

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA PARA LA EVALUACIÓN
CUANTITATIVA DE LA EXPOSICIÓN A METALES PESADOS EN
TRABAJADORES DE CENTROS DE RECICLAJE RAEE**

Francy Lorena Cruz Cocunubo

**Universidad El Bosque
Facultad de Medicina
Programa Especialización en Higiene Industrial**

**Bogotá DC
Noviembre de 2019
Universidad El Bosque
Facultad de Medicina**

Programa Especialización en Higiene Industrial

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA PARA LA EVALUACIÓN
CUANTITATIVA DE LA EXPOSICIÓN A METALES PESADOS EN
TRABAJADORES DE CENTROS DE RECICLAJE RAEE**

**Línea de Investigación:
Investigación para optar el título de Especialista en Higiene Industrial**

Francy Lorena Cruz Cocunubo

Lidy Yadira Cetina

Aprobación

Director de investigaciones

Director de la División de Postgrados

Directora de la Especialización de Higiene Industrial

Jurado

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en este trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”.

Agradecimientos

Como autora de este trabajo de grado, agradezco primeramente a Dios, por la vida y las oportunidades brindadas para la culminación de este proyecto.

Agradecimiento especial a la Ingeniera Lidy Yadira Cetina Castillo, profesora de la especialización en Salud Ocupacional e Higiene Industrial y directora principal del proyecto, por su apoyo y dedicación constante a mi proceso de aprendizaje y al desarrollo de este proyecto de grado.

A mi familia por el constante apoyo en la materialización de mis objetivos personales y la dedicación para brindarme la mejor educación posible.

A la Universidad el Bosque, por su aporte a la formación y crecimiento profesional de cada uno de sus estudiantes.

A todo el cuerpo docente de la especialización por la contribución en términos de conocimiento y experiencia en mi formación como profesional en el área de la Higiene Industrial.

Tabla de Contenido

1.	Planteamiento del problema	12
2.	Justificación	18
3.	Marco teórico	28
4.	Estado del arte.....	34
5.	Objetivos.....	41
5.1	<i>General</i>	41
5.2	<i>Específicos</i>	41
6.	Metodología	42
7.	Resultados.....	45
7.1	<i>Metodología de muestreo</i>	45
7.1.1	<i>Caracterización básica</i>	45
7.1.2	<i>Reconocimiento</i>	47
7.1.3	<i>Definición del número de puntos y número de muestras por punto</i>	50
7.1.4	<i>Determinación de los trabajadores a muestrear</i>	54
7.1.5	<i>Método de medición basado en la ruta de exposición</i>	55
7.1.6	<i>Equipos y accesorios usados en el muestreo</i>	57
7.1.7	<i>Toma de muestra</i>	68
7.1.7.1	<i>Ubicación de la bomba en el operario</i>	68
7.1.7.2	<i>Manejo de Portafiltros</i>	69
7.1.8	<i>Método de análisis</i>	70
7.1.9	<i>Interpretación de resultados</i>	72
7.1.10	<i>Reevaluación</i>	79
7.1.11	<i>Reporte y registro de las exposiciones</i>	80
7.2	<i>Matriz de identificación química de los metales</i>	81
7.3	<i>Matriz de Grupos de Exposición Similar (GES)</i>	83
7.4	<i>Formato de recolección y registro de datos de medición (cadena de custodia)</i>	84
7.5	<i>Matriz de Estrategia de muestreo para metales pesados</i>	89
7.6	<i>Base de datos de evaluación de la exposición</i>	91
7.7	<i>Calculadora de costos del muestreo</i>	96

7.8	Flujograma para el seguimiento de la exposición a metales pesados	98
8.	Discusión	100
9.	Conclusiones	107
10.	Recomendaciones.....	110
11.	Bibliografía	113

Índice de tablas

Tabla 1. Sustancias peligrosas y su localización en los RAEE (17).....	19
Tabla 2. Resultados de búsqueda sistemática en bases de datos.	35
Tabla 3. Diseño metodológico (estrategia para el desarrollo de los objetivos).....	42
Tabla 4. Fuentes de información para caracterización básica (AIHA) (80)	46
Tabla 5. Categorías de los agentes ambientales (AIHA) (80).....	48
Tabla 6. Categorización del índice de exposición (80).....	76

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Efectos de la contaminación por metales pesados en la salud. (14).....	16
Ilustración 2. Tabla de referencia de los tipos de mediciones de exposición que podrían tomarse para un estándar de exposición promedio de 8 horas (83).	52
Ilustración 3. Tabla del tamaño de muestras parciales según tamaño del grupo (81).	53
Ilustración 4. Modelo de la vía de exposición (AIHA) (78)	55
Ilustración 5. Bomba de muestreo (84).....	58
Ilustración 6. Calibrador de bomba (85)	59
Ilustración 7. Portafiltros de dos y tres piezas (85)	61
Ilustración 8. Tren de muestreo con bomba y filtro (85).	68
Ilustración 9. Bomba de muestreo en el trabajador (87).....	70
Ilustración 10. Clasificación según los límites de confianza (81).	74
Ilustración 11. Esquema de rangos de prioridad de la intervención.	78

El creciente aumento de las industrias tecnológicas y de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos RAEE en Colombia y en el mundo, ha generado impacto tanto positiva como negativamente en la vida de las personas, de allí parte el interés de esta investigación que tiene como objetivo el diseño de una estrategia para la evaluación cuantitativa de la exposición a metales pesados en trabajadores de centros RAEE.

Por medio de revisiones sistemáticas de organizaciones de otros países como OSHA, AIHA, NIOSH, ACGIH, EPA y la OMS, se determina la información necesaria y específica para el establecimiento de métodos de vigilancia de los trabajadores expuestos a metales pesados. Esta información sirve de guía y referente para el manejo de datos, signos y síntomas derivados de la exposición en el lugar de trabajo.

La caracterización de la fuerza laboral, el proceso y lugar de trabajo, y las sustancias químicas a las que se expone el trabajador, es el primer paso para la determinación de un método analítico que permita establecer la estrategia de muestreo respectiva para cada metal pesado que compone los aparatos eléctricos y electrónicos, posterior a ellos, se hace importante la determinación de formatos y bases de datos que permitan la correlación de resultados con el fin de determinar los controles y métodos higiénicos para disminuir la exposición ocupacional de los trabajadores a los agentes químicos en cuestión.

Palabras clave: Metal pesado, RAEE, Exposición ocupacional, estrategia de muestreo.

The increasing growth of the technological industries and Waste of Electrical and Electronic Devices WEEE in Colombia and in the world, has generated an impact both positively and negatively on people's lives, hence the interest of this research that aims to design of a strategy for the quantitative evaluation of exposure to heavy metals in workers of WEEE centers.

Through systematic reviews of organizations in other countries such as OSHA, AIHA, NIOSH, ACGIH, EPA and WHO, the necessary and specific information for the establishment of surveillance methods for workers exposed to heavy metals is determined. This information serves as a guide and reference for the management of data, signs and symptoms derived from exposure in the workplace.

The characterization of the workforce, the process and workplace, and the chemical substances to which the worker is exposed, is the first step in determining an analytical method that allows establishing the respective sampling strategy for each heavy metal that composes the electrical and electronic devices, after them, it becomes important to determine formats and databases that allow the correlation of results in order to determine the controls and hygienic methods to reduce the occupational exposure of workers to chemical agents.

1. Planteamiento del problema

En los últimos tiempos, la producción y el consumo de equipos eléctricos y electrónicos han ido en creciente aumento. Esto, debido a la cantidad de beneficios que han proporcionado para el desarrollo científico, cultural e industrial alrededor del mundo (1). En vía del desarrollo mundial, los avances tecnológicos han sido en la actualidad unos de los más importantes esto en vista a la necesidad de cumplir sueños y necesidades de un mundo actualizado y globalizado que pretende ver materializado cada uno de los objetivos de desarrollo.

La alta producción de estos aparatos a nivel mundial, en forma paralela ha generado un aumento significativo en los desechos de este tipo de productos debido a la necesidad de actualizar o renovar los mismos, o a la eliminación definitiva por la terminación de su ciclo de vida. La gran demanda de estos elementos eléctricos y electrónicos ha llevado a las grandes industrias a generar aparatos desechables y con tiempos de vida más cortos, con el fin de ser cambiados por nuevas versiones (2).

La basura electrónica es todo desecho de algún dispositivo diseñado para funcionar por medio de energía eléctrica desde las redes públicas, baterías o diferentes campos electromagnéticos; además también son conocidos como Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) o Waste Electrical (e-Waste) (3). Sean categorizados como desecho, como basura o como chatarra, los residuos electrónicos son motivo de preocupación debido a la disposición final que se le da a los mismos, ya que la mayoría de aparatos electrónicos contienen elementos altamente tóxicos que afectan no solo al medio ambiente sino también a los seres humanos.

“Anualmente, se generan en todo el mundo más de 40 millones de toneladas de residuos electrónicos y expertos aseguran que hacia el año 2030 serán más de mil millones de toneladas” (4)

El convenio de Basilea establece que los residuos peligrosos son aquellos desechos que contengan retardantes de llama policlorados y polibromados; metales pesados como el Cromo Hexavalente, Cadmio, Plomo, Mercurio o Cobre, también tóxicos derivados de la incineración como los Dibenzofuranos y Dibenzoparadióxinas, e incluso cuenta como residuo peligroso la basura de montajes eléctricos o los mismos cables eléctricos. (5)

A nivel mundial este problema de producción y desecho de basura electrónica es muy deducible pero tiene diferentes magnitudes. Las Naciones Unidas ONU en el año 2015 indicó que América Latina generó el 9% de toda la basura electrónica del mundo, entre ella incluidos los monitores de televisión, computador, electrodomésticos, celulares, entre otros. Vale la pena recalcar que los mayores productores de basura electrónica a nivel mundial son Estados Unidos y China, solo la suma de estos dos países forma casi la tercera parte del total (2).

En Colombia, la generación de RAEE domésticos en el 2014 se estimó en 252.000 toneladas, equivalentes a 5,3Kg por habitante. Esto indica que la rápida innovación tecnológica y así mismo la reducción de vida útil de los mismos, entre otros factores, contribuyen a que estos residuos sean una de las corrientes de mayor crecimiento y aumento en el mundo ya sea en países industrializados como no industrializados (6).

El riesgo para la salud humana y del medio ambiente va ligado directamente a la mala gestión de estos RAEE, adicional a esto la población no tiene conocimiento sobre la presencia de metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes y otras sustancias peligrosas que

conllevan estos aparatos eléctricos o electrónicos. Es importante identificar las tres fuentes principales de sustancias que se pueden liberar durante el manejo, recuperación y el reciclaje de estos RAEE, estos son: los constituyentes originales de los equipos tales como, el Plomo, el Cadmio y el Mercurio; las sustancias que pueden añadirse durante dichos procesos de recuperación tales como el Cianuro; y las sustancias no intencionales que pueden formarse durante estos procesos como las Dioxinas y Furanos (7).

Hasta el 90% de los componentes de ciertos aparatos eléctricos y electrónicos son reciclables y además comercializables; un informe de la Universidad de las Naciones Unidas – UNU señala que los 41,8 millones de toneladas de equipos eléctricos y electrónicos tirados a la basura en 2014 contenían preciosos recursos, como oro y otros minerales, por valor de 52.000 millones de dólares (8). Algunos RAEE generados a nivel mundial son transportados hacia países en desarrollo o sectores de vulnerabilidad donde generalmente se utilizan técnicas primitivas que conllevan a darles una disposición final inadecuada como por ejemplo disponer los RAEE en rellenos sanitarios, incineración y procesos de reciclaje informal o artesanal, esto con el fin de extraer materiales y componentes que suplan un costo económico, sin embargo estos componentes pueden causar una cantidad significativa de daños en la salud, contaminación en aire, agua y suelo (9).

Según la Agencia para la Protección del medio Ambiente (EPA), una gran problemática ambiental que ha surgido en los últimos tiempos se debe directamente a la mala disposición que se le da a los residuos electrónicos, ya que han generado consigo un alto riesgo de contaminación de aguas y del ecosistema en general; para el año 2000 más de 4,6 millones de toneladas de desechos electrónicos fueron dispuestos en vertederos (10).

Respecto a la gestión formal de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en referencia al 2018 existen en el país aproximadamente 54 empresas destinadas al procesamiento de desechos electrónicos (11), éstas aportan significativamente en los índices de empleo del país, sin embargo mientras esta industria crece ya sea de manera legalmente constituido o informal, la exposición de los trabajadores a las diferentes sustancias y metales pesados provenientes de estas actividades también va en creciente aumento, lo cual es un indicador de alerta para la prevención y manejo ideal de este tipo de residuos.

Este tipo de actividad informal y primitiva ha incrementado de gran manera el riesgo de exposición humana, ya que muchas de las familias y personas que las realizan no cuentan con protección alguna para los procesos de reciclaje, quema o desarme; al día de hoy y respecto a varios estudios se ha determinado la presencia de compuestos tóxicos y peligrosos en adultos trabajadores, mujeres embarazadas y niños expuestos que han presentado alteraciones en las funciones celulares, complicaciones perinatales, problemas cancerígenos, etc. (12)

Cuando se lleva a cabo el proceso de reciclaje de estos residuos eléctricos y electrónicos, los metales pesados que se producen y/o se encuentran directamente en los equipos pueden entrar al cuerpo humano de los trabajadores a través del aire por vía nasal, bucal por ingestión o dermatológica en caso de contacto directo con el agente, estos pueden generar daños a varios de los órganos del cuerpo humano, ya sea, riñón, hígado, ojos, pulmones, entre otros (13).

Los efectos que generan los metales pesados en el cuerpo humano son múltiples, no obstante es importante recalcar que los seres vivos requieren pequeñas cantidades de estos metales para diferentes funciones biológicas. Sin embargo, cuando hay un aumento significativo de

estos se producen alteraciones en procesos bioquímicos y fisiológicos en el organismo. El Cadmio por ejemplo genera anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteoporosis, osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, trastornos nerviosos, cáncer, entre otros efectos. Por su parte, el Arsénico presenta lesiones en piel (queratosis, hiperqueratosis, hiperpigmentación), lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado, además está clasificado en el grupo I de sustancias cancerígenas por la IARC. El Plomo provoca retraso del desarrollo mental e intelectual de los niños, hipertensión, enfermedades cardiovasculares en adultos, dolor y debilidad muscular, efectos teratogénicos. Respecto a las altas concentraciones de Cobre, se han relacionado alteraciones como anemia hipocrómica, necrosis hepática, diarreas, muerte. En referencia al Mercurio, además de efectos similares a los anteriormente nombrados, se suma la neurotoxicidad producida manifestada con temblores y pérdida de sensibilidad en extremidades, ataxia, pérdida de visión y audición, espasmos y en casos extremos coma y muerte (13).



Ilustración 1. Efectos de la contaminación por metales pesados en la salud. (14)

Cabe aclarar que la lista de metales pesados y efectos de los mismos es extensa y el desarrollo de las patologías o síntomas en los trabajadores, dependerá directamente de la susceptibilidad individual de cada uno de los individuos expuestos. Teniendo en cuenta lo anterior, es

importante tener un control sobre la exposición de los trabajadores para disminuir el desarrollo de efectos y anomalías en el organismo de los individuos ya que están altamente propensos a desarrollar los efectos anteriormente nombrados en los procesos de Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

2. Justificación

El creciente aumento tecnológico que se desarrolla a nivel mundial es evidente, la progresiva demanda de aparatos eléctricos y electrónicos son un auge de los últimos tiempos, y el consumismo que se ha generado alrededor de la misma es de gran magnitud; esto ha llevado a una producción masificada de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Es por esto que se ha generado la necesidad de modelar industrias que se dediquen al aprovechamiento, reciclaje y disposición final de este tipo de residuos, para con ellas darle un uso correcto o ideal a los mismos. Sin embargo, como se menciona en el inciso anterior, los problemas ambientales y de salud que se generan dentro de dichas industrias o dichas actividades también han tenido un creciente aumento evidenciado en la aparición de patologías y afecciones en sistema nervioso, medula ósea, tracto respiratorio, tracto gastrointestinal, trastornos renales, esclerosis múltiple con sintomatología como parestesias, paresia, fatiga, daño mitocondrial directo y además en cifras de defunciones infantiles a causa de contaminación ambiental que afectan directamente a los trabajadores, sus familias o las personas aledañas a las inmediaciones (15).

Los aparatos electrónicos son una mezcla de materiales diversos que contienen materias primas escasas y valiosas que valen la pena recuperar. Sin embargo, también estos elementos contienen compuestos peligrosos que aunque no generan problemas durante su uso si se convierten en un peligro importante cuando son liberados al medio ambiente como tal (16). El manejo de estos residuos es de gran importancia y debe realizarse en instalaciones que cuenten con todas las autorizaciones legales y ambientales según la normatividad vigente.

Dentro del manejo de estos residuos se relaciona también el transporte, almacenamiento, tratamiento y aprovechamiento de los mismos.

Los componentes de los RAEE son en su gran mayoría peligrosos para la salud, los metales ferrosos y no ferrosos, plásticos, vidrios, madera, tarjetas de circuito, caucho y otro artículos, constituyen una lista bastante amplia de elementos que generan efectos sobre la salud, sin embargo, los metales pesados suelen superar los umbrales de las normas relacionadas con los residuos peligrosos de diferentes países, elementos tales como, Mercurio, Berilio, Plomo, Arsénico, Cadmio, Cromo hexavalente, Selenio, entre otros se ha comprobado generan efectos adversos sobre la salud, además se debe tener en cuenta que muchos de ellos son cancerígenos (6).

La Política Nacional de Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos brinda un listado en el cual se relacionan las sustancias peligrosas de los RAEE y su localización en los mismos, a continuación en la Tabla 1 se representa la información que brinda el Ministerio de ambiente y Desarrollo Sostenible (17).

Tabla 1. Sustancias peligrosas y su localización en los RAEE (17)

Sustancia	Localización en los RAEE
Arsénico	Pequeñas cantidades en forma de arseniuro de galio en diodos emisores de luz (LED).
Bario	Captadores (getters) en tubos de rayos catódicos (TRC)
Berilio	Fuentes de potencia que contienen rectificadores controlados de silicio y lentes de rayos X.
Cadmio	Baterías recargables, película fluorescente, tintas de impresora y tóner y máquinas de fotocopias (tambor de impresión).

Cobalto	Baterías recargables, circuitos internos.
Cobre	Circuitos electrónicos, cables, conectores, baterías.
Estaño	Baterías
Cromo VI	Cintas de datos y discos flexibles.
Plomo	Pantallas de TRC baterías y tarjetas de circuito impreso.
Litio	Baterías de Litio
Mercurio	Lámparas fluorescentes que proporcionan iluminación en LCD, en algunas pilas alcalinas y el mercurio como contacto en interruptores.
Níquel	Baterías recargables de Nicd o NiMH y cañón de electrones en los TRC.
Oro	Circuitos electrónico, cables, conectores, baterías.
Plata	Circuitos electrónico, cables, conectores, baterías.
Paladio	Circuitos electrónico, cables, conectores, baterías.

Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

En Colombia, como en todo el mundo, las ventas de equipos eléctricos y electrónicos han ido en constante crecimiento. En promedio en el país cada colombiano produce 5,3 kilogramos de residuos electrónicos al año, de estos 3,7 kilos son residuos de equipos de cómputo, sin embargo a la cifra total se deben incluir teléfonos móviles, monitores de televisión, consolas de video, entre otros (18).

Organismos multilaterales a nivel mundial han brindado convenios de adopción voluntaria sobre los RAEE, pues, debido al contexto global en el cual se enmarca esta problemática se ha evidenciado un crecimiento, algunos ejemplos de estos lineamientos o convenios para el

manejo y disposición de estos elementos son el Convenio de Estocolmo¹ (19), Convenio de Basilea² (20), Convenio de Rotterdam (21)³, entre otros. Lo que se busca con estos convenios es gestionar legislaciones que logran regular la creciente problemática que se ha desarrollado con estos aparatos.

Sin embargo, en América Latina la legislación ha ido avanzando poco a poco, en Colombia se cuenta con las siguientes leyes:

- ❖ La Ley 1672 del 19 de Julio de 2013 *“Por la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) y se dictan otras disposiciones”*. Esta Ley establece los lineamientos que se requiere a nivel nacional para el establecimiento de la política pública de gestión y manejo diferenciado de los RAEE (22).
- ❖ Ley 09 de 1979 *“Por la cual se establecen medidas de control de agentes químicos y físicos que puedan afectar la salud humana en todo tipo de establecimientos mediante la regulación de las características de localización, esquema básico y manejo de protección contra accidentes (23)”*. Esta Ley establece todo lo necesario como normas y procedimientos para la protección del medio ambiente, control sanitario de los usos del agua, vertimiento y usos de residuos líquidos y sólidos, emisión atmosféricas, entre otros.

