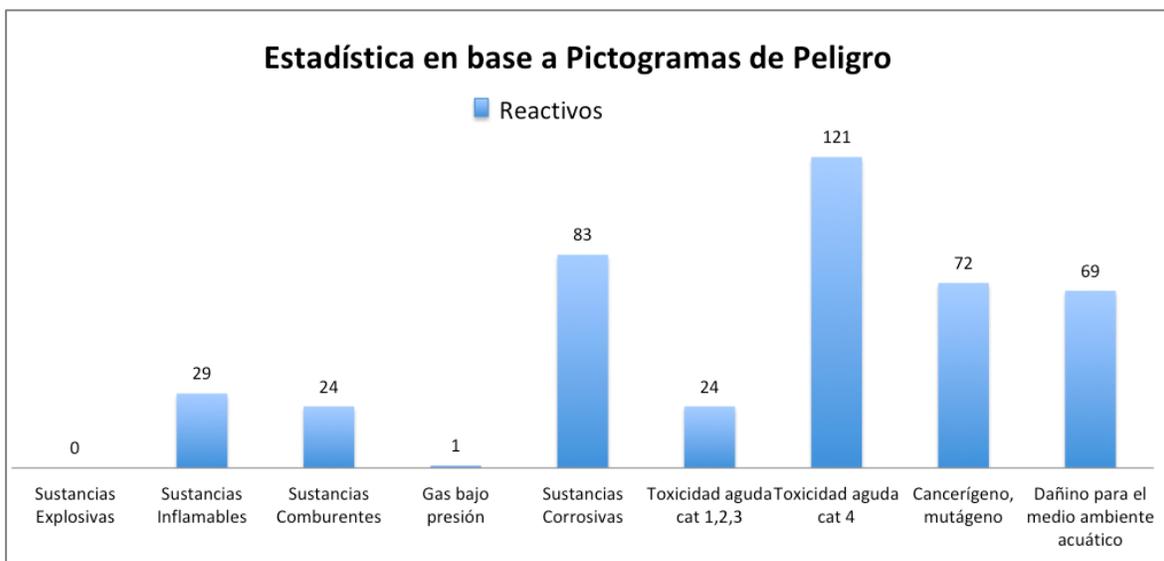


Gráfico 3. Estadística en base a pictogramas de peligro de SGA

Fuente: Elaboración propia

6.2 Generación de Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos generados en el laboratorio se cuantificaron en periodos mensuales. Se hizo una investigación de los reportes mensuales desde el año 2018 hasta el mes de junio del año 2019. Asimismo, se identificó de qué manera eran gestionados actualmente por los usuarios del laboratorio y por la persona encargada de la recolección de residuos peligrosos en cada laboratorio del DIPM.

6.2.1 Cuantificación de Residuos Peligrosos

Los residuos peligrosos generados en el año 2018 se presentan en las siguientes tablas: la Tabla 6, 7, 8 y 9 son residuos generados en el transcurso del año 2018, mientras que la Tabla 10, 11, 12, 13 y 14 son residuos generados en el periodo de enero a junio del año 2019.

La cuantificación de los residuos se hizo considerando tanto líquidos como sólidos. En el mes de abril del año 2018 se recolectaron 112.9 Litros y 75.8 kilogramos de residuos peligrosos, como se muestra en la Tabla 6..

Tabla 6. Residuos recolectados en abril del año 2018.

ABRIL		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Dimetilformamida, xylenediamina, DTPA	1 L
2	Titulaciones por UV buffer, agua complejos Si, Yb, Dy, Tm	1 L
3	Metanol, DMF, derivados de C8, DMSO	1 L
4	Residuos de síntesis P.xylendiamina, DTPA, DTPM, Eu, Yb, Tm, Cl	0.1 kg
5	EDTA disódico, negro T, zinc, cadmio, cobre, derivados DTPa	3 L
6	Silica gel con trozos de residuos orgánicos EDTA	1 kg
7	Solución oscura que contiene PbS, NaOH, TEA, TU	30 L
8	Residuos de rx de SnS, TEA, tioacetamida, NH4OH, SnCl2, Na2SeSO4	18 L
9	Acetona, acabinogalactosa proteica, alcohol isopropílico, éter etílico, acetilacetona, tetrahidrofurfural, Pbl2, H2O	0.75 L
10	Solución de rx oscura de sulfuro y oxido de cobre, NaOH, NH4OH, TEA, ClCu	18 L
11	Material solido contaminado (papel, puntas micropipeta, sanitas, guantes, cubre boca) PbS, SnS, NiOCu, CuO, cols, cdue, oro, cobre, Mg, Zn, Al, Fe, Ni, Pb)	24.8 kg
12	Bolsa con envases secos contaminados (vidrio y plástico manguera PbS, SnS, NiO, CuS, CuO, CdS, CdSe	1.9 kg
13	Caja naranja de cartón con películas (vidrio) PbS, CuS, CuO, SnS	11.53 kg
14	Puntas de micropipeta con Pb, Yoduro de metil amonio	36.5 kg
15	Solución oscura que contiene CuO, HMTA, CuCl2, NH4OH, sulfato de cobre	8 L
16	HCl contaminado Cu, Pb, Mn, Cu, Sn, Mg	1.75 L
17	Solución de color blanca de rx de Mg(OH)2, Al2O3 y ZnO eter, NH4OH, NM4Cl	4.5 L
18	Solución azul oscura de rx que contiene CuCl2, CuSO4, CuBr, Cu(NO3)2	4.5 L
19	Solución café de rx de SnS con etanol, trietanolamina, tioacetamida y tiourea	4.5 L
20	Solución oscura de rx de PbSnS	18 L
21	Solución amarilla de rx de CuO, trietanolamina y sulfato de cobalto	N/D
22	Solución anaranjada de rx de CdSe	N/D
23	Solución verde de rx de NiO y trietanolamina	N/D
24	Mezcla de compuestos orgánicos, lavado de reacción con acetona	1 L
25	Aminas aromáticas con DMF y cobre	0.5 L
26	Solventes para lavado metanol, etanol, alcohol isopropílico, DMSO, CH3NH3, Pbl2	1 L
27	Solución café que contiene CdSe, hidróxido de amonio, cloruro	5 L
28	Solución color verde que contiene CH3NH3Pbl2, acetona y DMSO	0.75 L
29	Reactivos caduco de Na2S	0.5 L
30	Galactomanano, tubos de centrifuga, hierro, zinc, sodio, bolsas, papel, papel aluminio	0.3 kg
31	Galactomanano, agua, etanol, acetona, sulfato de zinc, NaOH	0.15 L

Fuente: Elaboración propia

En el mes de junio del año 2018 se recolectaron 38.2 litros y 4.8 kilogramos de residuos peligrosos, ver Tabla 7.

Tabla 7. Residuos recolectados en junio del año 2018.