¹ Convenio de Estocolmo: Tiene como objeto proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes (COP), así como promover las mejores prácticas y tecnologías disponibles para reemplazar a los COP que se usan actualmente y prevenir el desarrollo de nuevos COP.

² Convenio de Basilea: Acuerdo por medio del cual 170 países convinieron proteger el medio ambiente y la salud humana de los efectos nocivos provocados por la generación, manejo, movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación.

³ Convenio de Rotterdam: Este convenio establece un sistema de alerta rápida para ayudar a los países a protegerse contra determinados productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.

- ❖ Ley 99 de 1993 “*Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA, y se dictan otras disposiciones*” (24). Esta Ley establece estos organismos públicos para brindar un proceso de desarrollo ambiental, económico y social del país orientado según los principios universales y desarrollo sostenible, además formular políticas ambientales teniendo en cuenta los derechos de los entes relacionados.
- ❖ Ley 55 de 1993 “*Por medio de la cual se aprueba el ‘Convenio No. 170 y la Recomendación número 177 sobre la Seguridad en la Utilización de los Productos Químicos en el trabajo (25)’*”. Establece las pautas y recomendaciones pertinentes para el uso de químicos, cáncer profesional, el medio ambiente de trabajo y la seguridad y salud de los trabajadores.
- ❖ Ley 253 de 1996 “*Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de Marzo de 1989 (26)’*”. Establece los lineamientos respectivos sobre correcto uso, disposición, reducción, y compatibilidad, teniendo en cuenta que los desechos peligrosos, otros desechos y sus movimientos transfronterizos, pueden causar daño a la salud humana y al medio ambiente.
- ❖ Ley 1252 de 2008 “*Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones (27)’*”. Esa Ley tiene como objeto la regulación de todo lo relacionado con la importación y exportación de residuos peligrosos en el territorio nacional, optando por políticas de

producción más limpia, minimización de la generación de los mismos, disposición adecuada y eliminación responsable de tales residuos.

Además de las leyes mencionadas anteriormente, el estado Colombiano cuenta con decretos y resoluciones afines (28).

La importancia que tiene el establecimiento de políticas y legislación en relación con el tema de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos es de vital importancia para el país y para el mundo. Esto lleva a establecer lineamientos que son de estricto cumplimiento, por lo cual, se hace necesaria la implementación de estrategias que permitan dar una mejor disposición y manejo a estos elementos, y así, prevenir enfermedades o consecuencias en trabajadores y/o personas que se encuentren en contacto con estos materiales.

En países no industrializados y desde un foco más cercano, en Colombia, las técnicas de manejo y recuperación para extraer materiales valiosos de los RAEE han aumentado el riesgo de exposición a estas sustancias peligrosas debido a su mal desarrollo y sus prácticas inseguras; un ejemplo de esto es la quema en ambientes abiertos y sin protección que generan humos tóxicos que contienen metales procedentes de las soldaduras. Además de repercutir en la salud de las personas que manipulan este tipo de elementos, es importante tener en cuenta el medio ambiente que también se ve afectado en gran manera por muchas de las disposiciones que se les dan a estos materiales, la liberación de sustancias químicas peligrosas en el ambiente puede conducir a la bioacumulación, la contaminación de alimentos y una contaminación ambiental generalizada (6).

Es por esto que, es de vital importancia empezar a buscar métodos o estrategias que permitan determinar los riesgos a los cuales está expuesto el trabajador o la persona que tenga contacto con este tipo de residuos, para lograr una prevención y concientización temprana de los efectos atribuibles a los tóxicos que se producen tras prácticas inseguras y elementales a estos residuos. En un país como el nuestro, donde el trabajo informal tiene un gran porcentaje y los métodos de trabajo no son los ideales, se debe velar por la prevención integral de posibles efectos generados por prácticas inseguras, por ende se hace pertinente determinar evaluaciones que permitan establecer las concentraciones a las cuales se exponen las personas y compararlas con los límites permisibles para así delimitar los niveles de acción y de mejora en los lugares de trabajo.

Teniendo en cuenta lo anterior, los empleadores tienen obligaciones legales frente al tema de producción, manejo, disposición y eliminación de los RAEE. Entre ellos: asegurar y velar que los trabajadores no se encuentren expuestos a sustancias químicas en el lugar de trabajo por encima de los valores límite permisibles; velar por la aplicación de controles estrictos en todas las fases de tratamiento de estos residuos; establecer las disposiciones respectivas sobre derechos y obligaciones para el desarrollo de actividades que tengan algún impacto con el medio ambiente teniendo en cuenta tramites y permisos y aplicar Guías de Atención Integral de Salud Ocupacional en la prevención de los daños a la salud por causa o con ocasión del trabajo, la vigilancia de la salud, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de los trabajadores en riesgo de padecer patologías ocupacionales.

En Colombia se cuenta con leyes, decretos y resoluciones respecto a la Seguridad y Salud en el Trabajo, a continuación se enuncian algunas:

- ❖ Ley 1562 de 2012: *‘‘Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de Salud Ocupacional’’*. Esta ley establece el conjunto de normas y procedimientos, destinados a proteger y atender a los trabajadores de los efectos de las enfermedades y los accidentes que puedan ocurrirles con ocasión o como consecuencia del trabajo que desarrollan (29).
- ❖ Decreto 1477 de 2014: *‘‘Por la cual se expide la Tabla de Enfermedades Laborales’’*. Este Decreto tiene como objeto expedir la Tabla de Enfermedades Laborales, con dos puntos específicos: 1. Agentes de riesgo, para facilitar la prevención de enfermedades en las actividades laborales y, 2. Grupos de enfermedades, para determinar el diagnóstico médico en las trabajadores afectados (30).
- ❖ Decreto 1443 de 2014: *‘‘Por el cual se dictan disposiciones para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)’’*. El presente decreto tiene como objeto definir las directrices de obligatorio cumplimiento para implementar el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo – SG-SST, que serán aplicadas por empleadores públicos y privados, contratantes de trabajadores dependientes, contratistas, trabajadores cooperados y trabajadores en misión (31).
- ❖ Decreto 1072 de 2015: *‘‘Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo’’*. Este decreto busca la formulación y adopción de las políticas, planes generales, programas y proyectos para el trabajo, el respeto por los derechos fundamentales, las garantías de los trabajadores, el fortalecimiento, promoción y protección de las actividades de la economía solidaria y el trabajo decente; por medio de un sistema efectivo de vigilancia, información, registro, inspección y control (32).

- ❖ Resolución 2400 de 1979: *“Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo”*. Esta resolución tiene como objeto determinar las disposiciones para proveer y mantener el medio ambiente ocupacional en adecuadas condiciones de higiene y seguridad de acuerdo a la normatividad y por medio de programas de medicina preventiva, higiene y seguridad industrial (33).

Teniendo en cuenta las leyes, decretos y resoluciones listados anteriormente, se realiza una comparación con La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), en cuanto a la higiene industrial aplicada a las industrias desde su perspectiva.

OSHA determina de manera más específica los lineamientos que se deben seguir para prevenir los accidentes por sustancias tóxicas y peligrosas, entre ellos, tener en cuenta los niveles de exposición, el monitoreo de la exposición, las notificaciones a los empleados, los EPP la regulación de las áreas, los controles, programas de cumplimiento y vigilancia médica. Además considera que se debe determinar de manera más específica el monitoreo de la exposición, teniendo en cuenta cada una de las sustancias, sus límites de exposición ocupacional y los niveles de acción, para poder determinar un control más efectivo. En el país, hace falta ligar más a los trabajadores a los planes de acción que se desarrollen para la prevención de accidentes de trabajo, así mismo, brindarles acceso a los análisis de riesgos de proceso, a la información relativa a los riesgos de los productos químicos altamente peligrosos, información relativa a la tecnología del proceso e información relativa a los equipos en proceso. Fortalecer las pautas de Elementos de Protección Personal (EPP), brindando una evaluación de riesgos en el lugar de trabajo para determinar y seleccionar los

equipos correctamente, además brindar entrenamiento a los empleados para el uso eficaz de los EPP respectivos en cada tarea que desempeñe el trabajador. Reforzar la selección correcta de la protección respiratoria, teniendo en cuenta evaluaciones médicas, ajustes herméticos, requerimientos generales, tipo de atmosferas, factores de protección asignados y máximas concentraciones de uso. Mejorar la aplicabilidad de los códigos de seguridad para los peligros físicos en los lugares de trabajo, teniendo en cuenta los colores específicos, los controles ambientales, la clasificación de señales en función del uso. Además, en cuanto a ventilación, se deben tener en cuenta los diferentes peligros por las actividades que se realicen, sus medidas y métodos de extracción, los suministros de aire, sistemas de escape, colectores de polvo, salas de pulverización, y procedimientos operacionales y de seguridad general (34).

De igual forma es importante realizar estrategias como la planteada en este trabajo ya que no se encuentra ninguna Guía de Atención Integral en Seguridad y Salud en el Trabajo (GATISO) que aborde el tema principal de este estudio, pues estas se basan netamente en solventes, patologías musculares y no se da la contemplación de los metales pesados en las mismas.

Se hace necesario conocer cuáles son los efectos de salud que se quieren prevenir por medio de la medición para establecer el control de la exposición; teniendo en cuenta lo anterior, realizar una investigación que nos diga cuáles son las actividades que se deben realizar para evaluar cuantitativamente la exposición a metales pesados en trabajadores de centros de Reciclaje de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

3. Marco teórico

El auge del avance tecnológico se ha expandido a nivel mundial, miles de personas en el mundo somos consumistas excesivos de equipos eléctricos o electrónicos, esto debido a que suplen necesidades importantes en la vida en general; desde los equipos utilizados en todas las familias como electrodomésticos hasta los aparatos utilizados para comunicación y lujo. Es por esto que es importante definir que son y que contienen este tipo de insumos que se manejan a diario y alrededor de las veinticuatro horas del día a nivel mundial.

De acuerdo con la Directiva 2012/19/UE de la Unión Europea (Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012), **los aparatos eléctricos y electrónicos o AEE** se definen como: *“Todos los aparatos que para funcionar debidamente necesitan corriente eléctrica o campos electromagnéticos y los aparatos necesarios para generar, transmitir y medir tales corrientes y campos y que están destinados a utilizarse con una tensión nominal no superior a 1.000 voltios en corriente alterna y 1.500 voltios en corriente continua”* (6).

Los **AEE** son productos muy complejos que incluyen numerosos componentes como piezas metálicas, piezas plásticas, carcasas de plástico, madera o metal, tarjetas de circuito impresos, tubos de rayos catódicos, pantallas de cristal líquido, cables, pilas, baterías, diversos componentes electrónicos, etc. Cabe recalcar que la proporción de cada uno de los materiales anteriormente mencionados dependerá directamente del tipo de AEE en cuestión (35).

El Ministerio para la transición ecológica del gobierno de España expresa que, en el caso de un teléfono móvil (donde los metales representan el 23% de su peso) se puede contar con la

presencia de 40 de los metales recogidos en el sistema periódico, entre ellos se encuentran: metales básicos como el Cobre, Estaño, metales especiales como el Cobalto, Indio y Antimonio y metales preciosos como Plata, Oro y Paladio (35).

Teniendo en cuenta la alta producción de AEE, se hace paralela la obtención de grandes cantidades de **Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)**, estos están definidos como *“todos los aparatos eléctricos y electrónicos que pasan a ser residuos”*, es decir, los aparatos eléctricos y electrónicos *“de los cuales su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse”*. Sin embargo a esta definición de **RAEE** se puede incluir el criterio del propietario acerca de los aparatos eléctricos y electrónicos, esto quiere decir que el propietario puede considerar un AEE un residuo y deshacerse de él por algún daño, desuso, reemplazo u otros factores, allí es donde el propietario decide si el AEE será un residuo o podrá ser reutilizado por alguien más. (6)

Estos **RAEE** tienen cierta composición y peligrosidad que pueden generar diferentes efectos en la salud de los trabajadores o personas que se encuentren expuestas a los mismos. En estos residuos se pueden encontrar diferentes materiales y sustancias que se podrían clasificar tanto en “peligrosas” como en “no peligrosas”; los RAEE se componen principalmente de metales preciosos (como Oro, Plata, Aluminio, Níquel, Zinc, Hierro), de metales pesados (Mercurio, Plomo, Cadmio, Arsénico, Berilio) y otros materiales como plásticos y vidrio (36).

Según el United Nations Environmental Programme, el Hierro y el Acero constituyen aproximadamente el 50% de los RAEE, seguidos por los plásticos (21%), los metales no

ferrosos (13%) y otros constituyentes (17). Un ejemplo detallado de la composición de algunos RAEEs es brindada por Corantioquia, en su documento se determinan los componentes de un computador de la siguiente manera: 24% vidrio, 23% plástico, 20,5% acero, metales ferrosos, 18% metales no ferrosos, 12% circuitos electrónicos que incluyen metales y 2,5% cerámicos y otros polímeros (9).

Teniendo en cuenta la cantidad de elementos que componen a los RAEE, se hace indispensable caracterizar y diseñar estrategias que permitan prevenir las lesiones que los mismos pueden generar en la salud de las personas; como componente principal de este estudio, se tendrán en cuenta los metales pesados que se encuentran en estos elementos; según la tabla periódica, **los metales pesados** *“son elementos químicos con alta densidad (mayor a 4g/cm³), masa y peso atómico por encima de 20, y son tóxicos en concentraciones bajas. Entre ellos se encuentran: Aluminio (Al), Bario (Ba), Berilio (be), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Estaño (Sn), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Arsénico (As), Cromo (Cr), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Selenio (Se), Talio (Tl), Vanadio (Va), Oro (Au) y Zinc (Zn)”*. Estos metales se encuentran de manera natural en el ambiente, en concentraciones que por lo general, no perjudican las diferentes formas de vida, sin embargo una excesiva concentración de estos pueden alterar procesos bioquímicos y/o fisiológicos del organismo y su toxicidad depende directamente de la concentración del mismo. (37)

La presencia de estos componentes (metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes, retardantes de llama y otras sustancias peligrosas) constituyen un gran **riesgo para la salud humana y para el medio ambiente**; los problemas para la salud derivan de la manipulación insegura para los operadores directos, y de la contaminación que se genera en aire, agua y

suelos para los trabajadores y también para las personas que residen cerca de los sitios donde se hace acopio y procesamiento de estos residuos (38). Por lo anterior se hace importante tener en cuenta que cuando se habla de **exposición** “*se debe relacionar el contacto con un agente físico, químico o biológico potencialmente nocivo como resultado del trabajo de una persona*” (39). Ligado a la exposición está el **expuesto** que según el reglamento federal de Seguridad y Salud en el Trabajo de México, “*son los trabajadores que en ejercicio y con motivo de su ocupación están expuestos a condiciones inseguras, condiciones peligrosas o contaminantes del ambiente laboral*” (40).

En concordancia con lo anterior, cuando los trabajadores están desarrollando algún tipo de labor, están expuestos ocupacionalmente a diferentes peligros, teniendo en cuenta esto, **la exposición ocupacional** está definida como “*el contacto con algún agente físico, químico o biológico potencialmente dañino como resultado de un trabajo con el mismo*” (41).

La exposición a los desechos electrónicos “*es un proceso complejo porque hay muchas rutas y fuentes de exposición, así mismo diferentes periodos de tiempo y efectos emergentes. Así mismo la variabilidad de la exposición puede provenir del tipo y la cantidad de desechos electrónicos, su historial de procesamiento, los sitios, los métodos, la vulnerabilidad fisiológica, entre otros aspectos*”. Las personas están expuestas a sustancias peligrosas en los desechos electrónicos a través de rutas como el aire, agua, tierra, polvo y alimentos; las exposiciones acumulativas son previsiblemente altas en los lugares donde se han operado de manera informal los residuos durante más de una década (42).

Para evaluar la exposición y el riesgo derivado de la misma, se hace necesario realizar una **evaluación cuantitativa de la exposición** en la cual *“se comparan la concentración en aire ponderada en el tiempo de un determinado contaminante, obtenida a partir de mediciones representativas, con los valores límites fijados para el agente en cuestión tanto los definidos para exposiciones diarias como los aplicables a periodos cortos de exposición. Esta comparación deberá permitir obtener unas conclusiones sobre la exposición, lo que nos dirigirá a tomar decisiones sobre las actividades preventivas a desarrollar en un futuro inmediato”* (43). Para determinar los niveles de acción para establecer controles necesarios que disminuyan o inhiban los efectos derivados de la exposición se deben tener en cuenta los **Valores Límites Permisibles (TLVs)** que están definidos como *“las concentraciones de sustancias químicas en el aire y representan condiciones bajo las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente, día tras día, durante la vida laboral, sin efectos adversos para la salud* (44)”

La Organización Mundial de la Salud OMS recalca que la presentación y severidad de los signos, síntomas y alteraciones en el organismo se relaciona con las cantidades, el tiempo de exposición y con la vía de entrada del metal. Cuando se dan **exposiciones crónicas** definidas como *“aquellas que se presentan cuando hay una contaminación ambiental o presentación de sustancias tóxicas en suelo, aire y agua”* (45) se observan enfermedades o efectos como, anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteoporosis, trastornos nerviosos, pérdida de peso, cáncer de próstata y pulmón, entre otros efectos. En **intoxicaciones agudas** que son *“el conjunto de síntomas como consecuencia inmediata de la absorción de una dosis importante e un producto tóxico ingerido o inhalado en una sola vez, o varias seguidas”* hay efectos como neumonitis y edema pulmonar, gastroenteritis, náuseas, vómito, diarrea, dolor

abdominal, entre otros; y finalmente, se pueden presentar efectos teratógenos, congénitos y aberraciones cromosómicas (46).

Teniendo en cuenta los componentes tóxicos y peligrosos de los RAEE, es importante establecer la disposición final de los mismos diferenciándolos de los desechos convencionales. Es por esto que surgen los **centros gestores de RAEE**, definidos en la ley 1672 como *“persona natural o jurídica que presta en forma total o parcial los servicios de recolección, transporte, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento y/o disposición final de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)”* (47),; en los que se desarrollan procesos de **desensamble** parcial o completo *“proceso que consiste en separar los componentes principales y peligrosos o algunas de sus partes que conforman los RAEE”*; cuando *“se extraen los elementos que tienen un potencial tóxico bastante alto, evitando así que los componentes contaminados terminen en fracciones aprovechables para reciclar y facilitando su manejo posterior”* se denomina **descontaminación** (28).

Teniendo en cuenta lo definido en el desarrollo de este inciso, se hace importante diseñar un tipo de estrategia de evaluación para la cuantificación de la exposición a metales pesados en los trabajadores de centros de gestión de RAEE, esto con el fin de determinar la exposición y lograr una concientización por parte de los empleadores y empleados en temas de salud y seguridad en el trabajo.

4. Estado del arte

Por medio de bases de datos de revistas indexadas como Science Direct, Pub Med, Fuentes Institucionales (INSHT, OSHA, Instituto Karolinska) y Repositorios Institucionales de Universidades Nacionales, fue realizada la búsqueda de la literatura correspondiente a la exposición y medición de metales pesados en la industria de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

Los términos claves utilizados para la búsqueda sistemáticas fueron: Heavy metals assesment, Occupational exposure and heavy metals, heavy metals and e waste, heavy metals: health effects.

Fueron seleccionados artículos de años recientes (2015 en adelante) en su mayoría en idioma inglés, en los cuales se relaciona la exposición a metales pesados en industrias de desechos electrónicos y como fue cuantificada la concentración de los mismos en dichos lugares. Se encontraron alrededor de 2500 artículos, tanto en revistas indexadas como en repositorios institucionales de diferentes universidades de Bogotá donde se encontraron 15 proyectos de grado relacionados; sin embargo durante el desarrollo de la investigación se excluyen ciertos artículos en los cuales se da un enfoque netamente ambiental, no ocupacional, o sin relación con el tema dispuesto en este trabajo de grado.

La búsqueda se limita a artículos que tengan relación directa con la exposición a los metales pesados y su uso en el sector trabajo, con repercusiones en la salud y estilo de vida de los trabajadores y personas aledañas a los lugares de trabajo, respectivamente en el sector de tratamiento y recolección de aparatos eléctricos y electrónicos formal e informal.

Posteriormente se reduce la cifra a 220 artículos que corresponden a la búsqueda específica de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos y metales pesados, de los cuales se seleccionan 14 primordiales en los que se relacionan los términos y criterios importantes para esta investigación. Estos 14 artículos, de investigación se seleccionaron a partir de la revisión de los abstract, la metodología y sus conclusiones para entender de manera general las afectaciones de la salud de los trabajadores dada a causa de la exposición a los metales pesados en su lugar de trabajo, además se hace importante relacionar metodologías para la recuperación de algunos de los metales relacionados y la exposición a metales de los residentes aledaños a los centros de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos.

A continuación en la siguiente tabla se relaciona el origen del artículo y la cantidad de artículos provenientes de las fuentes respectivas.

Tabla 2. Resultados de búsqueda sistemática en bases de datos.

Origen del artículo	Cantidad de artículos
Science direct	10
American Chemical Society	1
Pubmed	2
Repositorios Institucionales	1

Fuente: Elaboración propia

Los artículos relacionados en el Anexo #1 son en su mayoría de países como China, Tailandia e India, donde la actividad de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos es de mayor demanda tanto de manera formal como informal (48), (49), (50), (51), (52), (53), (54),.

Según The Asean Post, en el año 2018, las importaciones de desechos electrónicos en los estados del sudeste asiático han visto una tendencia al alza y la acumulación de estos desechos recientemente. Se estima que 37,000 toneladas de desechos electrónicos ingresaron a Tailandia lo que ha provocado temores de los efectos perjudiciales a largo plazo (55).

China aceptaba el 70% de los desechos electrónicos del mundo hasta Septiembre de 2018: computadoras, teléfonos celulares, impresoras, televisores, microondas, detectores de humo y otros equipos electrónicos y piezas desechadas. Cuando esta república prohibió 24 tipos de residuos sólidos, Europa y América del Norte comenzaron a enviar más al sudeste asiático, pero ahora Vietnam y Tailandia, cuyos puertos se han desbordado también han decidido frenar los desechos electrónicos importados. Es por esto que la revisión bibliográfica arroja gran cantidad de artículos de investigaciones relacionados a estos países (56).

Los autores de los artículos seleccionados, se centran en analizar la exposición que tienen trabajadores, sus familias y personas aledañas a zonas de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos, en estos estudios se determina la concentración de diferentes metales pesados como Plomo, Cadmio, Cobre, Níquel, Paladio, entre otros, por medio de pruebas específicas como pruebas en sangre y orina en el trabajador y familiares o personas cercanas a los centros RAEE, espectroscopia de emisión atómica y pruebas de material particulado en el ambiente de trabajo (57), (58), (59), (60) (61); tras la determinación de la concentración han establecido en los artículos la necesidad de políticas de protección ambiental pues la exposición de los trabajadores a estos metales y los efectos que conlleva la misma es de bastante interés para los investigadores (62).

En otras fuentes de información se recopilan estudios significativos de técnicas de muestreo de metales; La Universidad de la Salle cuenta con un estudio enfocado en la determinación

de metales pesados (Pb, Cu, Cr, Zn, Fe, entre otros) en las fracciones respirables del aire (PM10) y sus fuentes de emisión a partir de un muestreo atmosférico en la localidad de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá; para las técnicas de muestreo se utilizó filtros de fibra de vidrio, filtros de cuarzo y un muestreador de alto volumen, para la lectura de las concentraciones de las muestras se utilizó un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA) (63).

En cuanto a exposición ocupacional a metales pesados, el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia, brinda documentos en los cuales se relaciona la exposición de trabajadores de fábricas de zapatos, metalurgia, pintura y soldadura a solventes orgánicos y metales pesados, quienes presentan un riesgo alto a desarrollar enfermedades crónicas como cáncer; las técnicas utilizadas en los estudios son múltiples, pruebas de alteraciones cromosómicas (AC) (64), método ID-125G de la OSHA (filtros de membrana de éster celulosa (MEC), porta filtros de 37 mm de diámetro, bomba portátil con caudal conocido) (65), método de Monte Carlo (66), biomarcadores, entre otros.

Por otra parte, en el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional, se relacionan estudios e investigaciones afines a la acumulación de metales pesados en suelos, animales, alimentos, agua y aire, que generan riesgos a la salud humana por sus efectos tóxicos y nocivos (67) .

Por su parte la Universidad Javeriana ha desarrollado cinco proyectos de grado con referencia a los Residuos Eléctricos y Electrónicos, en los documentos se desarrollan planes estratégicos para el manejo sostenible de residuos de AEE en la Universidad Javeriana (68) y un plan de gestión integral de residuos sólidos en la Universidad Del Rosario (69), también determina

los lineamiento para una gestión integral de los RAEE para hogares en las ciudades de Ibagué, Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla (70) y por último uno de estos estudios trata la aproximación a una gestión ambiental para el manejo de los residuos de aparatos celulares con énfasis en el tratamiento y su viabilidad económica (71).

La Universidad Distrital Francisco José De Caldas cuenta con proyectos de grado afines a los Residuos Eléctricos y Electrónicos desde el análisis de la exposición a Plomo en los trabajadores que desensamblan Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en la empresa Orinoco E-Scrap S.A.S (72); el diseño y formulación de planes de Gestión Integral para el manejo de residuos peligrosos y residuos de (RAEE) en diferentes empresas (73).

Por su parte, la Universidad El Bosque, brinda un artículo, en el cual se analiza la generación de Residuos de Aparatos Eléctrico y Electrónicos (RAEEs) como un estudio de caso en la ciudad de Neiva. En él, los autores presentan un análisis del comportamiento de la generación de residuos peligrosos en el sector industrial, comercial y de servicios de la ciudad de Neiva, con este estudio se estableció la cantidad, el manejo y la disposición final de este tipo de residuos por medio de una herramienta de recolección de información, lo cual permitió a los investigador, dar un punto de partida para nuevos estudios y generación de alternativas a mediano plazo relacionadas con la sostenibilidad, la innovación y el emprendimiento a nivel local (74).

Otra investigación, se titula: “una gestión y prevención de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE): una propuesta para promover la economía circular”. En ella la autora, nos explica como los breves ciclos de innovación tecnológica y prácticas como la obsolescencia programada hacen que los AEE sean sustituidos con demasiada frecuencia siendo desechados aun cuando todavía funcionan o pueden ser reparados, lo cual provoca un

crecimiento exponencial de RAEE. Por ende se pretende con el artículo, exponer algunas directrices de carácter general que deberían orientar las reformas en materia de gestión y prevención de RAEE aplicando la estrategia de economía circular, que integra el diseño ecológico, el análisis del ciclo de vida y la lucha contra la obsolescencia programada (75).

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) brinda una metodología simplificada para la evaluación del riesgo por exposición a productos químicos llamada COSHH ESSENTIALS, esta metodología se basa en un modelo cualitativo que proporciona una guía o asesoramiento sobre la medida de control adecuada durante la exposición a agentes químicos, cuyas vías de entrada al organismo son la inhalatoria y dérmica, en la operación que se está evaluando (76).

OSHA ofrece ciertos apartados en los cuales se relacionan los peligros existentes respecto a la salud de los trabajadores; para peligros por productos químicos, relaciona las directrices técnicas sobre sustancias, pautas de vigilancia médica, muestreo y métodos analíticos, hojas de datos de seguridad de las sustancias, controles a la exposición, uso de elementos de protección personal y códigos de seguridad cuando se habla de peligros físicos (34).

Por su parte, el Instituto Karolinska, realiza investigaciones sobre los efectos tóxicos de los metales y como hay relaciones causales entre la exposición a estos y diversas enfermedades teniendo en cuenta como los factores de susceptibilidad influyen en estas relaciones; esto por medio de biomarcadores de exposición y efectos tempranos, técnicas como ICP-MS (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente), HPLC (Cromatografía líquida de alta eficacia) y métodos para análisis de daños genéticos (77).

Todas las fuentes estudiadas brindan gran información sobre la concentración de metales pesados en áreas de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos, también sobre los efectos que estos conllevan en los trabajadores, sus familias y personas que vivan en lugares adyacentes a los centros de reciclaje, además incluyen técnicas de muestreo que son importantes para la determinación de posibles políticas y controles específicas para el control de los riesgos asociados a estos elementos.

5. Objetivos

5.1 General

- Diseñar una estrategia para la evaluación cuantitativa de la exposición a metales pesados en trabajadores de centro de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos.

5.2 Específicos

- Identificar (desde el punto de vista de la higiene industrial) factores de riesgo y variables claves para la medición de los metales pesados.
- Diseñar la estrategia de muestreo para la evaluación cuantitativa de la exposición a los metales pesados procedentes de los procesos de reciclaje.
- Diseñar las bases de datos pertinentes para el desarrollo de la estrategia de muestreo.

Pregunta de investigación

¿Cuáles son las actividades que se deben realizar para evaluar cuantitativamente la exposición a metales pesados en trabajadores de centros de gestión de RAEE?

6. Metodología

6.1 Diseño metodológico

Se propone un diseño metodológico en el cual cada uno de los objetivos se rige por actividades y entregables, con el fin de darle cumplimiento total a cada uno de ellos.

Tabla 3. Diseño metodológico (estrategia para el desarrollo de los objetivos)

Objetivo Específico	Actividades	Entregables
Identificar (desde el punto de vista de la higiene industrial) factores de riesgo y variables claves para la medición de los metales pesados.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construir un listado de aparatos eléctricos y los metales que los componen. 2. Construir una base de datos de metales pesados con su identificación química y las formas de presentación química. 3. Caracterización de las propiedades físico químicas de los metales pesados y sus factores de riesgo. 4. Identificar límites de exposición ocupacional para metales pesados (TLVs, LEOs, MAKs, Wheel). 5. Construir matriz de variables y escalas de medición frente a la evaluación cuantitativa de la exposición a metales pesados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Matriz de caracterización de metales pesados. 2. Matriz de variables de evaluación cuantitativa de la exposición. 3. Diagrama de flujo del proceso a seguir para caracterizar el proceso de trabajo y los factores de riesgo asociados a la exposición.
Diseñar la estrategia de muestreo para la evaluación cuantitativa de la exposición a los metales pesados procedentes de los procesos de reciclaje.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseñar formatos de recolección de información de muestreo en el puesto de trabajo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formatos de recolección y registro de datos de medición. (Cadena de custodia, recolección de datos en campo, grupos de exposición similar)

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Recopilación de métodos analíticos y técnicas de recolección de muestras de metales pesados. 3. Síntesis de información de muestreo en matriz. 4. Diseñar una estrategia de costeo de muestreo. 	<ol style="list-style-type: none"> 2. Matriz de estrategia de muestreo 3. Plantilla de estructura de costos de muestreo.
<p>Diseñar las bases de datos pertinentes para el desarrollo de la estrategia de muestreo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseñar base de datos 2. Diagramas de flujo y esquemáticos de la base de datos. 3. Diseñar flujos e interacciones para la custodia de la información. 4. Recopilar los criterios de inclusión para la toma de decisiones de intervención con base en los resultados. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Base de datos para el registro, procesamiento y custodia de los resultados de muestreo. 2. Flujograma de conservación de información y trazabilidad de los resultados. 3. Matriz de priorización para la toma de decisiones de intervención frente a los resultados.

Fuente: Elaboración propia

6.2 Consideraciones éticas

De acuerdo a la Resolución 8430 del 1.993⁴ reglamentada por el Ministerio de Salud (78) ; se determina que para fines de este trabajo, se desarrolle un diseño de tipo teórico donde se pretenda establecer el diseño de una estrategia para la evaluación cuantitativa de la exposición a metales pesados en trabajadores de centros de reciclaje RAEE.

En ese orden y basados en los principios básicos del código internacional de ética, que son servir a la salud y el bienestar social de los trabajadores, respetando su dignidad humana a través de imparcialidad y confidencialidad de los datos (79); surge la necesidad de buscar

⁴ Resolución 8430 del 1993: "Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud".

estrategias que permitan determinar métodos de cuantificación para tomar medidas de prevención a la exposición a metales pesados en el ambiente de trabajo de centros RAEE.

De acuerdo con los lineamientos dados por la organización internacional del trabajo entregados en *Technical and ethical guidelines for workers' health surveillance*, se establece que para fines éticos de este trabajo no se requiere de la elaboración ni ejecución del consentimiento informado, ya que no se interviene directamente al trabajador y por lo tanto no se maneja información personal que amerite confidencialidad médica (49).

Esto determina que, toda la información que se requiera para la elaboración de este trabajo será tomada directamente de la empresa a evaluar (dado el caso) y de instituciones que brinden información veraz, y de calidad para la correcta selección de los métodos a utilizar.

7. Resultados

7.1 Metodología de muestreo

A continuación se describe el equipo y los procedimientos necesarios para la toma de muestras de metales empleando filtros de membrana de éster celulosa (MEC) y bombas de succión utilizando los métodos analíticos referenciados en la matriz de estrategia de muestreo ANEXO (5).

La estrategia de muestreo descrita a continuación, toma como base los procedimientos recomendados por el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), en este apartado también se encuentran los procedimientos de calibración de los equipos.

Para el desarrollo de la medición de los agentes específicos, en este caso de metales pesados, se siguen los siguientes pasos, teniendo en cuenta aspectos importantes para evitar errores de medición.

7.1.1 Caracterización básica

Inicialmente deben establecerse lazos de contacto con la empresa, obteniendo datos importantes para el desarrollo de listas de chequeo y hojas de datos con información general acerca de la industria, tipos de puesto de trabajo, cantidad de empleados, horarios, jornadas y ciclos de trabajo, para agilizar el proceso de observación en los recorridos del lugar de trabajo. Es necesario iniciar el proceso de evaluación de la

exposición recolectando y organizando la información básica y necesaria para caracterizar el lugar de trabajo, la fuerza laboral y los agentes de riesgo presentes. La información obtenida es utilizada para entender las actividades que deben desarrollarse, los materiales que van a utilizarse, los procesos que deben mejorarse e iniciarse y los controles existentes para tener una visión clara de las condiciones de la exposición.

Tabla 4. Fuentes de información para caracterización básica (AIHA) (80)

Método de recolección	Tipo de información
Inspección visual (por ej: visita a las instalaciones y observación)	Operaciones, procesos, tareas. EPP, controles de exposición, división de tareas, agentes ambientales.
Entrevistas a los trabajadores, gerentes e ingenieros	Tareas, prácticas de trabajo, problemas de salud, procesos, controles de exposición, mantenimiento, agentes ambientales.
Entrevistas al personal médico y de seguridad	Problemas de salud, patrones de problemas, prácticas laborales, historial de exposición, agentes ambientales.
Registros Estándares de proceso Estándar de procedimientos ocupacionales Producción Personal Médico Ingeniería Reportes ambientales Diagramas de flujo de proceso	Historial de condiciones, inventario de químicos, registro de cantidades utilizadas, tareas, historial de trabajo, eficiencia de controles de ingeniería, resultados de monitoreos ambientales pasados, resultados de monitoreo biológicos pasados.

Estándares gubernamentales y no oficiales	Límites de exposición actuales Límites de exposición propuestos
Materiales y sustancias químicas	Bases de datos de MSDS Sistema de compras
Equipos Empleados	Bases de datos de ingeniería, bases de datos de mantenimiento y mantenimiento preventivo, bases de datos de recursos humanos.

Fuente: American Industrial Hygiene Association (AIHA)

7.1.2 Reconocimiento

Inicialmente se debe realizar un reconocimiento global y completo de los lugares de trabajo donde se hará cualquier tipo de intervención, para dar cabida a la formulación de un programa que permita resolver y mejorar situaciones encontradas en el ámbito laboral.

Este reconocimiento permite identificar diferentes riesgos y factores ambientales que son originados en los lugares de trabajo y brindan información sobre las condiciones que causan enfermedades profesionales.

Se debe iniciar con el recorrido objetivo del lugar de trabajo, donde se deben identificar sus dimensiones, distribuciones de actividades y proceso productivo teniendo en cuenta tanto la materia prima inicial como el producto final, con el fin de comprender de manera minuciosa todo el proceso para poder estimar en qué momento se genera algún tipo de exposición para los trabajadores.

Las condiciones del puesto de trabajo influyen de manera decisiva en la forma en que el contaminante químico va a llegar al trabajador. Entre ellas están las siguientes:

características del proceso industrial, focos de emisión del contaminante, distancia del trabajador a los focos de emisión, eficacia de la ventilación general.

También, aspectos relacionados con el propio trabajador hacen que sean más susceptibles de sufrir daños unos trabajadores que otros. Entre estos se encuentran los siguientes: prácticas de trabajo desarrolladas, hábitos higiénicos personales, personas especialmente sensibles a determinados agentes químicos (81).

Adicionalmente es importante relacionar y estudiar los riesgos físicos, químicos, mecánicos o biológicos que se puedan detectar, así mismo los controles previamente establecidos que disminuyen en cierto grado la exposición a los diferentes riesgos.

El propósito de esta etapa de reconocimiento es definir aquellos factores de riesgo que por su importancia deberán ser evaluados de manera más detallada, esto a través de la priorización de los riesgos por aspectos como: Número de trabajadores a riesgo, tipo de exposición, nivel de exposición y posibles riesgos.

Es importante tener en cuenta la información de los agentes ambientales, cada agente químico, físico y biológico potencialmente peligroso en el lugar de trabajo debe ser identificado. Esto para determinar qué tipos de exposición se presenta en el lugar de trabajo, el inventario de estos agentes debe incluir información sobre la aplicación o fuente de cada uno. La Tabla 4, muestra las diferentes categorías de los agentes ambientales establecidos por la AIHA.

Tabla 5. Categorías de los agentes ambientales (AIHA) (80)

Categoría	Descripción
Materia prima	Materiales principales del proceso (por ej, reactivos, solventes, medios filtrantes) que ayudan en el proceso.

Productos intermedios	Productos que no se venden, pero que pueden ser utilizados como materia prima más adelante en el proceso.
Productos	Materiales que se forman a consecuencia del proceso de manufactura.
Subproductos	Materiales secundarios que se forman durante el proceso de manufactura, normalmente en pequeñas cantidades, que pueden separarse de los productos como corrientes de desechos.
Aditivos	Materiales complementarios (por ej. Inhibidores, surfactantes, catalizadores y pigmentos) que se añaden al producto final para mejorar el proceso o producto.
Materiales de mantenimiento y construcción	Material refractario, solventes, material aislante, humos de soldadura, lubricantes, adhesivos, etc. a los cuales están expuestos los trabajadores de mantenimiento.
Químicos del laboratorio	Materiales usados en la preparación de muestras o llevar a cabo pruebas químicas y análisis instrumental
Desechos peligrosos	Normalmente mezclas de material sólido y líquido que pueden ser peligrosas de manera individual o como mezcla.
Agentes físicos	Materiales radioactivos, ruido, vibración, radiación ionizante, radiación no-ionizante, calor, etc.
Agentes biológicos	Organismos y materiales biológicamente activos producidos por organismos vivos.

Fuente: American Industrial Hygiene Association

7.1.3 Definición del número de puntos y número de muestras por punto

La concentración de los contaminantes químicos varía sensiblemente a lo largo de la jornada, por lo que será necesario que el muestreo cubra toda la jornada o el tiempo de exposición completo, cuando éste sea inferior a la jornada completa (81).

Para determinar la cantidad de muestras, es importante tener en cuenta los siguientes factores:

- Cantidad de trabajadores que deben ser muestreados.
- Donde debe situarse el sistema de muestreo
- Cuantas muestras son necesarias por día
- Tiempo de duración del muestreo
- Durante que horario se debe muestrear

Adicionalmente, para la clasificación de muestras, se deben considerar tres aspectos importantes:

- Muestras según el tiempo de muestreo: Pueden ser muestras instantáneas que duren hasta 15 minutos, y muestras integradas de periodos más largos de 30 minutos hasta una jornada completa de 8 horas.
- Según la ubicación del sistema de muestreo pueden ser:
 - Personal: El equipo es colocado al trabajador quien continuamente lo lleva durante las 8 horas de su jornada laboral o durante 7 horas y 15 minutos.
 - Respiratoria: El equipo de muestreo es llevado y manejado por otra persona, quien procura mantener la succión del aire lo más próximo a la zona respiratoria del trabajador.

- Ambiental: El equipo de muestreo es colocado en una posición fija representativa del ambiente general de trabajo o se hace un barrido completo de la zona. El objetivo es conocer la distribución del agente en el espacio.
- Cerca del punto de generación del contaminante: Permite obtener información sobre la existencia de un riesgo, verificar el cumplimiento de las normas, orientar la aplicación de medidas de control y atender casos de quejas de trabajadores (82).
- Según la estrategia elegida:

La ilustración 2, relaciona los diferentes tipos de muestra relacionadas a los periodos de trabajo de la siguiente manera:

- Periodo completo de muestras únicas: en él, la muestra es tomada por el periodo completo estándar, este debería ser de 8 horas para el TWA estándar y 15 minutos para el Ceiling (valor techo).