JUNIO		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Propileno, polipropileno con injertos de anhídrido maleico, quitosano glicerol	0.1 kg
2	Poliácido láctico, gelatina, 1,2,2-trifluoroetanol	0.1 L
3	AuBr - NH ₄ OH	1 L, 1 L
4	Yoduro NH ₃ OH	0.5 L
5	Pirrol en agua	1 L
6	Solución yodo, yoduro	1 L, 0.5 L
7	Cu en H ₂ O	0.5 L
8	Quitosano en 1% ac. Acético	0.01 L
9	Polietileno oxido, agua, politetiofluoetileno	0.1 L
10	Cloruro de hierro	0.5 L
11	Triclosan + metanol	0.1 L
12	Azul de metileno KOH, zeolita, CrCl ₃	0.5 L
13	H ₂ SO ₄ con Ti y Zn	0.01 L
14	Hidróxido de sodio húmedo	0.015 kg
15	Amoniaco con Ti	0.002 L
16	Cloroformo, reactivo caducado	0.1 L
17	Metanol, reactivo caducado	1.5 L
18	Acetato de Zinc, trietanolamina, hidróxido de bario, cloruro de amonio, hidróxido de amonio	2 L
19	Ácido clorhídrico con partículas Zn	3 L
20	TiCl ₄ , TiO ₂	0.02 L
21	HNO ₃ 5% con Ti y Zn	1.25 L
22	Silica gel con Ti/Zn	0.05 kg
23	H ₂ O, NaCl, CaSO ₄	0.1 L
24	Etanol absoluto caducado	0.1 L
25	Tetraacetoxido de titanio, etanol, butanol NH ₃ , polietilenglicol	0.1 L
26	Residuo de rx de Pbs, trietanolamina (TEA), NaOH, tiourea (TU), SnCl ₂ , NH ₄ OH, Pb(CH ₃ COO) ₂	18 L
27	Rx CuO oxido de cobalto CoSO ₄ , trietanolamina	4.5 L
28	Ácido clorhídrico contaminado con Pb, Cd, Sn, Co, Ni, Zn	0.75 L
29	Material sólido contaminado, algodones, cotonetes, sanitas contaminado con Pb, Cd, Ni, Sn, Cu	0.528 kg
30	Material solido contaminado, películas SnS, PbS, CoO, Cds sobre sustrato de vidrio	4.07 kg

Fuente: Elaboración propia

En el mes de septiembre del año 2018 se recolectaron 47.15 litros y 0.8 kilogramos de residuos peligrosos, ver Tabla 8.

Tabla 8. Residuos recolectados en septiembre del año 2018.

SEPTIEMBRE		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Reacción CuZnS, CuSO ₄ , ZnSO ₄ , Na ₂ S, trietanolamina NH ₄ OH	5 L
2	Al, Sn, Mg, HCl con Zn, Co, Pb	0.25 L
3	Papel, algodón, cotonetes, espátulas de plástico Pb y Cd	0.5 kg
4	Fe(NO ₃) ₆ H ₂ O	0.8 L
5	Aminas, EDTA, acetona, alcohol, etOH	0.8 L
6	Trietanol amina, hidróxido de amonio, cloruro de amonio, aluminio, magnesio, Zn, citrato de sodio, etanolamina	20 L
7	Tioacetamina, trietanolamina, estaño, plomo	20 L
8	Cotonetes, algodón, cartón, tiras pH	0.3 kg
9	HCl con iones Fe ²⁺	0.1 L
10	HCl con iones Pb, Cd, Cu, Zn, Al, Sn	0.2 L

Fuente: Elaboración propia

En el mes de noviembre se recolectaron 25 litros y 5.3 kilogramos de residuos peligrosos, ver Tabla 9.

Tabla 9. Residuos recolectados en noviembre del año 2018.

NOVIEMBRE		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Cotonetes, sanitas, pipeta, punta contaminada con Pb, I, Cd	0.256 kg
2	Placas de vidrio con películas de sulfuro de estaño, sulfuro de plomo, sulfuro de cadmio, óxido de zinc, peróxido, óxido de níquel, óxido de cobalto	5 kg
3	Líquido color blanco con nitrato de zinc, sulfato de Al, cloruro de amonio, hidróxido de amonio, trietanol amina	5 L
4	Líquido negro con sulfato de cobalto, trietanol amina, sulfato de cobre, sulfato de zinc, hidróxido de amonio	10 L
5	Líquido negro con tioacetamida, trietanolamina, cloruro de estaño, acetato de plomo, hidróxido de amonio y etanol	10 L

Fuente: Elaboración propia

En el mes de enero del año 2019 se recolectaron 27.9 litros y 0.75 kilogramos de residuos peligrosos, ver Tabla 10.

Tabla 10. Residuos recolectados en enero del año 2019.

ENERO		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Papel y plástico, yodo, Cd, Pb, S, N, Sn	0.2 kg
2	Nitrato de Zinc, citrato de sodio, etilenamina, isopropanol	5 L
3	PbS, Tiourea, NaOH, acetato de plomo	10 L
4	In ₂ S ₃ , tioacetamida, ácido acético, NaOH	0.250 L
5	HCl, Sn, In, Pb, Al, Cd, Co, Cu	0.5 L
6	Guantes con cloroformo, diclorometano, polivinil	0.3 kg
7	Alcohol, policaprolactona, H ₂ O, diclorometilo, polivinilalcohol, PCL	0.1 L
8	Zinc, AS-1 (CAS 5329 IN-6) H ₂ O, arsenito de sodio	1 L
9	Puntas contaminadas, SiO ₂ , SiC, ZnO, TiO ₂ , H ₂ O ₂	0.250 kg
10	Nps AuCu, AgCu, AuAs, ptpd, SBA-IS, acetona, mactona	1 L
11	Azul de metileno Sba-IS	10 L

Fuente: Elaboración propia

En el mes de febrero del 2019 se recolectaron solo residuos peligrosos en estado líquido con un total de 21.71 litros, ver Tabla 11.

Tabla 11. Residuos recolectados en febrero del año 2019.

FEBRERO		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Acetonitrilo anhidro 99.8%	0.01 L
2	KCl+agua	0.6 L
3	Pirrol, perclorato de cobre, esactonitrilo	0.5 L
4	Acetonitrilo y THF	0.1 L
5	aceite mineral p/bomba	4 L
6	2-hidroxi-5-nitro, benzaldehído, salicialdehído, cloruro de amino, guanidina, benzaldehído, difenilparanitro, tenilfosfito, huanil hidrozona, MEOH DMSO etOH, acetona, diclorometano y agua	4 L
7	Me ₄ NOH, benzofenona, Me ₄ Cl, acetato de etilo, diclorometano, HCl, guanidina, salicialdehído, acetona, sulfato de bario, Bo-hidruro de sodio, bicarbonato de aminoguanidina, 2 bis 2 cloro etoxi etano, acetonitrilo, DMF DMSO, cloroformo, etanol, anhidro acético, agua, isourea, 1-H,pirasolcarboximidina	4 L
8	Amina, derivados de tetranidrina, halogenuro de alquilo/(Br), anilo, urea/tiourea	4 L
9	Acetona, acetonitrilo, DMSO, DMSO-D	4 L
10	Nanotubos de carbono HCl, HNO ₃ , agua	0.5 L

Fuente: Elaboración propia

En el mes de abril se recolectaron 17.55 litros y 0.338 kilogramos de residuos peligrosos, ver Tabla 12.

Tabla 12. Residuos recolectados en abril del año 2019.

ABRIL		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Sanitas, cotonetes, algodón, papel con PbS, Pbl, CdS, HCl	0.338 kg
2	HCl con iones Zn, Al, Pb, Sn, Co, Ni, U	0.5 L
3	HCl, tiourea, trietanolamina, nitrato de hierro, hidróxido de sodio, hidróxido de amonio	5 L
4	Tiourea, hidróxido de sodio, acetato plomo, acetona, CaCl	5 L
5	NH ₄ , Cl, Ar, cítrico, ácido glutámico, FeCl ₃	1.25 L
6	DMSO, bitalatos, acetato de etilo, acetona, cloroformo, agua, buffer, fosfato derivado de tetranadrina, metanol, etanol, HCl, NaOH	4 L
7	Estireno, diasacetato de etilo, 1,2 dicloroetano, complejos de cobre	0.3 L
8	Ligante tipo base de schiff derivado de aminoácidos (CuSO ₄ , MeOH, 1,2-hidroxiacetato femona	1.5 L

Fuente: Elaboración propia

En el mes de mayo del año 2019 se recolectaron 2.35 litros y 1.5 kilogramos de residuos peligrosos, ver Tabla 13.

Tabla 13. Residuos recolectados en mayo del año 2019.

MAYO		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Silica gel, etanol, aminas aromáticas	1.5 kg
2	CuCl ₂ , CuNO ₃ , EDTA, NH ₃ /NH ₄	1 L
3	EDTA, agua, buffer, NH ₄ Cl, ericromo, CaCO ₃	1 L
4	Buffer acetato, EDTA GdCl ₃ (cloruro de gadolinico)	0.25 L
5	FeCl ₃ , FeNO ₃	0.1 L

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en el mes de junio del 2019 se recolectaron 58.58 litros y 8.8 kilogramos de residuos peligrosos, ver Tabla 14.

Tabla 14. Residuos recolectados en junio del año 2019.

JUNIO		
	NOMBRE O DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD
1	Derivados de EDTA, EtOH	0.05 L
2	Sanitas, cotonetes, algodón pipetas Pasteur con PbS, CdS, FeO	0.272 kg
3	Vidrio con CdS, CoO, PbS, Pbl, CuI, CuS, SnS, ZnO, Al ₂ O ₃	7.5 kg
4	HCl, grafeno	1 L, 2.5 L
5	Zn, Al, Pb, Mn, Mg, TEA, NH ₄ OH, NH ₄ Cl	20 L
6	Tioacetamida, TU, NaOH, NH ₄ OH, Pb, Sn, Fe, TEA, Cu	20 L
7	MA-metilamonio, metilamonio, NaCl, DMSO, PbS, THF, InCl	0.8 L
8	H ₂ SO ₄ , grafeno	0.4 L
9	Ácido sulfúrico, grafeno, H ₂ O ₂	0.4 L
10	Cloruro de indio, cloro de plomo, CuCl	0.5 L
11	Sulfuro de tungsteno, sulfuro de sodio	0.1 L
12	HCl, Cd, Co, Cu, Zn, Al, Pb, Sn, Fe	0.2 L
13	AOT, nps AuAs, H ₂ O, isooctano, PtPb	0.6 L
14	AOT, isooctano, Ar, Ag, Pt	0.4 L
15	Acetato de uranio	0.2 kg
16	Nanoparticulas de oro y plata en agua	0.02 L
17	etOH, oxido de propileno,	0.01 L
18	FeAl ₂ O ₃	0.1 kg
19	NPs plata, etilenglicol extracto	2 L
20	Residuos liquido, aldehídos	0.05 L
21	Nanoparticulas de oro-plata, naranja de metilo	1 L
22	Agua, resina, formaldehido de tungsteno, etanol, acetonitrilo, tetraetiloxosilicato, HCl	0.4 L
23	Residuos sólidos aldehído	0.1 kg
24	PVA polivinil alcohol	0.2 L
25	Fluorhídrico en agua con nanomateria de SiC y SiO ₂ (SBAS)	5 L
26	Polinisopropil acrilamida, polimetil vinil, eter-MA=anhidro maleico, tetrametiletileno, diamina, persulfato de potasio, alginato, CaCO ₃ , TiO ₂	0.5 L
27	n-isopropilacrilamida, polimetil vinil eteranhidrido maleico, metilenacrilamida, persulfito de potasio	0.5 L
28	Alginato, CaCO ₃ , TiO ₂	0.05 kg
29	Polivinil alcohol, TiO ₂ , HCl, elutar aldehido	0.05 kg
30	Poli-NiPAM= polinisopropilacrilanida	1.5 L

Fuente: Elaboración propia

Los residuos generados no fueron recolectados de manera cronológica y ordenada, sino que se recolectaron en base a la disposición de estos en el momento en que el encargado de residuos del DIPM los solicitaba. Por tal razón, la comparativa que se realizó fue por la recolección de residuos de manera semestral: 2018-1, 2018-2 y 2019-1.

A través de la Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17 se observa que las fechas de recolección varían, así como las cantidades de éstos.

Tabla 15. Residuos recolectados en el Semestre 2018-1

Semestre 2018-1		
Mes	Residuo líquido (L)	Residuo sólido (kg)
Abril	112.9	75.8
Junio	38.2	4.8
Total	151.1	80.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Residuos recolectados en el Semestre 2018-2

Semestre 2018-2		
Mes	Residuo líquido (L)	Residuo sólido (kg)
Septiembre	47.15	0.8
Noviembre	25	5.3
Total	72.15	6.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Residuos recolectados en el Semestre 2019-1

Semestre 2019-1		
Mes	Residuo líquido (L)	Residuo sólido (kg)
Enero	27.9	0.75
Febrero	21.7	0
Abril	17.55	0.338
Mayo	2.35	1.4
Junio	58.58	8.8
Total	128.09	11.36

Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Gestión actual de residuos peligrosos en el laboratorio

El procedimiento para la gestión de residuos peligrosos en el laboratorio se rige por el “Manual de Manejo de Residuos Peligrosos Químicos para la Universidad de Sonora” creado en una colaboración por la División de Ciencias Biológicas y de la Salud, el Departamento de Ciencias Químico-Biológicas y el Programa Institucional de Salud y Seguridad Ambiental de la UNISON (PISSA-UNISON) (Álvarez, et al., 2003). Dicho manual cumple la función general de guía para la identificación y clasificación de residuos, la recolección, envasado, etiquetado, almacenamiento, recolección y transporte interno en UNISON.

De esa manera los residuos peligrosos al generarse por los usuarios, clasifican y se almacenan de manera temporal en el mismo laboratorio para después ser puestos a disposición en envase etiquetado a la persona encargada de la recepción de residuos peligrosos del DIPM, para posteriormente enviarse a PISSA-UNISON, en donde se encargan del procedimiento para su disposición final.