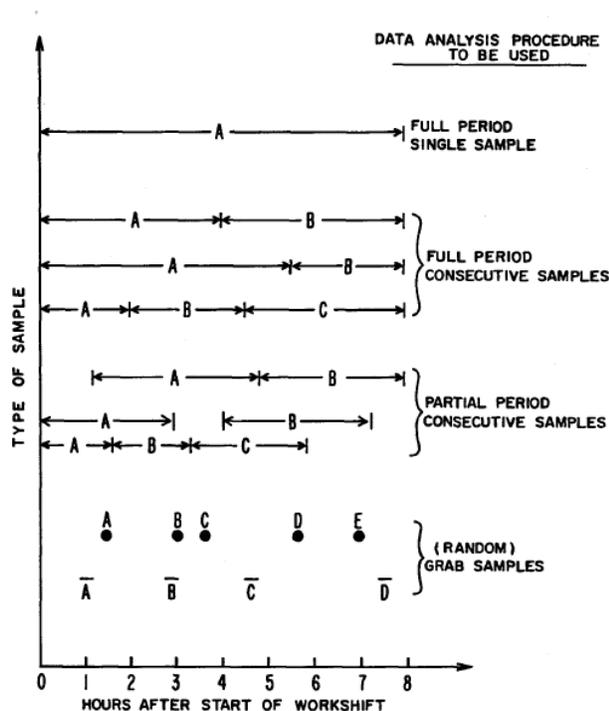
- Muestras consecutivas de período completo: en este se obtienen varias muestras (duración igual o desigual) durante todo el periodo correspondiente a la norma. El tiempo total cubierto por las muestras debe ser de 8 horas para un estándar TWA de 8 horas y 15 minutos para un estándar de techo. Esto quiere decir que las muestras se pueden tomar a cualquier momento y pueden tener diferentes duraciones pero deben cubrir completamente las 8 horas laborales.

- Muestras consecutivas de periodo parcial: en este se obtienen una o varias muestras (duración de tiempo igual o desigual) solo durante una parte del periodo correspondiente al estándar. Para un estándar TWA de 8 horas, esto significaría que la muestra o muestras cubren aproximadamente 4 a menos de 8 horas. Varias

muestras que suman menos de 4 horas (como 8 muestras de 30 minutos) probablemente se describen como muestras tomadas (a corto plazo).

- Muestras aleatorias: En ellas se debe tener en cuenta que en algunos casos es imposible, debido a las limitaciones en los métodos de medición como con los medidores de lectura directa o los tubos detectores colorimétricos, recolectar una sola muestra o una serie de muestras consecutivas. La duración total se aproxima al periodo para el cual se define el estándar. En este caso, las muestras tomadas se toman durante un cierto número de periodos cortos de tiempos (menos de 1 hora cada una; generalmente solo minutos o segundos). Se toman muestras al azar a intervalos aleatorios durante el periodo de tiempo para el que se define el estándar (83).

Ilustración 2. Tabla de referencia de los tipos de mediciones de exposición que podrían tomarse para un estándar de exposición promedio de 8 horas (83).



Fuente: NIOSH

7.1.3.1 Cantidad de muestras

Para el cálculo del número de muestras requeridas, se toma en cuenta la información relacionada en el libro NIOSH Sampling Strategy Manual, en el cual se determinan los requerimientos que deben cumplirse para la determinación del número de empleados a ser muestreados; la tabla respectiva en la ilustración 3, proporciona el tamaño de muestra requerido de una muestra aleatoria extraída de un grupo de tamaño N (N= 1 a 50) que garantiza un 90% de confianza.

Ilustración 3. Tabla del tamaño de muestras parciales según tamaño del grupo (81).

TABLE 3.1. SIZE OF PARTIAL SAMPLE FOR TOP 10% AND CONFIDENCE 0.90

Size of group N*	Number of required samples†‡
8	7
9	8
10	9
11-12	10
13-14	11
15-17	12
18-20	13
21-24	14
25-29	15
30-37	16
38-49	17
50	18

*N = original equal risk group size.
 †n = sample size or subgroup size.
 ‡n = N if N < 7.

Fuente: NIOSH

Teniendo en cuenta el número de trabajadores por área de trabajo, se determina un Grupo de Exposición Similar (GES) para así establecer el número de muestras requeridas en nuestra estrategia de muestreo.

Como estrategia de la medición de la exposición se determinaron diferentes tipos de muestreo dependientes de cómo se obtuvieron las muestras en relación con el periodo estándar, la duración de las muestras y el número de muestras (83).

Los GES son grupos de trabajadores que poseen un perfil general similar de exposición a los agentes bajo estudio, debido a la similitud y frecuencia con que ejecutan la actividad, los materiales, los procesos con los cuales trabajan y la manera similar como llevan a cabo la actividad.

7.1.4 Determinación de los trabajadores a muestrear

Para identificar el trabajador o grupo de trabajadores expuestos se deben tener en cuenta lo siguiente:

- Muestrear al trabajador que se presume tiene más alta exposición al agente. Esto teniendo en cuenta, la distancia a la fuente generadora del agente, la movilidad del trabajador, el movimiento del aire, los diferentes hábitos de trabajo y el tiempo de exposición.
- Si existen diferentes puntos de exposición o procesos, seleccionar los de supuestamente más alta exposición en cada uno (84).

El propósito del monitoreo personal, es estimar la dosis de un agente ambiental que un trabajador recibe durante un cierto período de tiempo. Raramente se puede medir la dosis actual, por lo que se deben medir parámetros sustitutos para hacer una estimación. Estos

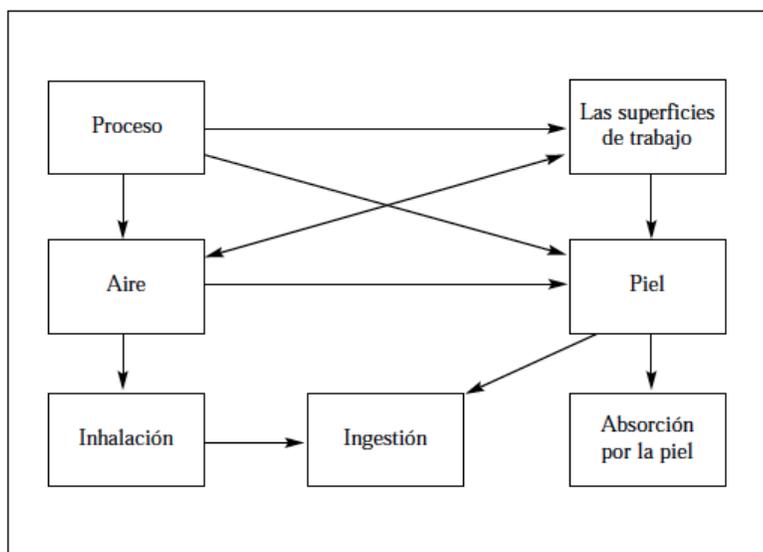
pueden ser, las concentraciones del agente ambiental en la zona de respiración del trabajador. La concentración cuantificada representa el potencial de exposición y la exposición efectiva es más baja si se utiliza el equipo de protección personal.

7.1.5 Método de medición basado en la ruta de exposición

Teniendo en cuenta la complejidad del ambiente en el lugar de trabajo, se hace necesario considerar todas las rutas posibles de exposición antes de seleccionar un método y una estrategia de muestreo.

La figura 1, muestra un modelo de la vía de exposición recreada por la AIHA, donde se describe las potenciales rutas de exposición que van desde el proceso hasta el trabajador y proporciona un marco para evaluar las rutas de cada agente ambiental.

Ilustración 4. Modelo de la vía de exposición (AIHA) (78)



Fuente: American Industrial Hygiene Association

- Inhalación

La inhalación es a menudo la ruta de entrada más significativa de la exposición en el lugar de trabajo. Los agentes que se liberan directamente en el aire se pueden transportar a la zona de respiración del trabajador, o se pueden posar en la superficie y mas adelante suspenderse en el aire. Por ello es esencial conocer las propiedades físicas del agente ya que el mismo puede encontrarse en diferentes estados químicos a diferentes temperaturas y presiones (84).

- Absorción sobre la piel o los ojos

Algunos agentes químicos pueden pasar la barrera cutanea y agregar a cualquier exposición que ocurre por la vía de inhalacion o de ingestión. Esta ruta de exposición implica generalmente contacto directo con el agente, o contacto con una superficie que ha sido contaminada (84).

- Ingestión

Para algunos agentes, por ejemplo el Plomo, la ingestión puede ser una vía significativa de exposición. Sin embargo, es una vía de exposición relativamente de menor importancia en el lugar de trabajo, particularmente cuando los empleados tienen un nivel razonable de higiene personal y las áreas para comer se mantienen libre de contaminación. La identificación de esta vía como ruta potencial de exposición se basa generalmente en observaciones del lugar de trabajo (80).

7.1.6 Equipos y accesorios usados en el muestreo

Dependiendo del objetivo final de la medición, los muestreos o mediciones pueden ser:

- De larga duración, normalmente coincidiendo con la jornada laboral estándar y que suele extenderse durante 8 horas diarias y entre 40-48 horas semanales.
- De corta duración, para periodos intensos de exposición, pudiendo ser instantáneas o en tiempos estándar de 15 minutos continuos dentro de la jornada laboral.
- Personales, donde el equipo lo soporta en todo momento el trabajador.
- Ambientales, donde el equipo se sitúa fijo en una determinada zona o área concreta de trabajo.

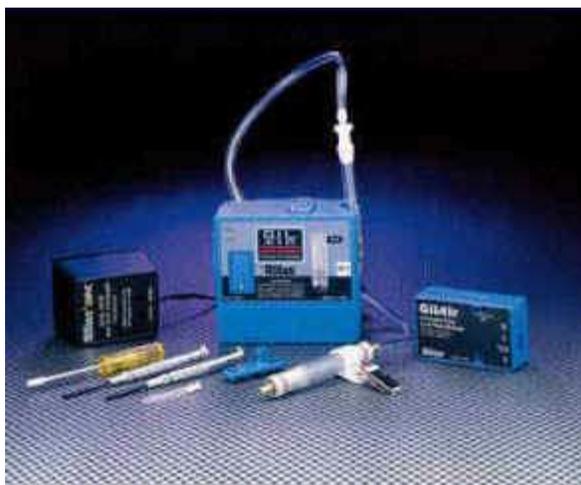
Para estos tipos de muestreo se utilizan los siguientes equipos y accesorios, que deben estar previamente preparados y calibrados para su funcionamiento ideal (85).

7.1.6.1 Bomba de muestreo

Debe ser portátil para el muestreo personal y ambiental, debe ser calibrada antes y después de cada muestreo, su caudal debe ser calibrado en el margen específico según el metal (generalmente entre 1 y 4 L/min). La calibración de la bomba se realiza en línea con el mismo tipo de filtro que se empleará en la captación, con el fin de que la pérdida de carga sea similar a la que se tendrá en la toma de muestras, posteriormente se acopla el tren de muestreo al calibrador que se vaya a emplear.

Estas bombas pueden calibrarse con un calibrador primario o el de burbuja electrónica digital o el calibrador seco sin empleo del jabón (85).

Ilustración 5. Bomba de muestreo (84)



Fuente: Roka industrial S.A.S

7.1.6.2 Equipo de calibración

Para la calibración de los equipos, se encuentran los manómetros, orificios limitantes, rotámetros, contadores de gas y las buretas con solución jabonosa conocidos como calibradores primarios. En algunos casos se pueden usar equipos electrónicos bajo los mismos principios que el calibrador primario, como el electrónico de burbuja y el calibrador seco (Dry-Cal) de pistón con sensor foto óptico.

En la siguiente ilustración se presenta el calibrador de burbuja, en este caso por medio de una bureta.

Ilustración 6. Calibrador de bomba (85)



Fuente: HIGHTEC Environmental

7.1.6.3 Programa de mantenimiento y verificación de las bombas

El objetivo de un programa de mantenimiento y verificación es que las bombas se encuentren siempre en perfecto estado de uso. Un programa de este tipo, permite tener un conocimiento continuado del estado de las características de las bombas y por tanto posibilita la selección de la bomba más adecuada a cada situación. Desde el punto de vista del mantenimiento de las bombas, la parte más crítica son las baterías. El programa de mantenimiento se establecerá siguiendo las instrucciones de mantenimiento detalladas por el fabricante, como por ejemplo si las baterías deben mantenerse cargadas o descargadas. Las operaciones de mantenimiento incluidas en el programa, así como su frecuencia, deberían formar parte del Manual de uso de la bomba que, a su vez, debería formar parte del Manual de Calidad (86).

7.1.6.4 Cargador para bomba portátil

Es empleado para recargar las baterías de la bomba, el cargador es conectado directamente a la corriente alterna de 110 voltios y posteriormente al enchufe de carga de la bomba. Para la carga completa de la bomba se cuenta con dos rangos o posiciones: alto y bajo, en alto, se logra una carga completa en 14 horas y en bajo, se pueden cargar las baterías por un tiempo indefinido, con un mínimo de 64 horas. Una carga completa permite un funcionamiento continuado de la bomba durante 8 horas (86).

7.1.6.5 Métodos de retención

- Filtro de retención

Se utilizan filtro de membrana de éster celulosa (MEC), de 37 mm de diametro, esto para una mejor distribución del paso del aire durante la toma de muestras.

- Portafiltro o Casete

Los filtros son colocados en un portafiltro de dos o tres piezas de poliestireno, de 37 mm de diametro, en los que se coloca el filtro sobre el soporte de celulosa (82).

Ilustración 7. Portafiltros de dos y tres piezas (85)



Fuente: HIGHTEC Environmental

7.1.6.6 Calibración de un tren de muestreo

Para el procedimiento de calibración de un tren de muestreo se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Instalar el calibrador de burbuja en un soporte adecuado.
- Conectar el extremo superior del Calibrador de Burbuja al Tren de Muestreo que se quiere calibrar, el cual debe tener un accesorio de muestreo similar (no el mismo) al que se va a utilizar en el muestreo.
- Se enciende la bomba oprimiendo el interruptor de esta.
- Colocar en el extremo abierto de la bureta un vaso con solución jabonosa, de modo que la succión que ejerce la Bomba haga acceder una película. Se mide con un cronometro el tiempo que demora la película en recorrer una distancia determinada. Con estos datos se hace un calculo preliminar del flujo o caudal. (Q).
- Se ajusta la válvula reguladora del flujo tratando de aproximarse al flujo requerido en el muestreo que se va a realizar.

- Se repiten los pasos indicados en las dos viñetas anteriores hasta conseguir al flujo requerido.
- Llegando a este punto se procede a la calibración definitiva. Para ello se repiten pasos señalados para colocar el extremo a la bureta por lo menos tres (3) veces. El flujo definitivo será el promedio de estas tres o mas observaciones si es necesario a mayor precisión.
- Para corregir eventuales variaciones del flujo durante el muestreo por descarga de las pilas u otras causas, es conveniente calibrar el tren de muestreo después del muestreo "calibración final". La calibración final debe efectuarse sin modificar para nada la posición en que quedaron las válvulas reguladoras de flujo al final del muestreo (82).

7.1.6.7 Cálculo del caudal de tren de muestreo

El flujo para el cálculo final del volumen de aire muestreado será el promedio de los flujos determinados en ambas calibraciones inicial y final. Así:

$$Q_p = \frac{Q_i + Q_f}{2}$$

Donde:

Q_p = Caudal promedio (L/min)

Q_i = Caudal Inicial (L/min)

Q_f = Caudal Final (L/min)

- Corrección de caudales de calibración

Para corregir el caudal de una bomba a cualquier condición de temperatura y presión diferentes a la calibración inicial se puede emplear la siguiente ecuación:

$$Q_m = \left\{ Q_{cal} \sqrt{\left(\frac{P_{cal}}{P_m} * \frac{T_m}{T_{cal}} \right)} \right\}$$

Donde:

Q_m = Caudal de muestreo (L/min)

Q_{cal} = Caudal de calibración (L/min)

P_{cal} = Presión en el sitio de calibración (mmHg)

P_m = Presión en el sitio de muestreo (mmHg)

T_m = Temperatura en el sitio de muestreo en grados absolutos

T_{cal} = Temperatura en el sitio de calibración en grados absolutos

El volumen muestreado se determina multiplicando el caudal de muestreo Q_m , por el tiempo de duración del muestreo (84).

7.1.6.8 Montaje de filtros

- Montaje del filtro de membrana en un portafiltro de dos secciones

Para este montaje se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

- A. Se coloca el tapón azul en el orificio en la sección macho (entrada) del contaminante al portafiltros (sección lisa).

- B. Se coloca el tapón rojo en el orificio de la sección hembra, salida del aire limpio del portafiltros después de pasar a través del filtro (sección con estrías).
 - C. Se coloca el soporte de filtro (rejilla metálica perforada o disco de celulosa) en la sección hembra del portafiltros (sección con estrías).
 - D. Se coloca el filtro de la caja de filtros y se coloca encima de la rejilla metálica o del disco de celulosa en la sección hembra. Los filtros deben ser manipulados con una pinza especial, de mandíbulas lisas, y tomando el filtro solamente por los bordes. No toque el filtro con los dedos.
 - E. Se coloca inmediatamente la sección macho del portafiltros dentro de la sección hembra del mismo presionándola para que haga un contacto uniforme a lo largo de todo el borde del filtro. Como medida de precaución se coloca alrededor de la unión de las secciones macho y hembra una cinta aislante autoadhesiva. Esta operación debe efectuarse con mucho cuidado.
 - F. Se coloca un trozo de papel engomado autoadhesivo en la parte superior de la sección macho del portafiltros y se numera para identificarlo de la muestra o utilice cualquier otra forma de identificación (82).
- Instalación portafiltro de dos secciones en la bomba de muestreo
- A. Se retiran los tapones azul y rojo de los orificios de entrada y salida del portafiltros con el filtro ya montado, se guardan los tapones para su reinstalación posterior después del muestreo.
 - B. Se conecta el orificio de la sección hembra (salida) del portafiltros a un extremo de la manguera de muestreo.

- C. Se conecta el otro extremo de la manguera de muestreo al acoplador de entrada de la muestra en la bomba (82).

7.1.6.9 Instalación y operación del tren de muestreo

El procedimiento para la instalación y operación del tren de muestreo es el que se describe a continuación:

- A. Se coloca el tren de muestreo en el lugar que corresponda, según se trate de muestreo personal o de muestreo de zona o ambiental.
- B. Se retira el tapón azul del orificio de entrada de la muestra al portafiltros (casete) y se guarda para su reinstalación una vez concluido el muestreo.
- C. Se pone a funcionar la Bomba oprimiendo el interruptor y se verifica que el flotador del rotámetro este en la posición correspondiente, determinada en la calibración y se registra la hora de comienzo del muestreo.
- D. Si se nota que el rotámetro cae mucho y el sonido de la Bomba se hace más lento, detenga el muestreo de inmediato. Registre la hora.
- E. Al termino término del muestreo apague la Bomba, registre la hora de termino de muestreo.
- F. Se coloca el tapón azul en el orificio de entrada de la muestra al casete.
- G. Se retira con cuidado el portafiltros de la manguera de conexión.
- H. Coloque el tapón rojo en el orificio de salida (zona estriada) del casete (el que estaba conectado a la manguera) (82).

7.1.6.10 Montaje del filtro de membrana en un portafiltros de tres secciones

Para realizar este montaje se procede de la siguiente forma:

- A. Se coloca un tapón azul en el orificio de la sección macho (entrada) del portafiltros.
- B. Se coloca el tapón rojo en el orificio de la sección hembra (salida) del portafiltros (la sección con estrías).
- C. Se coloca un soporte de filtro (rejilla metálica o almohadilla de celulosa) en la sección hembra del portafiltros.
- D. Se saca un filtro de la caja de filtros y se coloca encima de la rejilla metálica o almohadilla de celulosa. La manipulación de los filtros debe hacerse de manera similar a como se indicó para el de dos secciones.
- E. Se coloca de inmediato la sección anular o ring dentro de la sección hembra del portafiltros, presionándola para que haga un contacto uniforme a lo largo de todo el borde del filtro.
- F. Se coloca enseguida la sección macho (superior) dentro de la sección anular o ring, presionándola para que ajuste bien y se logre un cierre hermético de todo el portafiltros.
- G. Ponga un trozo de papel engomado (autoadhesivo) en la parte superior de la sección macho del portafiltros y numérelo para identificación de la muestra o utilice cualquier otra forma de identificación (82).

7.1.6.11 Instalación del portafiltros de tres secciones en la bomba de muestreo

- A. Se retiran los tapones azul y rojo de los orificios de entrada y salida del portafiltros con el filtro ya montado, se guarden los tapones para su reinstalación posterior después del muestreo.
- B. Se conecta el portafiltros (por el orificio de salida: zona de entrada) al exterior libre de la manguera de muestreo. (El otro extremo ya está unido al conector de entrada a la bomba).
- C. Se conecta el otro extremo de la manguera de muestreo al acoplador de entrada de la muestra a la bomba (82).

7.1.6.12 Instalación y operación del tren de muestreo

- A. Se coloca el tren de muestreo en el lugar que corresponda, según se trate de muestreo personal o muestreo de zona ambiental.
- B. Se retira el tapón azul del orificio de entrada de la muestra al portafiltros (cara superior lisa, del casete o macho), el tapón se guarda para su preinstalación una vez concluido el muestreo.
- C. Se pone a funcionar la bomba oprimiendo el interruptor y se verifica que el flotador del rotámetro este esté en la posición correspondiente determinado en la calibración.
- D. Si se nota que el rotámetro cae mucho y el sonido de la bomba se hace más lento, detenga el muestreo de inmediato. Registre la hora.
- E. Al término del muestreo se apaga la bomba y se registra la hora.