6.3 Clasificación de Residuos Peligrosos

Se investigó cómo es que los usuarios clasifican los residuos peligrosos para su posterior depósito y almacenamiento. Lo que se encontró fue que los usuarios clasifican los residuos peligrosos de acuerdo a lo que encuentran en la literatura respecto al residuo y en el momento en que se necesita, mas no hay disponible un documento a su alcance en donde puedan consultar de base cómo hacer la clasificación con precisión.

En la Figura 17 se puede observar que la clasificación no es claramente visual, lo que causa dificultad para los diferentes usuarios del laboratorio, puede también observarse la falta de alguna indicación o señalización alrededor del área de almacenamiento en donde se indique cómo están clasificados en su caso.



Figura 17. Clasificación de residuos peligrosos en contenedores

Fuente: Elaboración propia

6.4 Depósito de RP en contenedores seguros

Los residuos son depositados en contenedores de distintos tamaños y materiales, algunos de los contenedores son recipientes reusados de reactivos que se han acabado.

El ejemplo de contenedores utilizados para depositar los residuos en estado líquido se muestra en la Figura 18. Por su parte, el llenado de los contenedores es aproximado y variado respecto a la capacidad del contenedor, a la generación del residuo y al día de recolección de éstos. Generalmente intentan que el llenado sea al 80% de la capacidad del contenedor.



Figura 18. Ejemplo de contenedores utilizados para depósito de residuos

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, los residuos sólidos se almacenan en cajas de cartón expuestas al aire como se muestra en la Figura 19.



Figura 19. Ejemplo de contenedores utilizados para depósito de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

6.5 Etiquetado

El etiquetado que se maneja en los contenedores se realiza de acuerdo al contenido del envase, es decir, se escribe en una cinta, papel adhesivo o en el mismo contenedor con plumón el nombre de las sustancia o sustancias contenidas en cada contenedor, esto para el almacenamiento dentro del laboratorio.

Hay una variación en el etiquetado de cada contenedor, dependiendo de quien lo generó. La descripción del contenido varió en el nombre de la sustancia o sustancias, el símbolo químico o en la indicación de por quién fueron generados como se muestra en la Figura 20.



Figura 20. Ejemplo de contenedores utilizados para depósito de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia

No obstante, en las distintas visitas al laboratorio a lo largo del periodo de investigación, se encontraron al menos 2 de 10 contenedores con la etiqueta de PISSA UNISON, etiqueta oficial dirigida a todos los generadores de residuos peligrosos de la UNISON, ver Figura 21. Dicha etiqueta requiere: nombre del generador, departamento, teléfono, edificio, laboratorio o taller, origen de residuo, descripción del residuo y una tabla en donde se debe indicar el contenido del recipiente con sus especificaciones. A pesar de

encontrarse con relativamente pocos contenedores con esta etiqueta, se observó de la misma manera que las etiquetas no tenían todos los datos requeridos en su totalidad, esto debido a que los usuarios presentaban cierta desconfianza al poner su nombre como el “generador” y no se hacía la investigación para conocer la concentración original del residuo en el momento en que se va a recolectar. Esto último causaba por su parte, mucha incertidumbre en saber si realmente el contenido era el que se reportaba, ya que los residuos duraban meses y dentro de los contenedores se iban acumulando, con la posibilidad de no recordar qué residuos se han estado depositando a lo largo de esos meses.

INSTRUCCIONES:

- 1) Nombre: persona que llenó la etiqueta y que puede dar información del residuo.
- 2) Fecha: día, mes y año en que se agregó el primer residuo al recipiente.
- 3) Departamento: unidad de adscripción del generador.
- 4) Teléfono: número de la persona que puede proporcionar información acerca del residuo.
- 5) Edificio, laboratorio o taller: sitio de generación del residuo.
- 6) Origen del residuo: actividad en que se generó (académica, investigación, servicio, mantenimiento).
- 7) Descripción del residuo: información adicional (ejemplo: si es producto de la reacción y se sabe que es).
- 8) Contenido, concentración original y porcentaje: se indicará la composición del residuo, considerando la concentración de cada sustancia que se agregó y se indicará la proporción en por ciento en la que ésta se encuentra en el volumen total del residuo.
- 9) Clasificación: marcar en una o más categorías de la clave CRETI según sea el caso.



Universidad de Sonora
PISSA UNISON
Etiqueta de Identificación de Residuos



Nombre _____ Fecha _____
 Departamento _____ Teléfono _____ Edificio _____
 Laboratorio o taller _____
 Origen de residuo _____
 Descripción del residuo _____

Si no se conoce favor de llenar la siguiente tabla.

Contenido	Concentración Original	%

Clasificación clave CRETI

corrosivo	Reactivo	Explosivo	Tóxico	Inflamable
-----------	----------	-----------	--------	------------

Figura 21. Etiqueta de identificación de residuos PISSA-UNISON

Fuente: Álvarez et al (2003)

6.6 Almacenamiento

El almacenamiento de residuos del laboratorio de Semiconductores Inorgánicos se encuentra dentro del mismo.

Las particularidades encontradas del almacenamiento de residuos han sido principalmente la ubicación de éstos y la distribución. Como se muestra en la Figura 22 y 23, con lo que respecta a la ubicación, se encuentran debajo del extintor y obstruyendo el paso hacia la salida de emergencia. Por su parte, la distribución de los contenedores en el suelo no tiene un orden establecido, y se ha observado que en el caso de los residuos sólidos no se encuentran cerradas las cajas en donde se depositan y almacenan.



Figura 22. Ubicación y distribución de residuos peligrosos

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Ubicación y distribución de residuos peligrosos

Fuente: Elaboración propia

6.7 Aplicación de tratamiento y recolección

A través de la investigación realizada sobre los residuos generados se ha encontrado posible la aplicación de tratamiento de residuos en laboratorio antes del envío a PISSA-UNISON, y se ha documentado de la misma manera, cómo es el procedimiento que se realiza para el envío.

6.7.1 Aplicación de tratamiento de residuos en laboratorio

Se ha encontrado que los residuos peligrosos generados en el laboratorio podrían tener potencial para ser tratados en éste mismo, sin embargo, no es una acción que se realice debido a que al ser la Universidad de Sonora un plantel académico, debe contar con la autorización de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la cual se obtiene mediante un trámite de acreditación que requiere ciertos documentos y comprobaciones referente a la capacidad de asumir dicha autorización.

El tratamiento de residuos en el laboratorio solo es permitido como parte de la práctica que se realiza en cierto procedimiento, es decir, el generador debe incluir el procedimiento de "tratamiento" seguido de su práctica, antes de considerarlo residuos, y llegar a la etapa de clasificación, depósito y almacenamiento.

6.7.1 Envío a PISSA-UNISON

Una vez almacenados los residuos generados en cierto periodo, el cual varia dependiendo de la cantidad de residuos y consideración, se recolectan por la persona encargada de los residuos peligrosos del DIPM para posteriormente enviarse a PISSA-UNISON para su confinamiento.

El encargado de los residuos de cada laboratorio debe llenar el formato de la bitácora de generación de residuos peligrosos químicos, ver Figura 24, para entregársela posteriormente al encargado de residuos del DIPM.