- F. Se coloca inmediatamente el tapón azul en el orificio de entrada del portafiltros (cara lisa).
- G. Se retira con cuidado el portafiltros de la manguera de conexión.
- H. Se coloca inmediatamente el tapón rojo en el orificio de salida (zona estriada) del portafiltros se debe adjuntar la muestra blanco o testigo (82).

Ilustración 8. Tren de muestreo con bomba y filtro (85).



Fuente: HIGHTEC Environmental

7.1.7 Toma de muestra

7.1.7.1 Ubicación de la bomba en el operario

El sistema de muestreo compuesto por bomba, manguera plástica flexible y portafiltros; se coloca en la parte superior o espalda y a la altura del cinturón del operario en forma tal que no interfiera con el trabajo que este realice. El extremo de

la manguera en donde queda conectado el portafiltros debe quedar a la altura de la clavícula (82).

7.1.7.2 Manejo de Portafiltros

Al tomar la muestra se retiran los tapones (azul y rojo) del portafiltro. Se debe revisar el estado de ajuste de las conexiones de todo el conjunto.

- **Recolección de la Muestra:** durante la captación de la muestra debe vigilarse periódicamente el correcto funcionamiento de la bomba, en caso de observar alguna anomalía durante el muestreo, ésta se debe anular. Transcurrido el tiempo predeterminado de muestreo se retira y se tapan los orificios con los tapones azul (orificio de la entrada del contaminante) y rojo (orificio de salida del aire filtrado), para su envío al análisis.
- **Los Filtros Blancos:** cada lote de filtros muestreados se debe acompañar de un “Filtro Blanco”.

Las muestras blancas deben ser manejadas de igual manera que las muestras reales, se abren en el mismo ambiente del lugar del muestreo y se cierran inmediatamente para enviarlas a análisis junto con las muestras reales. El número de blancos varía según las características del contaminante y el método NIOSH a emplear (83).

7.1.7.3 Identificación de la Muestra

Con el fin de contar con la información necesaria y evitar que se olviden detalles importantes, se deberá utilizar un formato ordenado como el relacionado en el formato de recolección y registro de datos (cadena custodia) del anexo 4 de este documento . A cada muestra deben relacionarse datos como los siguientes:

- Número de referencia

- Empresa a la que pertenece
- Fecha de recolección
- Lugar de muestreo
- Hora de inicio y hora final de muestreo
- Número de trabajadores expuestos (80)

Ilustración 9. Bomba de muestreo en el trabajador (87)



Fuente: COGITI Albacete

7.1.8 Método de análisis

Las muestras se analizan por términos de espectroscopio con plasma inductiva acoplada o espectroscopia de emisión atómica. La concentración del metal en el aire se determina a partir del resultado del análisis del laboratorio reportados en miligramos (mg) o microgramos (μg) por muestra con lo que se encuentra la concentración del metal, estos datos se obtienen por medio de los métodos analíticos de la estrategia de muestreo referenciada en el Anexo 5 del presente documento.

7.1.8.1 Cálculos

La concentración de cada metal en el aire se determina a partir del resultado del análisis del laboratorio, reportado en miligramos o microgramos por muestra. A partir de la siguiente formula:

$$C = \frac{Pm - Pb}{V} \left(\frac{mg}{m^3} \right)$$

Donde:

C= Concentración del metal

Pm= Peso de la muestra en mg.

Pb= Peso del promedio de los 'blancos' en mg.

V= Volumen de la muestra en m³

Posteriormente este resultado de concentración debe ser comparado con los valores límites permisibles, es decir la cantidad de un contaminante por debajo del cual se espera que la mayoría de los trabajadores puedan exponerse rápidamente, día tras día sin sufrir efectos adversos a la salud (44). Estos valores límites permisibles deben ser corregidos por el tiempo de exposición, esto por medio del modelo Brief & Scala cuando la jornada de trabajo excede 8 horas/día y 40 horas/semana con la siguiente ecuación (87):

- Factor de corrección de ajuste diario (FCAD)

$$FCAD = \frac{8}{hd} \times \frac{24 - hd}{16}$$

Donde h_d = horas trabajadas por día

- Factor de corrección de ajuste semanal (FCAS):

$$FCAS = \frac{40}{h_s} \times \frac{168 - h_s}{128}$$

Donde h_s = horas trabajadas por semana

Luego, el valor límite permisible corregido será:

$$VLP_c = (Fr * VLP_{8horas})$$

Donde:

Fr= Factor de reducción

Hd= Horas de turno diario (más de 8 horas)

Hs= Horas de Trabajo Durante la Semana.

7.1.9 Interpretación de resultados

7.1.9.1 Criterios estadísticos

Al realizar un muestreo de agentes químicos y realizar los cálculos de estimación de la exposición pueden suceder errores de muestreo y análisis, estos basados en las variaciones que pueda presentar el equipo de muestreo, durante la recolección de la

muestra y los errores que se puedan presentar durante el proceso de análisis de la muestra.

Es por esto que se deben determinar intervalos de confianza, el valor numéricamente más bajo es denominado Límite Inferior de Confianza (LIC) y el valor más alto Límite Superior de Confianza (LSC).

Las tres categorías para calificar la exposición de un trabajador a determinado contaminante con la utilización de los límites de confianza son las siguientes:

- Sobreexposición: Cuando la exposición media supera el valor límite permisible de la sustancia y el límite inferior de confianza (LIC) también lo supera, existe una posibilidad de un 85% de que el trabajador se encuentre a una exposición de peligro.

$$LIC \geq 1$$

- No habrá sobreexposición: Cuando la exposición media no supera el valor límite permisible de la sustancia y el Límite Superior de Confianza (LSC) tampoco lo supera, existe una posibilidad del 95% de que el trabajador no tenga una exposición peligrosa.

$$LSC \leq 1$$

- Posible sobreexposición:

- Cuando la exposición media no supera el VLP, pero el Límite Superior de Confianza (LSC) si lo supera, no se podrá estar seguro en un 95% de una exposición peligrosa.
- Si la exposición media supera el VLP, pero el Límite Inferior de Confianza (LIC) no lo supera; no se puede asegurar en un 95% de que exista una exposición peligrosa (83).

En estos dos casos existe una incertidumbre y se recomienda tomar muestras adicionales dependiendo de la toxicidad de la sustancia.

$$LIC \leq 1 \text{ y } LSC \geq 1$$

Ilustración 10. Clasificación según los límites de confianza (81).

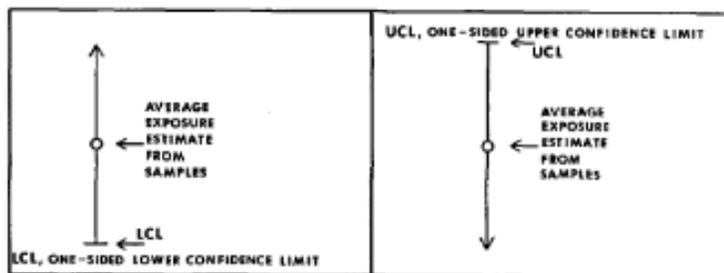


Figure 4.1. Example of one-sided LCL and UCL.

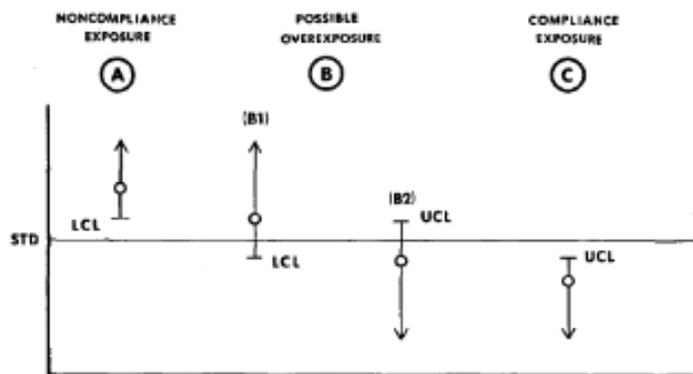


Figure 4.2. Classification according to one-sided confidence limits.

Fuente: Occupational Exposure Sampling Strategy Manual NIOSH

Posterior a la realización de los cálculos respectivos, se debe determinar:

7.1.9.2 Clasificación de la exposición (menor/mayor)

Cualquier cuadro de exposición se puede clasificar como “menor” si se espera que la exposición sea inferior a un décimo (1/10) del nivel máximo permisible, si no es probable que el individuo experimente alguna consecuencia adversa sobre la salud o si la exposición no provoca alguna acción específica estipulada en una regulación.

Cualquier cuadro de exposición se puede clasificar como “MAYOR” si la exposición esperada es IGUAL o MAYOR a (1/10) del nivel máximo permisible, si ES PROBABLE que el individuo experimente alguna consecuencia adversa sobre la salud o si la exposición PROVOCARÁ alguna acción específica estipulada en una regulación (80).

7.1.9.3 Índice de exposición (1, 2, 3,4)

Este índice es una herramienta bastante útil para comenzar a caracterizar el perfil de exposición. Es un estimado del nivel de exposición en relación a un nivel máximo permisible.

En la siguiente tabla, se encuentra la relación determinada en la base de datos para referir los números como:

- 1: No exposición
- 2: Exposición baja
- 3: Exposición moderada o alta
- 4: Exposición muy alta

Con el promedio de concentración aceptable del agente ambiental.

Tabla 6. Categorización del índice de exposición (80)

Índice	Caracterización
4	>NMP – PLT
3	50% - 100% NMP – PLT
2	10% - 50% NMP – PLT
1	< 10% NMP- PLT

Fuente: American Industrial Hygiene Association

Nota: Un nivel máximo permisible-promedio en un periodo largo de tiempo (NMP-PLT) es el promedio de concentración aceptable de un agente ambiental que exhibe efectos adversos a la salud acumulativos.

Estos índices de exposición simplifican y agilizan el proceso de evaluación, particularmente durante la evaluación inicial donde generalmente, los datos de monitoreo son escasos (80).

7.1.9.4 Aceptabilidad de la exposición (Aceptables, Inaceptables, Inciertas)

El perfil de exposición de un GES debe ser clasificado como ACEPTABLE si su exposición y variabilidad son lo suficientemente bajas para que los riesgos asociados con el perfil de exposición sean mínimos.

Las clasificadas como exposiciones aceptables, son documentadas y colocadas en una lista para la reevaluación periódica o de rutina, con el objeto de verificar en el futuro si la misma permanece aceptable. Esta lista deberá establecer las prioridades de manera tal que las mayores exposiciones al mayor agente de riesgo (toxicidad-peligro) sean corregidas en primera instancia.

La clasificación de exposiciones como INACEPTABLE se dan si la exposición promedio o los extremos superiores de la exposición fueron lo suficientemente

altos como para presentar un riesgo inaceptables. Además, si existe evidencia de efectos adversos a la salud asociados con el agente ambiental, definitivamente las exposiciones del GES deben ser clasificadas como inaceptables.

Las exposiciones clasificadas como inaceptables son colocadas en una lista de prioridades para establecer los controles.

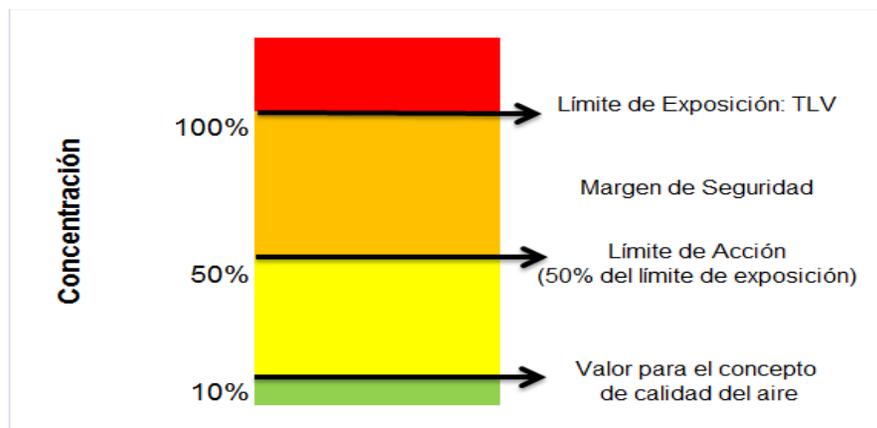
Una evaluación es INDETERMINADA O INCIERTA, cuando la exposición del GES no se puede clasificar como aceptable o inaceptable. No siempre se tiene a la disposición suficientes datos para tomar una decisión. Esto puede ocurrir porque el perfil de exposición no está caracterizado correctamente o por falta de datos sobre efectos de la salud.

Las clasificadas como exposiciones inciertas o incertidumbres son colocadas en una lista de prioridades para establecer que otro tipo de información se debe recoger.

Estos valores deben ser asociados con el inciso anterior de indicadores de exposición relacionando el número 1 como aceptable, el 2 y 3 como indeterminados y el 4 como inaceptable (80).

7.1.9.5 Prioridad de la intervención

Ilustración 11. Esquema de rangos de prioridad de la intervención.



Fuente: Ing. Yadira Cetina U. Bosque

Teniendo en cuenta la escala combinada de rangos de exposición, se realiza una esquematización distribuida de la siguiente manera:

Donde:

1. Zona de exposición mínima: Corresponde a los valores inferiores al 10% del valor límite permisible, en los que se considera que los riesgos para la salud no existen y se toma como referencia para definir el concepto de calidad de aire.
2. Zona de exposición baja: corresponde a los valores inferiores al nivel de acción, en los que se considera que los riesgos para la salud son mínimos y por consiguiente no es necesario adoptar medidas preventivas.
3. Zona de exposición moderada o alta: Comprendida entre el nivel de acción y el valor límite permisible (VLP), se determina que los puestos comprendidos dentro de esta zona, deben ser muestreados con cierta frecuencia a fin de vigilar el

comportamiento de las concentraciones. Se requieren controles médicos y ambientales, con medidas técnicas correctoras de fácil ejecución. De acuerdo con la frecuencia de la exposición esta zona se puede subdividir en Moderada y Alta, con el fin de establecer la frecuencia de reevaluación.

4. Zona de exposición muy alta: Correspondiente a zona con valores superiores al valor límite permisible (VLP) lo cual implica la adopción de medidas correctivas ambientales y médicas, así como el seguimiento de la evolución de la concentración existente (80).

Finalizando el análisis se debe determinar teniendo en cuenta los incisos anteriores, el nivel de intervención, para esto, es importante concluir si las concentraciones medidas o encontradas superan en un 50% el valor límite permisible corregido, si es así, se deben determinar y establecer programas de intervención o mitigación que reduzcan o eliminen el factor de riesgo.

7.1.10 Reevaluación

Cada lugar de trabajo debe ser reevaluado periódicamente con el fin de determinar los criterios de exposición que tiene cada GESs, la continuidad de la información recolectada y las prioridades para el control a los riesgos a la salud si han ocurrido cambios significativos en el área de trabajo y agentes.

- Frecuencia de reevaluación: Se debe designar un intervalo de reevaluación para asegurar la identificación de los cambios ocurridos en el lugar de trabajo, en los agentes ambientales y la fuerza laboral que pueden afectar las reevaluaciones de las exposiciones. Generalmente es habitual que estas reevaluaciones se realicen cada año,

sin embargo se puede basar la decisión teniendo en cuenta la naturaleza del trabajo y sus cambios. Estos cambios son evidenciados en las evaluaciones realizadas por el higienista al proceso productivo, la ingeniería, y las sustituciones de materiales.

- Factores influyentes para la reevaluación: Los cambios más significativos en el lugar de trabajo incluyen cambios en los controles de proceso y de ingeniería que afectan los niveles de exposición, también influyen los desgastes graduales de los equipos como ventiladores, ductos, motores, cambio en la fuerza laboral, cambios en los programas de trabajo, cambios significativos en empleo, cambios en tipo, cantidad y características físicas de los agentes ambientales en uso (80).

Lo que se busca con la reevaluación es la recolección de información de importancia para poner al día la caracterización básica y trabajar en la mejora de los criterios de evaluación, restablecimiento de prioridades y generación de informes, para de esta forma tener un constante control de la exposición a la cual se encuentran los trabajadores en el lugar de trabajo.

7.1.11 Reporte y registro de las exposiciones

Los reportes y registros de las exposiciones son elementos básicos y sumamente importantes pues nos permiten asegurar una comunicación efectiva de los resultados de las mediciones en los sitios de trabajo y de esta manera continuar con el desarrollo de los programas de higiene industrial. Cada elemento de la evaluación y proceso administrativo debe ser documentado en diferentes formatos como los expuestos en los siguientes incisos. Estos reportes son esenciales para comunicar los hallazgos de la evaluación y las recomendaciones para el control de los riesgos a la salud (80).

En los siguientes incisos se relacionan los diferentes formatos y matrices utilizados para el reporte y registro de las exposiciones.

7.2 Matriz de identificación química de los metales

Teniendo en cuenta el primer objetivo del trabajo de grado con el cual se busca caracterizar los metales pesados a los cuales están expuestos los trabajadores en los centros RAEE, se realiza una matriz que incluye la información necesaria para identificar dichos agentes.

En primer lugar, esta matriz consta de tres secciones divididas de la siguiente manera:

- Identificación química de los metales: en la cual se determina la localización de estos en los RAEE, es decir en que aparatos eléctricos y electrónicos podemos encontrar metales pesados, las diferentes formas de identificación con la cual se puede obtener información de los metales, números de identificación en diferentes sistemas y regiones, su forma de presentación química (isotopos, hidruros, carburos) y sus propiedades fisicoquímicas (estado, densidad, punto de fusión, punto de ebullición, presión de vapor).
- Valores límites permisibles de cada metal, esto mediante su número CAS (Chemical Abstracts Service registry number) el cual es un identificador numérico único para sustancias químicas (44); su número atómico que define la cantidad de protones que tienen sus átomos en el núcleo. El TLV (Threshold Limit Value), TLV-TWA (Time Wighted Average) o Concentración Promedio Ponderada en el Tiempo que establece el máximo nivel al que todos los trabajadores pueden exponerse repetidamente sin

efectos adversos durante la semana normal de trabajo. TLV-STEL que define el Límite de Exposición a Corto Tiempo, considerando únicamente 15 minutos de exposición con un descanso de por lo menos una hora entre exposición y exposición, sin permitir más de 4 exposiciones al día. TLV-C que indica la máxima concentración en el área de trabajo que no debe ser excedida en ningún momento. El valor IDLH (Immediately dangerous to life or health) definido como la exposición a contaminantes en el aire que es “probable que cause la muerte o efectos adversos para la salud permanentes inmediatos o retardados o prevenir el escape de tal ambiente”. Los valores MAK que se definen como concentraciones medias en aire ponderadas para periodos diarios de 8 horas de exposición, en semanas laborales de 40 horas, siendo por ello conceptualmente equivalente equivalentes a los TLV-TWA de la ACGIH (88)

- Exposición y efectos en salud en la cual relacionamos la vía de exposición que es el mecanismo por medio del cual el tóxico entra en el organismo, se consideran de importancia la ingestión, la respiración y el contacto cutáneo. Así mismo los efectos en salud, y los signos y síntomas por la exposición aguda y crónica.

Esta matriz de identificación química de los metales, referenciada en el anexo 2 del presente documento, sirve como guía para conocer los metales pesados a los cuales el trabajador se expone, donde encontrar la información necesaria sobre estos, a que cantidad pueden estar expuestos, como puede entrar el tóxico en el organismo, que síntomas tempranos se pueden desarrollar y las enfermedades que se pueden presentar a causa de la exposición prolongada, esto pensando en facilitar la obtención de información.

7.3 Matriz de Grupos de Exposición Similar (GES)

En el ANEXO 3 se encuentra una matriz que tiene como objeto, determinar los grupos de exposición similar y así lograr un perfil de exposición para la realización de los métodos de muestreo respectivos.

Esta estratificación de los trabajadores en GES permite que se distribuyan los recursos de mejor manera para que todas las exposiciones presentes en un lugar de trabajo particular se puedan caracterizar. Estos GES están definidos como un grupo de trabajadores que generalmente tienen el mismo perfil de exposición a un agente por la similitud y frecuencia de las tareas que realizan, la similitud de los materiales y procesos con los cuales trabajan y la similitud de la manera en que llevan a cabo las tareas.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta matriz está dividida en 11 secciones, empezando por el número de trabajadores en el cual está dividido el grupo de exposición similar, el proceso productivo que desarrollan los trabajadores, el lugar de trabajo, las actividades que desarrollan, el agente ambiental al cual están expuestos durante la jornada de trabajo, otras sustancias a las que están expuestos y pueden generar efectos aditivos, el ciclo de jornada y tiempo de exposición total, actividad rutinaria o no rutinaria, la frecuencia de la realización de las tareas y los materiales y procesos con los que trabajan.

Esta matriz facilita la obtención de la información general sobre las exposiciones de los trabajadores, sin embargo se debe tener en cuenta que se puede aceptar el riesgo de posiblemente clasificar erróneamente a algunos trabajadores. A medida de la obtención de la información, se tendrá un juicio más apto para identificar los GES de manera correcta.

7.4 Formato de recolección y registro de datos de medición (cadena de custodia)

Dando alcance al segundo objetivo del trabajo de grado, se evidencia en el anexo 4 el formato de recolección y registro de datos de medición (cadena de custodia), la construcción de un formato de recolección y registro de datos de medición, enfocado en la obtención y el resumen sencillo de datos importantes para el análisis de datos de las mediciones.

Este formato consta de 6 apartados específicos distribuidos de la siguiente manera:

1. Información del trabajador: Esta sección debe ser diligenciada en su totalidad con letra legible y sin omitir ninguna información. En ella se solicitan los datos básicos del trabajador, importantes para tener clara la identidad de cada uno.
2. Organización del trabajo: En ella se especifica la siguiente información:
 - Turno: Es un tipo de jornada laboral donde el horario no interrumpe el proceso de producción empresarial durante la semana según un cierto ritmo continuo o discontinuo.
 - Jornada: La jornada de trabajo es el tiempo que cada trabajador dedica a la ejecución del trabajo por el cual ha sido contratado. Se contabiliza por el número de horas que el empleado ha de desempeñar para desarrollar su actividad laboral dentro del período de tiempo que trate: días semanas o años.
 - Horas por semana: Es el tiempo de exposición que cumple un trabajador durante el transcurrir de la semana laboral (domingo a sábado).

- Tasa de producción: Es el número de unidades de salida por unidad de tiempo que la empresa pretende fabricar o proporcionar al mercado para atender a la demanda que tiene o estima va a tener (89).
 - Frecuencia: Número de veces que aparece, sucede o se realiza la exposición durante un periodo o espacio determinado.
 - Descripción de la actividad: Explicación de la actividad desarrollada por el trabajador en su puesto de trabajo.
 - Tiempo diario de exposición: Cantidad de tiempo en el cual el trabajador tiene exposición al agente evaluado.
3. Productos evaluados: Al ser un centro de acopio de aparatos eléctricos y electrónicos, se manipulan diferentes productos provenientes de dichos aparatos, esta sección busca recolectar la información básica de estos productos para determinar a qué tipo de sustancia está expuesto el trabajador.

Cuenta con las siguientes casillas:

- Nombre: Se refiere al nombre de cada producto con el cual el trabajador se relaciona y tiene contacto para la evaluación.
- Información del fabricante: Se refiere a la información respectiva sobre el fabricante del producto, de esta forma se puede tener una idea de los componentes internos del producto a los cuales el trabajador estará expuesto.
- Información del proveedor: Brinda los datos del profesional o empresa que abastece al centro de acopio con sus productos.
- Transformación el producto: Determina la forma inicial del producto y el proceso de transformación que se le realiza para escoger su disposición final.

4. Productos químicos: La finalidad de este apartado es adquirir la información necesaria sobre el producto químico al cual está expuesto el trabajador tras estar en contacto con los productos evaluados anteriormente, de esta manera se determina información importante para el muestreo. Cuenta con las siguientes casillas:
- Nombre: Nombre del químico encontrado tras la transformación del producto.
 - TLV TWA: Es el límite de exposición ponderado por tiempo, se presenta como un valor promedio ponderado por tiempo de exposición (TWA), que es el tiempo de concentración media ponderada o niveles de un agente químico o biológico para una jornada de 8 horas o una semana de 40 horas al que se cree que todos los trabajadores pueden estar expuestos sin sufrir efectos perjudiciales (44).
 - TLV STEL: Es el límite de exposición a corto plazo que presenta un valor a corto plazo como la máxima concentración en aire a un agente químico, biológico o físico al cual los trabajadores pueden estar expuestos, a condición de que la exposición sea de no más de 15 minutos, y que ocurra no más de cuatro veces en un día de trabajo.
 - Almacenamiento: Donde se dispondrán los productos para su debido almacenamiento y cuidado, previendo posibles derrames, o contactos innecesarios con estos (44).
 - Clasificación de peligrosidad: El etiquetado de un producto implica la asignación de unas categorías de peligro definidas y preestablecidas y que están basadas en las propiedades fisicoquímicas, en las toxicológicas, en los efectos específicos sobre la salud humana y en los efectos sobre el medio ambiente identificadas mediante los pictogramas y/o las frases de riesgo (90).
 - Manejo de residuos: Se describe cómo se le dará el manejo a los respectivos residuos, si se van a reutilizar o desechar.

- Frases R o H: Son frases que, asignadas a una clase o categoría de peligro, describen la naturaleza de los peligros de una sustancia o mezcla peligrosas, incluyendo, cuando proceda, el grado de peligro (91).
 - Concentración del químico: Es aquella que determina la proporción de soluto y solvente en una solución química. Se define como la cantidad en que se encuentran las sustancias que se disuelven (soluto) en relación a la o las sustancias que lo disuelven (solvente) (92).
 - Presencia simultánea de otras sustancias: Determina si existe presencia de más sustancias que generen una exposición adicional y efectos aditivos al trabajador (91).
 - MSDS: Material Safety Data Sheet, es una hoja de datos de seguridad de materiales que tiene información sobre uno o varios compuestos químicos que conforman un material en uso o desarrollo (43).
 - Focos críticos de generación del contaminante: Describe los focos en los cuales se genera el contaminante a mayor cantidad y con mayor frecuencia.
5. Residuos recolectados: Esta sección determina la información de los residuos recolectados tras el desembalaje de los productos evaluados, para determinar el destino final (almacenamiento para reutilización o desecho) del producto.
- De donde procede: Determina de que aparato eléctrico o electrónico procede el residuo recolectado.
 - Almacenamiento: Describe el lugar en el cual estará almacenado el residuo y si se va a reutilizar o desechar.
6. Datos del muestreo: Relaciona la información respectiva de las muestras para realizar el análisis respectivo y definir el tipo de intervención que se realizará luego de determinar los resultados.

- Referencia de muestra: Determina la identificación y la rotulación de la muestra para evitar confusiones.
- Tipo de muestra: Estable si se realizó un muestreo de líquidos, de productos sólidos, de residuos o de gases.
- Caudal: Definido como la cantidad de fluido, masa, que se mueve en una unidad de tiempo (43).
- Volumen muestreado: Se refiere a la magnitud definida como el espacio ocupado de un cuerpo, dependerá de la concentración de los contaminantes (43).
- Localización del muestreo: Determina donde se realizó el muestreo respectivo.
- Procedimiento de muestreo usado: Establece la metodología utilizada para la toma de datos y la realización del muestreo, especificando el método analítico aplicable, el material de recolección y la técnica analítica a aplicar.
- Pruebas de precisión: Establece que tipo de pruebas de precisión se utilizaron para confirmar la veracidad del muestreo.
- Calibración: Esta sección debe ser diligenciada con la fecha o información respectiva a la calibración de las bombas de muestreo y demás elementos importantes en el proceso.

Tras adquirir toda la información necesaria de este formato, se determinan los datos específicos y más importantes para completar la base de datos y determinan la prioridad de intervención y los controles respectivos para evitar exposiciones excesivas y perjudiciales para la salud del trabajador y el medio ambiente.

7.5 Matriz de Estrategia de muestreo para metales pesados

En aras del cumplimiento del segundo objetivo, se diseñó una matriz de estrategia de muestreo para metales pesados referenciada en el anexo 5, que consta de 12 casillas en las cuales se resume la información más importante para poder determinar el método analítico que se va a utilizar durante un estudio de la exposición en campo.

Tanto NIOSH como OSHA nos brindan diferentes métodos analíticos aplicables para cada uno de los metales pesados en cuestión, teniendo en cuenta el número CAS, se adecúa cada método, en ellos se especifica el material de recolección, la técnica analítica a aplicar, sus tiempos de muestreo (mínimo y máximo), teniendo en cuenta el caudal (L/min) y el volumen (mg/m³) y la cantidad de muestras blanco necesarias en cada estrategia (93).

Esta matriz cuenta con 12 casillas distribuidas de la siguiente manera:

- Nombre del metal pesado
- Tipo de muestreo
- Número CAS
- TLV-TWA
- TLV-STEL
- Métodos analíticos aplicables: Son métodos para el muestreo y análisis de contaminantes en el aire del lugar de trabajo, y en la sangre y la orina de los trabajadores que están expuestos ocupacionalmente. Estos métodos han sido desarrollados y adaptados por NIOSH y han sido evaluados de acuerdo con protocolos experimentales establecidos y criterios de rendimiento (94).

- Material de recolección: Son diferentes medios de recolección de las muestras de material particulado que se quieren estudiar, pueden ser filtros, capsulas o bolsas que cumplen la función de retención del material para su estudio posterior.
- Tiempo mínimo de muestreo: Es el tiempo mínimo requerido para el muestreo ideal del agente en cuestión, teniendo en cuenta los datos del caudal y volumen de muestreo. Se deben tener en cuenta estos tiempos para disminuir los errores en los datos tomados durante el muestreo (83).
- Tiempo máximo: Refiere al tiempo máximo de muestreo requerido para la muestra, se define teniendo en cuenta el caudal y el volumen del muestreo y es el tiempo ideal para evitar sobrecarga en los filtros o generar errores en las mediciones (83).
- Técnica analítica a aplicar: La técnica analítica es el medio utilizado para llevar a cabo el análisis químico de las muestras recolectadas. Es un método que se utiliza para determinar la concentración de los compuestos o elementos químicos estudiados.
- Cantidad de muestras: Refiere a la cantidad de ejemplares que deben ser tomados durante el proceso de medición, para obtener los resultados reales de la medición.

7.6 Base de datos de evaluación de la exposición

Dando alcance al tercer objetivo, se puede evidenciar en el ANEXO 6, la construcción de una base de datos de resultados de la medición que nos permite el registro, procesamiento y custodia de los resultados de muestreo.

Para la construcción de esta base de datos, se hace uso de la matriz de estrategia de muestreo ANEXO, donde se describen el tiempo de muestreo, el agente (metal), el método analítico aplicado, el TLV TWA y TLV Ajustado. Es importante aclarar que la elaboración de esta herramienta debe ser realizada por personal con los conocimientos necesarios para establecer las relaciones correctas en cuestiones de exposición y priorización.

La base de datos consta de 32 apartados, que fueron construidos teniendo en cuenta la información relevante obtenida de la cadena de custodia y deben ser diligenciados de la siguiente manera:

- Nombre del trabajador: Nombre completo del trabajador, con el cual se pueda tener la correcta identificación del mismo para no tener errores en el registro de los datos.
- Identificación del trabajador: Número de identificación de cada uno de los trabajadores para evitar confusiones y/o errores en el proceso de adquisición de los datos.
- Edad: Edad del trabajador muestreado, es un dato importante pues permite relacionar posibles síntomas o signos de alteración en la salud provenientes de las posibles exposiciones del trabajador.
- Área de trabajo: Se debe describir el área discreta en la cual el trabajador realiza sus labores constantemente y donde se puede delimitar la exposición.

- Operación monitoreada: Describe la operación y/o proceso en la cual el trabajador se ha enfocado en el momento del muestreo, esto ayuda a determinar la exposición a la cual se encuentra el trabajador durante el desarrollo de la actividad.
- Antecedentes ocupacionales: Describe los estados de salud del trabajador, sus registros de enfermedad ocupacional, procedimientos diagnósticos, tratamiento y rehabilitación relacionados con la exposición a factores de riesgo en el lugar de trabajo.
- Turno: Es un tipo de jornada laboral donde el horario no interrumpe el proceso de producción empresarial durante la semana según un cierto ritmo continuo o discontinuo.
- Jornada: La jornada de trabajo es el tiempo que cada trabajador dedica a la ejecución del trabajo por el cual ha sido contratado. Se contabiliza por el número de horas que el empleado ha de desempeñar para desarrollar su actividad laboral dentro del período de tiempo que trate: días semanas o años (95).
- Horas por semana: Refiere al tiempo de exposición semanal al cual se expone en el trabajador en su jornada de trabajo (95).
- Tasa de producción: Se registra el número de unidades de salida por unidad de tiempo que la empresa pretende proporcional al mercado para atender a la demanda que tiene o que estima va a tener (89).
- Frecuencia: Número de repeticiones de la realización del trabajo por unidad de tiempo.
- Descripción de la actividad: Se describe toda la actividad que desarrolla el trabajador en la jornada de trabajo, el trabajo desempeñado y la tarea (manual o automática), en

el cual se desempeña el trabajador o el grupo de exposición similar, teniendo en cuenta lo registrado en el formato de recolección y registro de datos de medición.

- Tiempo diario de exposición: Refiere al tiempo en el cual el trabajador se expone diariamente a algún agente.
- Tiempo de muestreo: Se indica la cantidad de minutos por los cuales fue realizado el muestreo, teniendo en cuenta el tiempo mínimo y tiempo máximo establecido en la matriz de estrategia de muestreo (44).
- Datos de exposición a otro agente: Establece si en algún momento se puede estimar una exposición asociada con una mezcla de sustancias. El estimado de la exposición para un componente seleccionado (la sustancia referencia) puede dar la base para un estimado de la exposición de los otros componentes de la misma mezcla (43).
- Agente: Se indicara el agente al cual el trabajador o GES está expuesto, basándose en la matriz de estrategia de muestreo, en el caso del presente trabajo de grado el agente referencia será el metal pesado en cuestión (43).
- Frases R o H: Son frases que indican peligro o riesgo, son asignadas a una clase o categoría de peligro, describen la naturaleza de los peligros de una sustancia o mezcla peligrosa (92).
- Concentración del químico: Refiere a la cantidad escrita en números decimales de la concentración obtenida tras el muestreo en el área de trabajo.
- Nivel máximo permisible (TLV Ajustado) y (TLV TWA): Se registraran de manera automática y en concordancia con el apartado anterior y la matriz de estrategia de muestreo, los valores límites permisibles referenciados previamente por la ACGIH y por el modelo Brief & Scala.

- Clasificación de la exposición: El dato se incorpora automáticamente teniendo en cuenta la relación descrita en el inciso 11.2 de este documento, en el cual se especifica cómo es la concordancia de la concentración del agente con el término exposición “mayor” o “menor” teniendo en cuenta la concentración del agente.
- Índice de exposición: El número respectivo se incorpora automáticamente relacionando las casillas del nivel máximo permisible (TLV TWA Ajustado) con la concentración del agente.
- Aceptabilidad de la exposición: Estos valores se asocian con el inciso anterior de indicadores de exposición relacionando el número 1 como aceptable, el 2 y 3 como indeterminados y el 4 como inaceptable, de igual forma el ingreso de datos es automático.
- Prioridad de la intervención: Los valores son asociados con la aceptabilidad de la exposición, teniendo en cuenta la escala numérica, siendo 4 la exposición con prioridad alta, 3 y 2 exposición con prioridad media y 1 exposición con prioridad baja; igual de las casillas anteriores los datos son automáticos.
- Técnica analítica utilizada: Refiere la técnica que se utiliza en el proceso de muestreo, este referenciado según la estrategia de muestreo y el método analítico utilizado.
- Caudal: Se utiliza la información referida en la estrategia de muestreo según cada método analítico utilizado por agente.
- Volumen muestreado: Se utiliza la información referida en la estrategia de muestreo según cada método analítico utilizado por agente.
- Condición medio ambiental referida: Se describe la condición medioambiental en la cual el trabajador estaba desarrollando la tarea, para tener en cuenta posibles fluctuaciones en los resultados de la medición.

- Acción sobre el agente químico: Determinar si hay sustitución total, sustitución parcial o cambio de presentación (forma o estado físico).
- Acción sobre el proceso/instalación: Determinar si hay sustitución del proceso o si es necesaria la utilización de equipos intrínsecamente seguros, además si hay opción de implementar equipos de extracción local incorporada, métodos de extracción localizada, mantenimiento preventivo o cabinas.
- Acción sobre el local de trabajo/ambiente de trabajo: Determinar si se puede implementar: procesos de orden y limpieza, ventilación por dilución, cortinas de aire, cabinas para los trabajadores, drenajes, control de focos de ignición.
- Acción sobre el método de trabajo: Determinar la necesidad de automatización, robotización, buenas prácticas de trabajo, supervisión, reducción de horarios, y utilización de EPP.

7.7 Calculadora de costos del muestreo

Esta plantilla de costos del muestreo cumple la función de una calculadora de costos, que permite al higienista determinar el costo total de un muestreo, teniendo en cuenta los aspectos básicos de este, para permitir de antemano brindar una cotización de costos a las empresas interesadas en el muestreo.

Los datos que implementan en esta plantilla son los siguientes:

- Empresa: Referir el nombre de la empresa que quiere adquirir el servicio.
- Puesto de trabajo: En que puesto de trabajo se quiere realizar la medición para saber la exposición que tiene el trabajador a cierto agente.
- Sustancia: Refiere el agente que será evaluado durante el muestreo.
- Método analítico: Debe especificar que método analítico fue utilizado para así determinar los datos más importantes del método.
- Material de recolección: Refiere al medio de recolección de las muestras que fue utilizado según el método analítico aplicado.
- Proveedor: En esta casilla se debe establecer que laboratorio brindo el análisis respectivo a las muestras tomadas durante el muestreo, de esta manera los costos serán diferentes según el laboratorio y el análisis respectivo.
- Costo por muestra y análisis (USD) (COP): Se toma el valor del análisis de la muestra referido por el laboratorio en cuestión.
- Costo envío muestra: Se toma el valor del costo del envío de la muestra teniendo en cuenta los medios de transporte necesarios para la misma.

- Número de guía del envío: Esta casilla es implementada para tener un seguimiento constante del envío de la muestra, para evitar imprevistos.
- Costo mano de obra (x_{min}): Refiere al costo de la mano de obra del higienista al desempeñar su trabajo en la recolección de datos e implementación del método de muestreo.
- Tiempo de muestreo (x_{min}): El valor es tomado de la estrategia de muestreo utilizada teniendo en cuenta el caudal y volumen muestreado.
- Costo de recolección: Este costo es la relación entre el costo de mano de obra por minuto y el tiempo de muestreo que fue necesario para realizar la medición de manera correcta.
- Alojamiento: Se determina el costo de alojamiento (en caso de ser necesario) que cubre la empresa para el higienista.
- Alimentación: Se determina el costo de la alimentación (en caso de ser necesario) que cubre la empresa para el higienista.
- Transporte: Se determina el costo de alojamiento (en caso de ser necesario) que cubre la empresa para el higienista.
- Total del servicio: Determina el costo total del servicio, sumando los totales de cada uno de los costos relacionados anteriormente.

Esta herramienta permite al higienista determinar los costos totales de la aplicación de la estrategia de muestreo para la caracterización de metales pesados u otros agentes de los cuales la empresa quiera tener certeza de su concentración y de la exposición a la cual se encuentran sus empleados en el lugar de trabajo.

7.8 Flujograma para el seguimiento de la exposición a metales pesados

Dando alcance al tercer objetivo, se hace necesario el diseño de un flujograma para el seguimiento de la exposición a metales pesados (Anexo 8), en el cual se determine un orden de los pasos a seguir para determinar la exposición a metales pesados.

Teniendo en cuenta lo escrito en los incisos anteriores, el diseño del flujograma se acopla a los pasos secuenciales que se siguen para la determinación de la exposición de los trabajadores, inicialmente se debe realizar una caracterización de la organización, a partir de la determinación del tipo de trabajo, realización de una evaluación del puesto de trabajo (a partir de este punto, se inicia el análisis para establecer los Grupos de Exposición Similar), evaluación del tipo de actividad, análisis de la tarea, para determinar si hay exposición a productos químicos.

De ser así, se elabora el listado de productos químicos, posteriormente se debe validar y analizar las hojas de seguridad de cada productos, determinar los componentes de dichos productos y los patrones de exposición al producto químico, tales como tipo de sustancia referenciada por su número atómico, CAS, los TLVs, IDLH, MAKs, las vías de entrada al organismo, las concentraciones ambientales, tiempo de exposición, presencia simultánea de otras sustancias y la susceptibilidad individual de cada trabajador para determinar las medidas higiénicas personales y los EPP, (en este punto se procede a realizar la matriz de identificación químicas de los metales, en la cual se disponen todos los datos recolectados con los pasos anteriormente descritos), además se procede a diligenciar el formato de recolección y registro de datos de medición.