Por su parte, el encargado de residuos del DIPM debe asegurarse de recibirlos de la manera requerida y segura, y llenar (transcribir) con la información del formato entregado por cada laboratorio, el formato para la recepción de residuos destinada a PISSA-UNISON, ver FIGURA 25.

PISSA-UNISON
FORMATO PARA LA RECEPCIÓN DE RESIDUOS

1175

DEPARTAMENTO: _____

RESPONSABLE: _____ FECHA: _____

DESCRIPCIÓN DEL RESIDUO	CANTIDAD	BITÁCORA DE PROCEDENCIA	CLAVE PISSA

RECIBÍÓ _____

Figura 25. Formato para ubicación y distribución de residuos peligrosos

Fuente: Álvarez et al (2003)

6.7 Propuesta Plan de Gestión de Residuos Peligrosos

El diseño del Plan de Gestión propuesto se ha creado en base a las áreas de oportunidad encontradas en cada una de las fases anteriormente descritas, principalmente en el estudio del inventario de reactivos, condiciones del laboratorio, usuarios y operaciones, y generación de residuos peligrosos. Asimismo, se destacaron variedad de acciones que limitaban la gestión de residuos peligrosos correcta, tales acciones y áreas de oportunidad se mencionan en la Tabla 18.

Tabla 18. Áreas de oportunidad consideradas para el Plan de Gestión

Área de oportunidad	Acción limitante
Inventario de reactivos	<ul style="list-style-type: none"> - Descontrol en el almacenamiento de reactivos - Reactivos repetidos y abiertos en cantidades significativas - Reactivos caducos
Condiciones del laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de extractor para facilitar la ventilación - Instrumentos de laboratorio dispersos por el lugar
Usuarios	<ul style="list-style-type: none"> - Las medidas de seguridad utilizadas por los usuarios se limitan a usar equipo de protección personal para depositar los residuos en contenedores
Residuos peligrosos	<ul style="list-style-type: none"> - Los residuos se almacenan temporalmente debajo del extintor y obstruyendo la salida de emergencia - El tiempo de almacenamiento de residuos en el laboratorio no tiene orden cronológico, es decir, su duración en el laboratorio es de tiempo indefinido dependiendo de factores como: el tamaño del recipiente, la disposición del usuario, la disposición de recolección y la organización del equipo del laboratorio - Los contenedores de los residuos no figuran de manera legible su contenido o carecen de tener alguna etiqueta funcional - Los residuos sólidos se encuentran en cajas de cartón abiertas - El formato de las etiquetas del laboratorio son aceptadas por el responsable de recolección del Departamento aún faltando espacios por llenar

Fuente: Elaboración propia

Al tener identificadas las áreas de oportunidad que dieron pie a las consideraciones descritas en el documento Plan de Gestión de Residuos Peligrosos en un Laboratorio de Investigación Científica, cuya portada se ilustra en la Figura 26, se ha considerado incluir tópicos de normatividad, aspectos iniciales que deben ser atendidos, estrategias de reducción de RP y estrategias de control.

Plan de Gestión de Residuos Peligrosos en un Laboratorio de Investigación Científica



Valeria Durazo Estrada

Programa del Posgrado en Sustentabilidad

Universidad de Sonora

2019

Figura 26. Portada del documento del Plan de Gestión

Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior y basándose en el Programa implementado por la Universidad de Texas, se ha considerado agregar en el plan de gestión elaborado las siguientes preguntas, estas como un aporte para el control y minimización de residuos peligrosos:

1. ¿El reactivo que se solicita se encuentra en el inventario del laboratorio? Si la respuesta es sí, ¿qué cantidad de reactivo se necesita?
2. ¿El reactivo se encuentra disponible en la Red de Donación e Intercambio de Sustancias Químicas y Medios de Cultivo de la Universidad (REDPISSA-UNISON)?
3. ¿Qué riesgos y peligros presenta su almacenaje y uso según la NOM-018-STPS-2015?

Por su parte, cada una de las consideraciones ha ejercido que el Plan proponga de manera integral cada una de las fases para la gestión adecuada y adaptada al laboratorio.

CARTA DE VALIDACIÓN POR PARTE DE LAS AUTORIDADES CORRESPONDIENTES

En el cumplimiento del compromiso del proyecto de investigación se hizo entrega de un Reporte Técnico sobre el diagnóstico actual del laboratorio, el cual incluye el Plan de Gestión de Residuos Peligrosos propuesto de acuerdo a las necesidades y a las áreas de oportunidad detectadas del laboratorio de Semiconductores Inorgánicos.



UNIVERSIDAD DE SONORA

Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales

Hermosillo Sonora a 21 de Junio del 2020

Dr. Javier Esquer Peralta
Coordinador del Posgrado en Sustentabilidad
PRESENTE. -

Por medio de la presente le saludamos cordialmente y hacemos de su conocimiento que Valeria Durazo Estrada y su tutora la Doctora Nora Elba Munguía Vega nos han entregado un **Reporte Técnico** el cual contempla un Plan de Gestión de Residuos Peligrosos de acuerdo a las necesidades detectadas en el laboratorio de Semiconductores Inorgánicos, como resultado del trabajo de tesis/tesina intitulado Plan de Gestión de Residuos Peligrosos en una Institución de Educación Superior, el cual, a nuestro criterio, cumple satisfactoriamente con las expectativas planteadas al principio del proyecto.

Sin otro particular, quedamos de usted,

ATENTAMENTE


Dr. Diego Hernández Martínez

**Jefe de la Comisión Interna de Seguridad e Higiene del Departamento de
Investigación en Polímeros y Materiales**

Edif. 3G, Blvd. Luis Encinas y Rosales S/N, Colonia Centro, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora
Tel. 259-21-61 Fax. 259 22 16 ext. 161 y 308

Figura 26. Carta Validación del Plan de Gestión

VII. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la investigación fueron comprometedores por el hecho de que los residuos peligrosos contaban con una gestión muy general sugerida por la Institución. No obstante, se identificaron diversas áreas de oportunidad desde el uso de reactivos químicos hasta la generación de residuos. Dichas áreas de oportunidad fueron consideradas en el Plan de Gestión sugerido y basado en las fases del “Programa de Gestión de Residuos Peligrosos” implementado en la Universidad de Texas A&M desde el año 2017.

Las acciones tomadas en lo que respecta a residuos peligrosos en el laboratorio presentaba deficiencias, esto en base a la investigación y documentación que se hizo de cada una de las fases que los usuarios seguían de manera incompleta. Por tal razón, antes de la creación del Plan de Gestión de Residuos Peligrosos, se realizó una “auditoría interna” para conocer cuál era exactamente la situación actual del laboratorio y partir de las áreas de oportunidad.

La realización de un inventario de reactivos del laboratorio, abrió el panorama para identificar la falta de control del uso y compras de éstos. Una cantidad de reactivos se encontraban repetidos o sin datos de identificación, lo cual dificultaba conocer la fecha de caducidad. No obstante, algunos reactivos fue posible identificar si eran aptos para utilizarse en base al estado físico de la sustancia, concordando con Concha (2016a). Por su parte, identificar el reactivo es necesario para consultar sus características en las HDS de acuerdo a la NOM-018-STP-2015. La información encontrada ha concordado con las características de corrosividad, radioactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad con las que son definidos los residuos peligrosos que se encuentran de manera más usual en los laboratorios químicos y de ingeniería según Siveramanan (2015).

En base a lo encontrado en la literatura se ha creado considerar la postura de variedad de autores respecto a las prácticas de laboratorios de investigación científica, tales prácticas nuevas o modificadas que pueden ser aplicadas respecto al inventario de reactivos, condiciones del lugar, usuarios y residuos peligrosos. Para dichas prácticas, tal como lo menciona Scungio (2015), es importante que el personal esté capacitado para la correcta

segregación y considera primordial conocer los flujos de generación, así como accionar en dichas áreas de oportunidad, de acuerdo a Ortiz (2014) puede prevenir futuros accidentes.

Como excepción, lo que respecta al tratamiento de los residuos, sugiere un estudio más profundo para realizar una tabla en donde se especifique el posible tratamiento en el laboratorio de cada residuo, lo que no se considera conveniente en un laboratorio de usuarios de posgrado por la rápida movilidad de éstos, ya que al no ser de docencia, los residuos generados suelen variar de semestre en semestre, por lo que habría que exigir a cada usuario responsabilizarse de clasificar, almacenar y entregar sus residuos de manera correcta, así como indicar particularidades de este en la etiqueta, las cuales posibiliten el identificar la composición química ya que es una característica relativa a la liberación potencial de cada sustancia que se deriva en la contaminación generada en el aire, agua y suelo como lo mencionan Tovar, Losada y García (2015).

Finalmente, con la presente investigación se ha demostrado que al ser la Universidad de Sonora una institución generadora de residuos peligrosos, hay escasez en el cumplimiento, en la regulación de lineamientos y en el interés por las partes involucradas, lo que crea como lo menciona Karthikeyan (2018b), una demanda urgente de acciones, siendo una de estas la implementación de auditorías internas, así como la revisión de la normatividad aplicable (Douglas, 2016). Y a pesar de que existen medios como lo son la SEMARNAT y la STPS para conocer cuáles son las condiciones óptimas para un lugar de trabajo en donde se haga uso de reactivos y se generen residuos peligrosos, se torna un reto para muchos investigadores debido a que se sigue considerando que hay una necesidad de leyes más estrictas respecto al uso de reactivos y la generación de residuos peligrosos en laboratorios de investigación científica (Kulkarni, 2016). Por lo que se concuerda con Santosh (2017), respecto a que en las instituciones tales como la Universidad de Sonora la investigación seguirá excediéndose mientras la ciencia siga desarrollándose, por lo que es una necesidad el identificar y cuantificar los residuos peligrosos y contar con un plan de gestión adecuado.

VIII. CONCLUSIONES

La implementación de un Plan de Gestión de Residuos Peligrosos en los laboratorios de las IES precisa tanto del interés, disposición y apoyo de las autoridades de la Institución, como de los usuarios.

La presencia de reactivos repetidos y caducos es un motivo de generación descontrolada de residuos peligrosos, ya que, en primera instancia, solo deben de estar presentes los reactivos que los usuarios hayan solicitado, y tener un orden del inventario y de compras.

Las limitantes presentadas en la investigación se debieron principalmente a la falta de información, falta de coordinación para la entrega de recolección y recepción de residuos peligrosos, falta de conocimiento por parte de los usuarios y negligencia en la manera de etiquetar y almacenar los residuos en el laboratorio.

Los flujos de generación de residuos deben de ser del conocimiento de la persona encargada de los residuos en el laboratorio y así mismo se debe estar pendiente de la fecha en que el residuo se generó para almacenarlo de manera segura y no crear una acumulación de residuos, ya que al generar una acumulación de residuos, es imposible conocer la generación mensual real.

Las practicas institucionales de gestión de residuos peligrosos afectan la postura de los usuarios. Sin embargo, la disposición de los usuarios fue óptima ya que mostraban interés en conocer los riesgos y peligros presentados por reactivos caducos y por la manera de la gestión actual de sus residuos peligrosos. Asimismo, resultó interesante la convivencia constante con los usuarios durante el periodo de etiquetado de los reactivos según la NOM-018-STPS-2015 ya que tomaron en cuenta la importancia de conocer las propiedades químicas y físicas, la palabra de advertencia, y la información que brindan los pictogramas sobre el reactivo que están utilizando.

Es posible que la implementación y el seguimiento del Plan de Gestión propuesto contribuya a una disminución de riesgos y peligros por residuos peligrosos, así como a

una disminución económica para la Universidad, por el hecho de que los residuos enviados a disposición final a la empresa encargada disminuiría, posiblemente, al buscar incorporar el tratamiento de algunos residuos al procedimiento de experimentación de los usuarios, así como llevar el control de las sustancias químicas almacenadas ya sea como reactivo o como residuo.

IX. RECOMENDACIONES

Al desarrollar la investigación y en base a la sección de conclusiones, se han considerado las siguientes recomendaciones:

- Realizar un estudio sobre la factibilidad o viabilidad de incluir los posibles tratamientos de cada residuo generado por cada usuario, al final de cada procedimiento de su experimentación.
- Proponer en los niveles administrativos auditorías internas sobre el almacenamiento de reactivos y la gestión de residuos peligrosos de manera constante en cada Departamento en donde se ubiquen laboratorios de investigación.
- Tomar medidas que intervengan en el historial de cada estudiante que falte a responsabilizarse de sus residuos peligrosos generados.
- Hacer un análisis con el fin de comprobar que la implementación y el seguimiento del Plan de Gestión propuesto contribuya a una disminución de riesgos y peligros por RP, así como a una disminución económica para la Universidad.