Posterior a la metodología descrita anteriormente, se hace la determinación de la evaluación cuantitativa de la exposición, en la cual se realiza la caracterización básica y reconocimiento global de los lugares de trabajo que serán estudiados, allí se definen los puntos y números de muestra por punto, además de los trabajadores a muestrear. Ligado a esto y los pasos anteriores, se debe determinar el método analítico para la estrategia de muestreo requerida, ya definida, se determina el tipo de equipos y accesorios usados para el muestreo, se hace el cálculo del caudal del tren de muestreo, se realiza el montaje de los filtros, la instalación y operación del tren de muestreo y se hace la toma de muestra, luego, se hace el análisis de datos (cálculos, concentración, FCAD, VLPC) y por último la interpretación de resultados. En la etapa de interpretación de resultados, se realiza los criterios estadísticos, la clasificación de la exposición, el índice de exposición, la aceptabilidad de la exposición y la prioridad de la intervención, a partir de lo anterior se determina la necesidad de reevaluación de la exposición y se determina el reporte y registro de las exposiciones ligado a la base de datos de la exposición con la cual se cierra el proceso de seguimiento de la exposición a metales pesados que tienen los trabajadores en los centros RAEE.

8. Discusión

De acuerdo con la investigación realizada en este proyecto de grado, se puede evidenciar que una de las mayores problemáticas que afectan al mundo en estos tiempos de desarrollo y tecnología es la basura electrónica. Artículos relacionados en el estado del arte de este trabajo, dejan en evidencia los graves problemas que se han adquirido a causa de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la salud y en el medio ambiente (96), (97), (58).

Múltiples afectaciones a la salud de los trabajadores son ocasionadas por este tipo de residuos y más aún por los metales pesados relacionados a los mismos. Las cifras de este tipo de residuos van en constante crecimiento por temas como la globalización y los avances tecnológicos que se han desarrollado con el pasar de los años.

Para el desarrollo de este trabajo se hizo necesario realizar búsquedas e investigaciones que reflejan las circunstancias de exposición a las cuales se encuentran los trabajadores y las personas aledañas a los centros de reciclaje de aparatos eléctricos y electrónicos. En concordancia con el documento (trabajo de grado de Especialización) de las Doctoras especialistas en Salud Ocupacional, Marinella Ruiz, Maryen Quintero y Mayi Sánchez (11), se procedió a la investigación realizada por las mencionadas sobre la legalidad de la industria en una ciudad como Bogotá. Según el documento, encontrar la cantidad total de empresas en Bogotá, que manejen los RAEE de forma formal e informal y la cantidad total de trabajadores expuestos es demasiado complicado a causa de la falta de documentación y registro de las empresas ante el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Sin embargo, documentos

de otros países brindan una visión amplia de la problemática mundial que abarca la basura electrónica, mostrando vacíos en la información relevante sobre las exposiciones en el comercio informal siendo los trabajadores de este sector los más vulnerables a la exposición (98). Lo cual genera gran inquietud y preocupación pues la falta de normatividad y legislación en este aspecto es evidente.

Por esto, para el desarrollo de este proyecto de grado, fue necesario establecer y conocer la legislación y normatividad aplicable en Colombia, para, de esta manera identificar la importancia y relevancia del cumplimiento de la normatividad implantada por el estado. Sin embargo, para el sector económico en cuestión (gestores RAEE), la normatividad es escasa y limitada, lo cual se refleja en la falta de autoridad para impartir sanciones a las industrias que incumplan la normatividad. Por su parte, la Ley 9 de 1979 conocida como el Código Sanitario Nacional, determina como obligación del empleador a mantener el lugar de trabajo en adecuadas condiciones de higiene y seguridad, además adoptar las medidas de higiene y seguridad necesarias para el control de los factores de riesgo (99), de la mano se encuentra, la ley 55 de 1993 en la que se dicta que los empleadores deben asegurar y velar por que los trabajadores no estén expuestos a sustancias químicas por encima de los límites de exposición, además obliga a vigilar, evaluar, registrar y conservar toda la información concerniente a la exposición a productos químicos peligrosos para los trabajadores (100); sin embargo, instituciones como OSHA determinan de manera más específica los lineamientos que se deben seguir para la prevención de accidentes por sustancias toxicas, entre ellos tener en cuenta los niveles de exposición, el monitoreo de la exposición, la regulación en las áreas de trabajo, lo controles y programas de cumplimiento y los niveles de acción, lo cual

demuestra que la legislación colombiana tiene vacíos importante en cuanto al control de este tipo de sustancias.

Es claro que en Colombia se ha generado una nueva perspectiva de prevención de accidentes y enfermedades laborales en el trabajo, es por esto que se implementa el Decreto 1072 de 2015 que determina la condiciones que debe cumplir el empleador teniendo en cuenta la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), en el cual se debe establecer los indicadores de estructura, proceso y resultado, además los debidos planes de acción y ciclos PHVA, que junto con el vínculo a las ARL promueven la adecuación de normas relativas a la higiene y seguridad en el trabajo (32); de mano a este Decreto, la Resolución 312 del 2019 define los estándares mínimos del SG-SST, que busca lograr el cumplimiento con la afiliación al Sistema de Seguridad Social Integral, brindar un plan anual de trabajo, realizar evaluaciones medicas ocupacionales, identificar peligros, evaluación y valoración de riesgos y tener medidas de prevención y control frente a los peligros y riesgos identificados (101); sin embargo, esta normatividad tiene vacíos en las pautas para el establecimiento de los EPP, en la evaluación de riesgos, en el entrenamiento a los trabajadores para usos correctos de los EPP y demás controles, y en los planes de acción que se desarrollen para la prevención de accidentes de trabajo. Esta comparación realizada con entes como la OSHA, muestran las limitaciones en el marco normativo y práctico que se tienen como higienista al querer brindar un servicio que abarque todos los aspectos necesarios para generar una consciencia en trabajadores y empleadores sobre el cuidado ideal de la salud en el lugar de trabajo. Ligado a lo anterior se ve la importancia de la realización de caracterizaciones del lugar de trabajo, de los agentes químicos (metales pesados) y de las posibles formas de medición de los mismos para el establecimiento de controles o pautas que

ayuden a disminuir las exposiciones de los trabajadores y así disminuir los riesgos en su salud.

Otro aspecto importante en el marco legal, lo brinda el Decreto Ley 2090 del 2003 el cual es el encargado de definir las actividades de alto riesgo para la salud del trabajador y demás personas que laboren en este tipo de actividades constatando que deben tener un régimen de pensión especial y un bono pensional. Entre las actividades consideradas como de alto riesgo se incluye incluye «*todos los trabajos con exposición a sustancias comprobadamente cancerígenas*» (102). Teniendo en cuenta esto, se analiza la lista de la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) se pudo evidenciar que de los 16 metales pesados analizados presentes en los AEE, 11 son potencialmente cancerígenos (Bario, Berilio, Níquel, Zinc, Arsénico, Cobalto, Mercurio, Cadmio, Hierro, Plomo y Aluminio), adicionalmente se hace una revisión en CAREX 2012 donde se evidencia que el sector económico referido en este trabajo (reciclaje) no se encontraba incluido en sus consideraciones (103), lo cual refleja el vacío normativo y de información necesarios para el establecimiento de políticas y controles para este sector (11).

Teniendo en cuenta lo anterior, se genera la construcción de la matriz de caracterización de metales pesados, que busca ligar e implementar datos relevantes y de importancia para la identificación de los metales pesados, presentes en los residuos de los aparatos eléctricos y electrónicos que son manipulados por los trabajadores y por ende generan un nivel de exposición en la jornada laboral. El establecimiento de estos datos es de gran importancia para el sector laboral ya que permite que el empleador y los trabajadores tengan un conocimiento más específico sobre el tipo de agente al cual pueden estar ocupacionalmente expuestos. La consolidación de esta matriz se realizó a partir de búsquedas en diferentes fuentes como Pubchem, NIOSH, OSHA, MAK, por medio de estas fuentes se logró

establecer métodos de identificación química para los agentes relevantes en este estudio. Esta identificación de contaminantes a los que se encuentra expuesto el trabajador es la primera actuación de la Higiene Industrial, por ende su aplicación en este trabajo de grado es de gran importancia.

Ligado a la matriz anterior y teniendo en cuenta la importancia para la determinación más concreta de la exposición que tiene cada trabajador en el lugar de trabajo, se genera el formato de cadena de custodia que se diseña teniendo en cuenta información relevante para generar una historia de exposición ocupacional que posteriormente se conserve por medio de una base de datos que contenga información del lugar de trabajo, los trabajadores, los agentes ambientales, los grupos de exposición similar, resultados de monitoreos anteriores, y datos de evaluaciones de exposición previos (80). La recolección de estos datos nos permite como higienistas ingeniar soluciones que permitan reducir de gran manera el riesgo que tiene el trabajador.

Como paso previo a la realización de la metodología de muestreo, es necesario implementar una matriz de grupos de exposición similar que nos permita determinar grupos de trabajadores que desarrollen procesos de trabajo, actividades, tareas, agentes ambientales y posibles exposiciones similares, esta matriz es un punto importante ya que al brindar una descripción detallada de los aspectos anteriores, permite que se dé una comprensión más sencilla de los datos incluidos en la base de datos de la exposición ocupacional, para así dar cabida a las intervenciones necesarias para cada situación.

Generalmente, las empresas no cuentan con una estrategia de muestreo específica para los agentes químicos que generan exposiciones en el lugar de trabajo, es por esto que se determina la gran importancia de las mismas en la evaluación de la exposición ocupacional, ya que con ella se logra la determinación de la forma en que se va a desarrollar el proceso de

captación de muestras. Por esto se implementa una matriz de estrategia de muestreo en la cual se recopila la información más importante para adquirir las muestras de la manera correcta y determinar la concentración a la cual están expuestos los trabajadores en el lugar de trabajo, de acuerdo con el documento de un grupo de investigadores de Cuba, la valoración cualitativa de los puestos de trabajo, donde existen riesgos es importante, mas sin embargo, el análisis cuantitativo del medio ambiente laboral tiene una relevancia mayor ya que permitirá dar un seguimiento al proceso de evaluación dosis respuesta y las condiciones variables de exposición referidas al tiempo y lugar de trabajo (104).

Ligado a lo anterior se constata la importancia de la realización de la estrategia de muestreo para de esta manera guiar al empleador en las situaciones de exposición que representa el lugar y el proceso de trabajo a los trabajadores.

La importancia de la reunión de toda la información anteriormente descrita es notable, estos datos deben ser registrados en una base de datos que reúna lo más importante y permita trabajar sobre ellos para determinar las estratificaciones de las concentraciones y sus controle. Como lo expone la AIHA, una base de datos de exposición es especialmente importante si existe el compromiso de la empresa de mantener la historia de exposición ocupacional de los trabajadores, por ende, sin un sistema computarizado de apoyo puede ser difícil manejar los resultados apoyar las actividades administrativas requeridas por una evaluación global de la exposición en una organización mediana y grande (80).

Para finalizar, la comunicación de resultados es un vínculo importante entre los esfuerzos del higienista industrial y la protección de la salud del trabajador. Es por esto que los trabajadores y la administración deben entender todos los tipos de riesgos que se encuentran presentes en el sitio de trabajo ya que, a partir de este entendimiento se podrá llegar a la implementación de los controles efectivos para la disminución de la exposición y a la comunicación efectiva

de los resultados de la evaluación de la exposición y los riesgos de la salud a los que se enfrentan diariamente los trabajadores de los centros RAEE.

9. Conclusiones

Al realizar la investigación referente a la generación de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) es evidente que los avances tecnológicos y la facilidad de adquisición de los AEE han generado una creciente demanda de desechos electrónicos que generan afectaciones tanto en el medio ambiente como en la vida de los trabajadores que se enfrentan de manera directa a estos residuos, por lo cual, se hace evidente la necesidad de ahondar en este tema y determinar procesos de investigación y medición que permitan hacer manejable la exposición.

Los vacíos en normatividad y legislación a nivel nacional sobre la medición y tratamiento de la exposición por metales pesados es evidente, aunque se han implementado nuevos Decretos aún hay vacíos importantes teniendo en cuenta las reglamentaciones internacionales correspondientes a contaminantes químicos y su forma de medición y control, lo cual implica que las decisiones sobre estas medidas sean tomadas directamente por los empleadores quienes generalmente no tienen conocimiento de los riesgos intrínsecos de los trabajos.

Al tomar como base la evaluación del proceso de trabajo realizada en el trabajo de grado titulado “Guía para el monitoreo biológico de la exposición a metales pesados en trabajadores de material Eléctrico y Electrónico (RAEE) en Colombia” se evidencian practicas manuales con poca tecnificación y de condición rutinaria en el Centro RAEE, además, las autoras determinan que tanto el personal operativo como administrativo del lugar, desconocen los peligros más críticos para este tipo de trabajo, por ende se hace más difícil la generación de controles y modificaciones en los procesos de trabajo y la vigilancia en salud (11). Así mismo determinan que en su matriz de identificación de peligros, que la

mayor exposición era a peligro químico y que a la vez su principal factor de riesgo son las características de los metales pesados. De ahí parte la necesidad de la realización de una estrategia que permita muestrear la concentración de los metales pesados a los que se exponen diariamente los trabajadores en el lugar de desarrollo de sus tareas.

La investigación realizada sobre los efectos en salud y la estrategia de medición de estos metales evidenció que la mayoría de los estudios son realizados en países orientales, donde se genera mayor demanda de este tipo de residuos y se rigen y tienen métodos de evaluación más específicos que en nuestro país, gracias a su normatividad y su seguimiento a instituciones que han realizado investigaciones que son pertinente para el tratamiento de la exposición.

Al elaborar la matriz de identificación química se constata la importancia del conocimiento de datos relevantes sobre cada compuesto químico al cual se enfrentan los trabajadores, que busca generar conocimiento sobre estos, para lograr que tanto el empleador como los operarios tengan un conocimiento sobre las características de los componentes a los que se encuentran expuestos, además de brindar bases para la determinación de la estrategia de muestreo.

La falta de análisis y conocimiento de los riesgos asociados a la exposición laboral que tienen los trabajadores en los centros RAEE determina la importancia y relevancia de la aplicación de una estrategia de muestreo que permita constatar el método de muestreo ideal para la captación y análisis de la concentración de los metales pesados en estas industrias, para de esta forma prevenir a los trabajadores respecto a posibles patologías y síntomas generados a causa de un mal manejo de los residuos.

El papel del higienista industrial es vital en todas las industrias donde se desarrollen procesos productivos, ya que la higiene industrial se dedica a estudiar los efectos que tienen los

contaminantes sobre el hombre, con la intención de determinar cuáles son los valores que pueden resultar peligrosos para la salud de los trabajadores expuestos (84). La visión general y detallada de estos profesionales permita ahondar en la investigación y determinación de posibles riesgos que generan exposiciones que sin un control pueden ser súbitas en el personal laboral.

Es de gran importancia para las industrias conocer y tener una base de datos de la exposición en la cual se registren todos los datos relevantes que permitan dar un seguimiento activo de las exposiciones a las cuales se enfrentan los trabajadores en su día a día, para reducir la probabilidad de una generación de patologías que afecten tanto al trabajador como a la empresa, por esto, con los formatos y matrices adjuntas de este trabajo de grado se puede tener una trazabilidad de datos que permitirá un manejo más amplio de la información para clasificar las exposiciones y determinar los controles más óptimos para cada situación, velando así por la integridad del trabajador y el desarrollo correcto de su labor.

10. Recomendaciones

- Recomendaciones para el Gobierno Nacional
 - ❖ Es importante que los entes gubernamentales consideren de forma más amplia la industria del reciclaje de materiales eléctricos y electrónicos, y la legislación respectiva para empresas como centros gestores.
 - ❖ Implementar normativas para los fabricantes de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos en las cuales se dicten medidas para la fabricación de estos teniendo en cuenta la utilización de materiales que no generen tal riesgo para la salud pública.
 - ❖ Generar consciencia en la población mundial sobre la generación de residuos de estos aparatos, esto por medio de campañas que brinden información sobre maneras de reciclaje adecuada de residuos, lugares de acopio y empresas certificadas y habilitadas para esto, con el fin de reducir la informalidad en este sector.
 - ❖ Establecer normatividad específica y generar sanciones a empresas que por mala manipulación de estos residuos estén generando problemas ambientales y de salubridad.
 - ❖ Creación de políticas en las empresas para la gestión de los residuos adquiridos por la manipulación de estos componentes.
 - ❖ Instaurar y promover la implementación de programas que permitan hacer mediciones constantes sobre los contaminantes que generan estos aparatos, con el fin de reducir las exposiciones en el lugar de trabajo.

- ❖ Seguir incentivando y aumentando los estándares mínimos que se deben cumplir en la empresa, teniendo en cuenta los factores de riesgo asociados a los procesos productivos que se llevan a cabo en la misma.
- Recomendaciones para centros RAEE
- ❖ Implementar políticas y normas que permitan el establecimiento de programas para el manejo de estrategias de muestreo, evaluación cualitativa y cuantitativa de la exposición y métodos analíticos.
- ❖ Realizar campañas de capacitación a empleadores y empleados para que tengan conocimiento de los riesgos que conlleva la manipulación inadecuada de estos aparatos.
- ❖ Promover estudios e investigaciones que evalúen la exposición que tienen personas aledañas a centros gestores de RAEE para tener un registro completo de la exposición y sus impactos a nivel poblacional.
- ❖ Establecer protocolos de seguridad para el tratamiento correcto de estos elementos, brindando capacitación sobre la correcta manipulación de los mismos para evitar enfermedades futuras.
- ❖ Realizar los exámenes de salud periódicos en los trabajadores para determinar la afectación por la manipulación de estos elementos.
- ❖ Realizar mediciones de higiene industrial en las industrias que permitan determinar los riesgos y los valores límites a los cuales el empleado puede estar expuesto sin repercutir en su salud, así mismo para determinar de manera correcta los controles que se deben establecer en los lugares de trabajo para la reducción oportuna y a tiempo de la exposición.

- ❖ De ser necesario, modificar los procesos productivos, la fuerza laboral, buscar estrategias que permitan disminuir la exposición por los RAEE.
- ❖ Implementar bases de datos que permitan el manejo correcto de los datos de exposición y de trabajo que ayuden a determinar de manera correcta el rango de exposición y la generación de controles efectivos.
- Recomendaciones para la Universidad El Bosque
- ❖ A la Universidad El Bosque, continuar con implementando programas para la realización de investigaciones de este tipo, en los cuales se determine las necesidades que tiene el sector laboral en cuestión de salud, seguridad e higiene industrial, para permitir que los profesionales tengan una visión más clara de los problemas que conciernen a las industrias en general.

11. Bibliografía

1. Hidalgo L. Facultad de ciencias de la ingeniería. [Online].; 2010. Available from: <http://www.ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/16/15>.
2. Palma I, Reyes A, Vázquez F. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. [Online].; 2016. Available from: <file:///C:/Users/HOGAR/Downloads/1492-5873-1-PB.pdf>.
3. Urbina H. Basura electrónica: cuando el progreso enferma al futuro. Revista de medicina. 2015;; p. 39-49.
4. Payueta E. Residuos electrónicos, la plaga del siglo XXI. El Mundo. 2017 Noviembre.
5. UNEP. Basel Convention. [Online].; 2011 [cited 2019 10 02. Available from: <http://www.basel.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/1275/Default.aspx>.
6. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Política Nacional Gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos RAEE. [Online].; 2017 [cited 2019 10 03. Available from: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/assets/RAEE_baja.pdf.
7. Lundgren K. The global impact of e-waste: addressing the challenge; International Labour Office. [Online].; 2012 [cited 2019 10 02. Available from: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@sector/documents/publication/wcms_196105.pdf.
8. Revista Semana. Se produjeron 41,8 millones de toneladas de basura electrónica en 2014. Semana Sostenible. 2015 Apr.
9. CORANTIOQUIA. Concientizate campaña de recolección de RAEE. [Online].; 2018 [cited 2019 10 11. Available from: <http://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/PDF/Gesti%C3%B3n%20ambiental/Residuos/Peligrosos/Cartillas/Cartiila%20RAEE.pdf>.
10. Schwarzer S. United Nations Environment Programme. E-waste, the hidden side of IT equipment's manufacturing and use.. [Online].; 2012 [cited 2019 10 02. Available from: file:///C:/Users/HOGAR/Downloads/unige_23132_attachment01.pdf.
11. Sanchez M, Ruiz M, Quintero M. Guía para el monitoreo biológico de la exposición a metales pesados en trabajadores de material electrónico y eléctrico (RAEE) en Colombia; Universidad El bosque. [Online].; 2019 [cited 2019 10 02.
12. Echeverría C. Universidad Militar Nueva Granada. [Online].; 2015 [cited 2019 10 02. Available from: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7173/Gesti%c3%b3n%20posconsu>

[mo%20para%20Mipymes%20distribuidoras%20de%20equipos%20electr%C3%B3nicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y.](#)

- 1 Londoño L, Londoño P, Muñoz F. LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA
3. SALUD HUMANA Y ANIMAL. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.
2016 Dec; 14(2).
- 1 Ministerio de Salud Gobierno de Chile. Toxicidad por metales pesados. [Online].; 2017 [cited
4. 2020 04 06. Available from: <http://www.entrepediatras.cl/wp-content/uploads/2016/04/Intoxicaci%C3%B3n-por-metales-pesados.pdf>.
- 1 WHO. World Health Organization. [Online].; 2017 [cited 2020 04 02. Available from:
5. <https://www.who.int/es/news-room/detail/06-03-2017-the-cost-of-a-polluted-environment-1-7-million-child-deaths-a-year-says-who>.
- 1 Kitsara I. Los desechos electrónicos y la innovación: aprovechar su valor oculto. OMPI
6. REVISTA. 2014 Jun; 3.
- 1 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Política nacional para la gestión integral de los
7. residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). [Online].; 2017 [cited 2020 03 16.
Available from:
http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_1_3.html.
- 1 El Tiempo. Periodico El Tiempo. [Online].; 2018 [cited 2020 04 02. Available from:
8. <https://www.eltiempo.com/economia/finanzas-personales/produccion-de-basura-electronica-en-colombia-257770>.
- 1 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Convenio de Estocolmo. [Online].; 2015
9. [cited 2020 03 16. Available from: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convenio-de-estocolmo>.
- 2 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Residuos peligrosos (Convenio de Basilea).
0. [Online].; 2019 [cited 2020 03 16. Available from:
<http://quimicos.minambiente.gov.co/index.php/residuos-peligrosos/convenio-de-basilea>.
- 2 Cancillería de Colombia. Convenio de Rotterdam. [Online].; 2019 [cited 2020 03 16. Available
1. from: <https://www.cancilleria.gov.co/convenio-rotterdam>.
- 2 Congreso de la República. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [Online].; 2013
2. [cited 2020 04 05. Available from:
http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2013/ley_1672_2013.pdf.
- 2 Ministerio de salud de Colombia. Ley 9 de 1979. [Online].; 1979 [cited 2020 03 16. Available
3. from: https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf.
- 2 Congreso de la República de Colombia. Secretaría Distrital del Hábitat (Ley 99 de 1993).
4. [Online].; 1993 [cited 2020 03 16. Available from:
<https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-99-1993>.