X. REFERENCIAS

- Ábalos, A., Aguilera, I., Pérez, R. M., 2010. Riesgo Químico en el laboratorio de análisis del Centro de Estudios de Biotecnología Industrial. *MEDISAN*. 14(6), pp. 799-806.
- Alcázar, M. D., 2016. Manual de gestión de residuos peligrosos de la Universidad de Murcia. Sección Radioprotección y Residuos. [pdf] Disponible en: <https://www.um.es> [Consultado el 07/XII/2018].
- Álvarez, C.R., Arce, M.E., Parra, N.V., 2003. Manual de Manejo de Residuos Peligrosos Químicos para la Universidad de Sonora Hermosillo, Sonora.
- Amadi, C., Okeke, O., Amadi, D., 2017a. Hazardous waste management: a review of principles and methods. *International Journal of Advanced Academic Research*. 3, pp. 1-20.
- Amadi, C., Okeke, O., Amadi, D., 2017b. Hazardous waste management: a review of principles and methods. *International Journal of Advanced Academic Research*. 3, pp. 1-20.
- Amasuomo, E., Baird, J., 2016. The concept of waste management. *Journal of Management and Sustainability*. 6(4), pp. 88-96.
- Arias, C. A., 2009. El uso de nuevas tecnologías en los laboratorios de química y la minimización del impacto sobre la salud y el medio ambiente. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuo. Universidad del Norte. Barranquilla-Colombia.
- Avsar, Y., Önder, G., 2017. Hazardous waste management in Turkey. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. 21(4), pp. 1-7.
- Bagban, M. A., Kadam, P. R., Ingale, S. A., Kad, R. S., 2016. An insight into different waste types and waste segregation methods. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 3, pp. 2060-2063.
- Benavides, A. C., Vargas, X., Chaves, G., Rodríguez, J. A., 2012a. Hacia una gestión de reactivos y residuos químicos en los laboratorios de docencia de la escuela de química en la Universidad Nacional. *Uniciencia*. 26(1-2), pp. 65-73.
- Benavides, A. C., Vargas, X., Chaves, G., Rodríguez, J. A., 2012b. Hacia una gestión de reactivos y residuos químicos en los laboratorios de docencia de la escuela de química en la Universidad Nacional. *Uniciencia*. 26(1-2), pp. 65-73.
- Berrio, L., Beltrán, O., Agudelo, E., Cardona, S., 2012a. Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico. *Gestión y Ambiente*. 15(3), pp. 113-124.
- Berrio, L., Beltrán, O., Agudelo, E., Cardona, S., 2012b. Sistemas de tratamiento para residuos líquidos generados en laboratorios de análisis químico. *Gestión y Ambiente*. 15(3), pp. 113-124.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 2006. National Guidelines for Hazardous Waste Landfills. Disponible en: <http://www.ccme.ca> [Consultado el 10/II/19]
- Castillo, R.A., Camargo, G., Rodríguez, M.L., 2013. La disposición de residuos peligrosos en la frontera norte de México: El caso de Baja California. *Estudios fronterizos*, 14(27), pp. 9-29.
- Concha, D., 2016a. Instructivo I-01: Clasificación y manejo de residuos peligrosos. Universidad de Concepción. [pdf] Disponible en: <http://www2.udec.cl> [Consultado el 05/I/2019]
- Concha, D., 2016b. Instructivo I-01: Clasificación y manejo de residuos peligrosos. Universidad de Concepción. [pdf] Disponible en: <http://www2.udec.cl> [Consultado el 05/I/2019]
- Díaz, F., 2009. Efectos en salud asociados con la exposición a residuos peligrosos. Seminario Internacional: Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/> [Consultado el 10/II/19]
- Dellavedova, M., 2011. Guía metodológica para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental. Universidad Nacional de la Plata.
- Devi, K., Sujana, O., Charan Singh, T., 2018a. Hazardous waste management in India – a review. *International Journal of Creative Research Thoughts*. [e-journal] 6., pp. 1547-1555. Disponible en: <http://www.ijcrt.org> Consultado el 19/XI/2018].
- Devi, K., Sujana, O., Charan Singh, T., 2018b. Hazardous waste management in India – a review. *International Journal of Creative Research Thoughts*. [e-journal] 6., pp. 1547-1555. Disponible en: <http://www.ijcrt.org> Consultado el 19/XI/2018].
- Diario Oficial de la Federación, 1999. Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.
- Diario Oficial de la Federación, 2004. Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
- Diario Oficial de la Federación, 2004. Norma Oficial Mexicana NOM-055-SEMARNAT-2003, Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos (excepto los líquidos y los radiactivos) previamente estabilizados.
- Diario Oficial de la Federación, 2006. Norma Oficial Mexicana NOM-052-semarnat-2005, Características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.
- Diario Oficial de la Federación, 2008. Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

- Diario de la Federación, 2011. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-160-SEMARNAT-2011, Que establece los elementos y procedimientos para formular los planes de manejo de residuos peligrosos.
- Diario Oficial de la Federación, 2014. Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-2014, Agentes químicos contaminantes del ambiente laboral-Reconocimiento, evaluación y control.
- Diario Oficial de la Federación, 2015. Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
- Douglas, E., 2016. Hazardous waste management and challenges in Nigeria. *Public Health International*. 1(1) pp. 1-5.
- Engineering and Consulting Firms Association, 2010. Hazardous waste management project formulation study in gujarat, India. Study Report. [en línea] Disponible en: http://www.ecfa.or.jp/japanese/act-pf_ika/H22/india_extoshi.pdf [Consultado el 20/XI/2018]
- Fazzo, L., Minichilli, F., Santoro, M., Ceccarini, A., Della Seta, M., Bianchi, F., Comba, P., Martuzzi, M., 2017a. Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environmental Health*. 16(1) [e-journal] Disponible en: <https://ehjournal.biomedcentral.com> [Consultado el 19/XI/2018].
- Fazzo, L., Minichilli, F., Santoro, M., Ceccarini, A., Della Seta, M., Bianchi, F., Comba, P., Martuzzi, M., 2017b. Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environmental Health*. 16(1) [e-journal] Disponible en: <https://ehjournal.biomedcentral.com> [Consultado el 19/XI/2018].
- Fazzo, L., Minichilli, F., Santoro, M., Ceccarini, A., Della Seta, M., Bianchi, F., Comba, P., Martuzzi, M., 2017c. Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environmental Health*. 16(1) [e-journal] Disponible en: <https://ehjournal.biomedcentral.com> [Consultado el 19/XI/2018].
- Fikri, E., Purwanto, P., Rya, H., 2015. Modelling of Household Hazardous Waste (HHW) Management in Semarang City (Indonesia) by Using Life Cycle Assessment (LCA) Approach to Reduce Greenhouse Gas (GHG) Emissions. *Procedia Environmental Sciences*. 23(2015), pp. 123-129.
- Hernández, I., Hereira, A., Primelles, E., Guerra, B., Ríos, L., Escobar, J., Zorrilla, M., Pérez, M., López, M., González, Y., 2005. Propuesta de programa para mejorar la seguridad y minimizar el vertimiento de residuos en laboratorios químicos de la UCLV. *Revista Cubana de Química*. 17(3), pp. 108-116.
- Hernández, S., Corredor, L.R., 2016. Reflexiones sobre la importancia económica y ambiental del manejo de residuos en el siglo XXI. *Revista de Tecnología*. 15(1), pp. 57-76.
- ISOTools, 2015. OHSAS 18001 ¿Qué es el método "What if...?". Plataforma Tecnológica para la Gestión de la Excelencia. [en línea] Disponible en: <https://www.isotools.cl/ohsas-18001-metodo-what-if/> [Consultado el 03/III/19]
- Karthikeyan, L., Suresh, V.M, Krishnan, V., Tudor, T., Varshini, V., 2018a. The management of hazardous solid waste in India: an overview. *Environments*. [e-journal] 5(9). Disponible en: <https://www.mdpi.com/journal/environments> [Consultado el 17/XI/2018].
- Kerr, J., 2017. Waste management policy and procedures manual. Northamptonshire Helathcare NHS. [pdf] Disponible en: <https://www.nhft.nhs.uk> [Consultado el 17/XII/2018]
- Kulkarni, S., 2016. Review on solid waste management with emphasis on hazardous waste. *International Journal on Research and Review*. 3, pp. 16-19.
- Laboratory waste disposal guidelines, (Anon., 2018). University of Wollongong, Australia. [pdf] Disponible en: <https://smah.uow.edu.au/> [Consultado el 17/XII/2018]
- Loureiro, A., Bitencourt da Silva, R., 2015. Environmental diagnosis of hazardous household wastes and the family health strategy as liaison for implementation of a management program in the South of Brazil. *Cadernos Saúde Coletiva*. 23(2), pp. 109-117.
- Lozano, J. F., 2016. Análisis de la gestión de residuos peligrosos generados en el laboratorio de control de calidad en Eurofarma Colombia SAS. Licenciatura. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Marín, D., Montes de Oca, O., González, Y., 2017. Evaluación de riesgos químicos en un laboratorio de química analítica por el método COSHH Essentials. *Ciencia en su PC*. 3, pp. 91-106.
- McLeod, V., 2017. How to determine and manage hazardous chemical waste in your lab. [en línea] Disponible en: <https://www.labmanager.com/> [Consultado el 15/XII/2018]
- Mmerekí, D., Baldwin, a., Hong, L., Li, B., 2016a. Management of Hazardous Waste in Developing Countries. In: Saleh, E.M, ed. 2016. *Management of Hazardous Waste*. IntechOpen. pp. 38-50.
- Mmerekí, D., Baldwin, a., Hong, L., Li, B., 2016b. Management of Hazardous Waste in Developing Countries. In: Saleh, E.M, ed. 2016. *Management of Hazardous Waste*. IntechOpen. pp. 38-50.
- Mora, J.C., Benavides, D., 2011. Clasificación de residuos químicos en laboratorios de la Universidad Nacional. *Revista de Ciencias Ambientales*. 41(1), pp. 61-69.
- Ortiz, L., 2014a. Identificación y análisis de riesgos para la realización del procedimiento de Seguridad y Salud y su aplicación en el laboratorio de electroquímica de capa fina. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.

- Ortiz, L., 2014b. Identificación y análisis de riesgos para la realización del procedimiento de Seguridad y Salud y su aplicación en el laboratorio de electroquímica de capa fina. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.
- PEGEX, 2014. Understanding the four characteristics of hazardous waste. [online] Disponible en: <https://www.hazardouswasteexperts.com> [Consultado el 11/I/2019]
- Protección Civil de España, 2013. Guía Técnica: Métodos Cualitativos para el Análisis de Riesgos. [en línea] Disponible en: <http://www.proteccioncivil.es/> [Consultado el 05/III/2019]
- Ramos, J., Peña, L., 2008a. Gestión de residuos químicos en instituciones educativas. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico. Artes y Ciencias Sociales. Pp. 85-88.
- Ramos, J., Peña, L., 2008b. Gestión de residuos químicos en instituciones educativas. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico. Artes y Ciencias Sociales. Pp. 85-88.
- Romero, E., Díaz, J.m 2010. El uso del diagram causa-efecto en el análisis de casos. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (México)*. 40(3-4), pp. 127-142.
- Sant'ana, L. P., 2016. Hazardous waste management in Japan: A report. *UNISANTA BioScience*. 4(4), pp. 1-5.
- Santosh, S.V, Bhaumik, S., Nandan, A., Anwar, N., 2017a. Hazardous waste – impact on health and environment for sustainable development in India. *World Scientific News*, [e-journal] 70(2), pp. 158-172. Disponible en: <http://www.worldscientificnews.com> [Consultado el 16/XI/2018].
- Santosh, S.V, Bhaumik, S., Nandan, A., Anwar, N., 2017b. Hazardous waste – impact on health and environment for sustainable development in India. *World Scientific News*, [e-journal] 70(2), pp. 158-172. Disponible en: <http://www.worldscientificnews.com> [Consultado el 16/XI/2018].
- Scungio, D. J., 2018. Current issues in laboratory waste. *MedicalLab Management*. [en línea] Disponible en: <https://www.medlabmag.com> [Consultado el 16/XII/2018]
- SEMARNAT, 2015. Normas Oficiales Mexicanas. [en línea] Disponible en: <https://www.semarnat.gob.mx> [Consultado el 09/II/2019]
- Sivaramanan, S., 2015. Hazardous waste management in University laboratories. Environmental Office. [pdf] Disponible en: <https://www.researchgate.net> [Consultado el 14/XII/2018]
- Skenderovic, I., Kalac, B., Becirovic, S., 2015. Environmental pollution and waste management. *Balkan Journal of Health Science*. 3(1), pp. 2-10.
- Soniya, S., 2014. Management of hazardous waste – opium marc. *International Research Journal of Environment Sciences*. 3(8), pp. 64-66. [en línea] Disponible en: <http://www.isca.in> [Consultado el 17/XI/2018].
- SGA, 2019. Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de productos químicos. [en línea] Disponible en: <http://ghs-sga.com> [Consultado el 13/II/2019]
- STPS, 2012. Marco Normativo de seguridad y salud en el trabajo. Portal de servicios electronicos. [en línea] Disponible en: <http://asinom.stps.gob.mx> [Consultado el 14/II/2019]
- Texas A&M University-Texarkana, 2017. Hazardous Waste Management Program. [en línea] Disponible en: <https://tamut.edu/About/Administration/Environmental-Health-and-Safety/> [Consultado el 15/XI/2018]
- Tovar, M., Losada, G., García., 2015. Impacto en la salud por el inadecuado manejo de los residuos peligrosos. *Ing. USBMed*. 6(2), pp. 46-50.
- Protección Civil del Estado de Sonora, 2009. *TRES-002-UEPC-2009*. [en línea] Disponible en: <http://www.proteccioncivil.sonora.gob.mx/images/tres002.pdf> [Consultado el 10/II/2019]
- UNEP, 2010. Harmful substances and hazardous waste. United Nations Environment Programme.
- University of South Florida, 2018. Chemical Hygiene Plan. [en línea] Disponible en www.usf.edu [Consultado el 11/II/2019]
- Vega, A.M., 2016. Propuesta de modelo de gestión integral para residuos peligrosos en laboratorios de docencia: caso del laboratorio de docencia de la escuela de ciencias ambientales. Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar, Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad Nacional. [pdf] Disponible en: <https://www.repositorio.una.ac.cr> [Consultado el 07/XII/2018]
- Waddell, D., 2015a. Laboratory waste management guide. Local Hazardous Waste Management Program in King County. [pdf] Disponible en: <http://labwasteguide.org> [Consultado el 17/XII/2018]
- Waddell, D., 2015b. Laboratory waste management guide. Local Hazardous Waste Management Program in King County. [pdf] Disponible en: <http://labwasteguide.org> [Consultado el 17/XII/2018]
- Wilson, D.C., Rodic, L., Modak, P., Soos, R., Carpintero, A., Velis, K., Iyer, M., Simonett, O., 2015. Global Waste Management Outlook. Report. UNEP. [pdf] Disponible en: <http://eprints.whiterose.ac.uk> [Consultado el 21/XI/2018].
- World Health Organization, 2015. Waste and human health: evidence and needs. [online] Disponible en: <http://www.euro.who.int/en/home> [Consultado el 20/XI/2018]
- Zainu, Z. A., Songip, A. R., 2017. Policies, challenges and strategies for municipal waste management in Malaysia. *Journal of Science, Technology and Innovation Policy*. 3(1), pp. 18-22.