- 2 Congreso de Colombia. Secretaria del Senado. [Online].; 1993 [cited 2020 04 05. Available from: http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0055_1993.html.
- 2 Congreso de Colombia. Ministerio de Ambiente (Ley 253 de 1996). [Online].; 1996 [cited 2020 03 16. Available from: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/1996/ley_0253_1996.pdf.
- 2 Congreso de la República de Colombia. Secretaría Distrital del Hábitat (Ley 142 de 1994). [Online].; 1994 [cited 2020 03 16. Available from: <https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/normatividad/ley-142-1994>.
- 2 Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. [Online].; 2010 [cited 2019 10 15. Available from: http://www.residuos electronicos.net/wp-content/uploads/2012/03/Guia_RAEE_MADS_2011-reducida.pdf.
- 2 El Congreso de Colombia. Ministerio de Salud Ley 1562 de 2012. [Online].; 2012 [cited 2020 04 10. Available from: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Ley-1562-de-2012.pdf>.
- 3 MINISTERIO DEL TRABAJO. DECRETO 1477. [Online].; 2014 [cited 2020 04 10. Available from: https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1477_del_5_de_agosto_de_2014.pdf/b526be63-28ee-8a0d-9014-8b5d7b299500.
- 3 MINISTERIO DEL TRABAJO. DECRETO 1443 DE 2014. [Online].; 2014 [cited 2020 04 10. Available from: https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/36482/decreto_1443_sgsss.pdf/ac41ab70-e369-9990-c6f4-1774e8d9a5fa.
- 3 MINISTERIO DEL TRABAJO. DECRETO 1072. [Online].; 2015 [cited 2020 04 10. Available from: <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/0/DUR+Sector+Trabajo+Actualizado+a+15+de+abril++de+2016.pdf/a32b1dcf-7a4e-8a37-ac16-c121928719c8>.
- 3 SOCIAL MDTYS. RESOLUCIÓN 2400. [Online].; 1979 [cited 2020 04 10. Available from: <https://www.secretariajuridica.gov.co/transparencia/marco-legal/normatividad/resoluci%C3%B3n-2400-1979>.
- 3 OSHA. UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR. [Online].; 2019 [cited 2020 04 10. Available from: <https://www.osha.gov/>.
- 3 Gobierno de España. Ministerio para la transición ecológica. [Online].; 2017 [cited 2019 10 04. Available from: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/aparatos-electr/electricos-y-electronicos-materiales-y-componentes.aspx>.

- 3 Greenpeace Argentina. Greenpeace Argentina. [Online].; 2017 [cited 2019 10 10. Available from: <https://www.greenpeace.org/argentina/el-peligro-de-los-residuos-electronicos/>.
- 3 Londoño L, Londoño P, Muñoz F. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 7. [Online].; 2016 [cited 2019 10 11. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>.
- 3 García S. La economía circular y los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos: impactos sobre la salud infantil. Revista de salud ambiental 19 (Especial congreso 2019). 2019;(64).
- 3 Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. Exposición ocupacional. [Online].; 9. 2019 [cited 2019 10 12. Available from: <https://infosida.nih.gov/understanding-hiv-aids/glossary/3971/exposicion-ocupacional>.
- 4 Instituto de seguridad y bienestar laboral. Prevencionar. [Online].; 2018 [cited 2019 10 12. Available from: <http://prevencionar.com.mx/2014/02/06/quien-es-personal-ocupacionalmente-expuesto/>.
- 4 U.S Department of Health and human Services. AIDS. [Online].; 2018 [cited 2020 03 16. Available from: <https://aidsinfo.nih.gov/understanding-hiv-aids/glossary/1615/occupational-exposure>.
- 4 Heacock M, Bain C, Birnbaum L. E-Waste and Harm to Vulnerable Populations: A Growing Global Problem. Environmental Health Perspectives. 2016 May; 124(5).
- 4 INSHT. Exposición a agentes químicos. Evaluación cuantitativa. [Online].; 2017 [cited 2019 3. 10 16. Available from: <http://calculadores.insht.es:86/Exposici%C3%B3naagentesqu%C3%ADmicos/Introducci%C3%B3n.aspx>.
- 4 ACGIH. TLV's and BEIs 2020 Cincinnati: Signature Publications; 2020.
- 4 WHO/PAHO. Health Library for Disasters. [Online]. USA; 2019 [cited 2020 03 16. Available from: <http://helid.digicollection.org/en/p/packa/>.
- 4 World Health Organization. Preventing disease through healthy environments, exposure to cadmium: a major public health concern. [Online].; 2010 [cited 2019 10 12. Available from: <https://www.who.int/ipcs/features/cadmium.pdf>.
- 4 Congreso de la República. Ley 1672. [Online].; 2013 [cited 2019 10 14. Available from: 7. http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2013/ley_1672_2013.pdf.
- 4 Xu L, Huo X, Liu Y, Zhang Y, Qi Q, Xu X. Hearing Loss Risk and DNA Methylation Signatures in Preschool Children Following Lead and Cadmium Exposure From an Electronic Waste Recycling Area. [Online].; 2020 [cited 2020 02. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31927382/>.

- 4 Nirupam A, Kararzyna K, Syed I, Tara SA. The Hidden Risks of E-Waste: Perspectives from
9. Environmental Engineering, Epidemiology, Environmental Health, and Human-Computer
Interaction. [Online].; 2020 [cited 2020 03. Available from:
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-32112-3_11.
- 5 An S, YangFeng S, Keli Z, Weijun F. Long-term effect of E-waste dismantling activities on the
0. heavy metals pollution in paddy soils of southeastern China. [Online].; 2020 [cited 2020 03.
Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719359662>.
- 5 Zhang Y, O'connor D, Xu W, Hou D. Blood lead levels among Chinese children: The shifting
1. influence of industry, traffic, and e-waste over three decades. [Online].; 2020 [cited 2020 03.
Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019326078>.
- 5 Alfred JL, Tahmeena K. Quantification of Airborne Particulate and Associated Toxic Heavy
2. Metals in Urban Indoor Environment and Allied Health Effects. [Online].; 2019 [cited 2020 03.
Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0540-9_2.
- 5 Yu Y, Zhu X, Li L, Lin B, Xiang M, Zhang X, et al. Health implication of heavy metals
3. exposure via multiple pathways for residents living near a former e-waste recycling area in
China: A comparative study. ELSEVIER. 2019 Marzo; 169.
- 5 Zhang T, Ruan J, Zhang B, Lu S, Gao C, Huang L, et al. Heavy metals in human urine, foods
4. and drinking water from an e-waste dismantling area: Identification of exposure sources and
metal-induced health risk. ELSEVIER. 2019 Marzo; 169.
- 5 The Asean Post. E-waste chokes Southeast Asia. [Online].; 2018 [cited 2020 05 04. Available
5. from: <https://theaseanpost.com/article/e-waste-chokes-southeast-asia>.
- 5 Earth Institute, Columbia University. What Can We Do About the Growing E-waste Problem?.
6. [Online].; 2018 [cited 2020 05 04. Available from:
<https://blogs.ei.columbia.edu/2018/08/27/growing-e-waste-problem/>.
- 5 Huang C, Juan L, Luo P, Wang Z, Meng S, Zeng E. Potential health risk for residents around a
7. typical e-waste recycling zone via inhalation of size-fractionated particle-bound heavy metals.
ELSEVIER. 2016 Noviembre; 317.
- 5 Xiang Z, Xijin X, Xiangbin Z, Tiina R, Aimin C, Xia H. Heavy metals in PM2.5 and in blood,
8. and children's respiratory symptoms and asthma from an e-waste recycling area. [Online].; 2016
[cited 2020 03. Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116300252>.
- 5 Oguri, Tomoko; Suzuki, Go; Matsukami, Hidenori; Uchida, Natsuyo; Minh, Nguyen; Tuyen,
9. Le; Hung, Pham; Takahashi, Shin; Tanabe, Shinsuke; Takigami, Hidetaka. ELSEVIER. 2018
Abril; 621.
- 6 Singh M, Parteek S, John S. Health risk assessment of the workers exposed to the heavy metals
0. in e-waste recycling sites of Chandigarh and Ludhiana, Punjab, India. ELSEVIER. 2018 Julio;
203.

- 6 Dongfeng Y, Yanling L, Shan L, Chun L, Yang Z, LeLi SL. Exposure to heavy metals and its association with DNA oxidative damage in municipal waste incinerator workers in Shenzhen, China. [Online].; 2019 [cited 2020 03]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520304823>.
- 6 Baniyadi M, Vakilchah F, Bahaloo-Horeh N, Mousavi S, Farnaud S. Advances in bioleaching as a sustainable method for metal recovery from e-waste: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019 Aug; 76.
- 6 Perez L, Hernández L. Universidad de La Salle. [Online].; 2006 [cited 2020 03 18]. Available from: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1672&context=ing_ambiental_sanitaria.
- 6 Bados N, García M, Jaramillo L, Tafurt Y, Hoyos L, Carvajal S. Efecto genotóxico por la exposición ocupacional en soldadura "soldadores", evaluado mediante la prueba de alteraciones cromosómicas (AC), en la ciudad de Popayán, Nariño, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*. 2005; 10(2).
- 6 Silva J, León G, Gómez D, Muñoz H, Blanco L. Determinación de metales pesados en humos metálicos presentes en ambientes informales de trabajo dedicados a la soldadura. *Revista Colombiana de ciencias químicas y farmaceuticas*. 2018; 47(1).
- 6 Astros I. Repositorio UNAL (Propuesta de sistema de alerta temprana bajo el enfoque de evaluación de riesgo por metales vehiculados en agua de consumo humano en Colombia. [Online].; 2019 [cited 2020 03 17]. Available from: <http://bdigital.unal.edu.co/73065/2/IvanRodrigoAstrosFonseca.2019.pdf>.
- 6 IDEA UNAL. Instituto de Estudios Ambientales UNAL. [Online].; 2019 [cited 2020 03 17]. Available from: <http://unal.edu.co/resultados-de-la-busqueda/?q=metales%20pesados>.
- 6 Quitero Balcázar S. Pontificia Universidad Javeriana. [Online].; 2014 [cited 2020 04 11]. Available from: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/16365>.
- 6 Reyes Restrepo A. Pontificia Universidad Javeriana. [Online].; 2010 [cited 2020 04 11]. Available from: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/739>.
- 7 Ávila Soto R, Jaramillo JF. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá. [Online].; 2013 [cited 2020 04 11]. Available from: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/12387>.
- 7 Amaya Cruz FA. Pontificia Universidad Javeriana. [Online].; 2009 [cited 2020 04 11]. Available from: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/725>.
- 7 Lora Reyes NJ. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. [Online].; 2017 [cited 2020 04 11]. Available from: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/7313>.
- 7 Alfonso Moreno FL. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. [Online].; 2018 [cited 2020 04 11]. Available from: <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/14002>.

- 7 Valderrama C, Díaz L, Jesús V. ANÁLISIS DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS DE
4. APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS (RAEES). ESTUDIO DE CASO EN LA
CIUDAD DE NEIVA.. [Online].; 2019 [cited 2020 05 04. Available from:
https://bosq.ent.sirsi.net/client/es_ES/default/search/results?qu=&te=&ir=Both.
- 7 Beltrán C. GESTIÓN Y PREVENCIÓN DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y
5. ELECTRÓNICOS (RAEE): UNA PROPUESTA PARA PROMOVER LA ECONOMÍA
CIRCULA. [Online].; 2018 [cited 2020 05 04. Available from:
https://bosq.ent.sirsi.net/client/es_ES/default/search/results?qu=&te=&ir=Both.
- 7 Health and Safety Executive. COSHH essentials. [Online].; 2019 [cited 2020 04 11. Available
6. from: <https://www.hse.gov.uk/pubns/guidance/coshh-technical-basis.pdf>.
- 7 Karolinska Institutet. Karolinska Institutet (Unit of Metals & Health). [Online].; 2018 [cited
7. 2020 03 17. Available from: <https://ki.se/en/imm/unit-of-metals-health>.
- 7 Ministerio de Salud. Resolución número 8430 de 1993. [Online].; 1993 [cited 2020 06 04.
8. Available from:
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>.
- 7 Asociación Médica Mundial. Código internacional de ética médica. [Online].; 1983 [cited 2020
9. 06 04. Available from:
<http://www.saludcapital.gov.co/Documentos%20Comit%20de%20etica/C%F3digos%20de%20C9tica%20M%E9dica/C%F3digo%20Internacional%20de%20etica%20medica.pdf>.
- 8 AIHA. La Estrategia para la Evaluación de la Exposición Ocupacional Fairfax: AIHA; 2010.
0.
- 8 Pedro F. Higiene Industrial En La Empresa Ed F, editor.: FC Editorial; 2007.
1.
- 8 Hernández L, López J, Méndez M. Reglamento Técnico para Metales (Cromo y Níquel).
2. [Online]. [cited 2020 05 22. Available from:
http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/facultades/medicina/salud_ocupnal/uniquindio/reglamento-higiene/RT_METALES_PESADOS.pdf.
- 8 NIOSH. Occupational Exposure Sampling Strategy Manual Cincinnati, Ohio: Systems Control
3. Inc; 1977.
- 8 Mateo FP. Gestión de la Higiene Industrial en la empresa: FC; 2007.
4.
- 8 Organización Iberoamericana de Seguridad Social. Metodología para la identificación,
5. evaluación y control de la exposición a contaminantes químicos. [Online].; 2016 [cited 2020 05
23. Available from: <https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/2-EOSyS-09-v2.pdf>.
- 8 Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSST). Bombas para el muestreo
6. personal de agentes químicos. [Online].; 2006 [cited 2020 05 23. Available from:

https://www.insst.es/documents/94886/359418/CR_001_A06.pdf/172434fa-bd4e-4500-950c-26fb365a2ea4.

8 Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Occupational Hygiene-Occupational
7. Exposure Limits. [Online].; 2020 [cited 2020 05 25. Available from:

https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/occ_hygiene/occ_exposure_limits.html.

8 INSST. NTP 162: Diferencias entre los MAK de la RFA (1986) y los TLV (1986-1987).
8. [Online].; 1987 [cited 2020 05 24. Available from:

https://www.insst.es/documents/94886/326801/ntp_162.pdf/c103a7d9-61a2-409f-9cb1-c4889eacd5e8.

8 EAE Business School. Productividad. [Online].; 2018 [cited 2020 05 12. Available from:

9. <https://retos-directivos.eae.es/como-calcular-la-productividad-con-ejemplos/#:~:text=La%20tasa%20de%20productividad%20es,en%20el%20proceso%20de%20p,roducci%C3%B3n>.

9 OPS OMS. Clasificación de los peligros. [Online].; 2018 [cited 2020 05 12. Available from:

0. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=10837:2015-clasificacion-peligros&Itemid=41432&lang=es#:~:text=Los%20peligros%20se%20clasifican%20seg%C3%BAn,metab%C3%B3licos%20t%C3%B3xicos%20de%20origen%20microbiano.

9 IINSST. Regulación UE sobre productos químicos (II).. [Online].; 2010 [cited 2020 05 12.

1. Available from: <https://www.insst.es/documents/94886/328681/878w.pdf/7dbc6e10-0052-463e-a04a-5fa4e5d2b580>.

9 INSST. Identificación de los peligros. [Online].; 2018 [cited 2020 05 14. Available from:

2. <https://www.insst.es/-/evaluacion-de-la-exposicion-a-agentes-quimicos>.

9 Guerrero E. Manual de Salud Ocupacional. In Guerrero Medina E. Manual de Salud
3. Ocupacional. Bogotá: Manual Moderno; 2017. p. 202-313.

9 National Library of Medicine NIH. NIOSH Manual of Analytical Methods. [Online].; 2020

4. [cited 2020 05 25. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/13124>.

9 Gerencie.com. Jornada laboral y horas de trabajo. [Online].; 2019 [cited 2020 05 13. Available

5. from: <https://www.gerencie.com/jornada-de-trabajo.html>.

9 Xu L, Huo X, Liu Y, Zhang Y, Qin Q, Xu X. Hearing loss risk and DNA methylation signatures
6. in preschool children following lead and cadmium exposure from an electronic waste recycling
area. Chemosphere. 2020 May; 246(125829).

9 Zhang Y, OD, Xu W, Hou D. Blood lead levels among Chinese children: The shifting influence

7. of industry, traffic, and e-waste over three decades. Environment International. 2020 Feb;
135(105379).

- 9 Bakhiyi B, Gravel S, Ceballos D. Has the Question of E-Waste Opened a Pandora's Box? An
8. Overview of Unpredictable Issues and Challenges. [Online].; 2018 [cited 2020 05 14. Available
from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29122313/>.
- 9 Congreso de Colombia. Ley 29 de 1992. [Online].; 1992 [cited 2020 05 15. Available from:
9. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=10584.
- 1 Congreso de Colombia. LEY 55 DE 1993. [Online].; 2019 [cited 2020 05 16. Available from:
0 http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0055_1993.html.
0.
- 1 Ministerio del trabajo. Resolución 0312 de 2019. [Online].; 2019 [cited 2020 05 14. Available
0 from: https://www.arlsura.com/files/Resolucion_0312_de_2019_Estandares_Minimos.pdf.
1.
- 1 Ministerio de la protección social. Decreto Ley 2090 de 2003. [Online].; 2003 [cited 2020 05
0 14. Available from:
2. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-2090-2003.pdf>.
- 1 Mintrabajo, Instituto Nacional de Cancerología. Colombia CAREX 2012. [Online].; 2012 [cited
0 2020 05 16. Available from: <https://www.libertycolombia.com.co/sites/default/files/2019-07/Sistema%20de%20informaci%C3%B3n%20de%20agentes%20cancerigenos.pdf>.
3.
- 1 Garcia L, Azalea C, Rodriguez J. Identificación y prevención de riesgos de origen químico en
0 centros laborales de Santiago de Cuba. [Online].; 2017 [cited 2020 05. Available from:
4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2046091>.
- 1 Islam A, Ahmed T, Awual R, Rahman A, Sultana M, Aziz A, et al. Advances in sustainable
0 approaches to recover metals from e-waste-A review. ELSEVIER. 2019 Octubre.
5.
- 1 Wang T, Jianjie F, Yawei W, Liao C, Tao Y, Jiang G. Use of scalp hair as indicator of human
0 exposure to heavy metals in an electronic waste recycling area. Environmental Pollution. 2009
6. Sep; 157.
- 1 Julander A, Lundgren L, Skare L, Grandér M, Palm B, Vahter M, et al. Formal recycling of e-
0 waste leads to increased exposure to toxic metals: An occupational exposure study from
7. Sweden. Environment International. 2014 Dec; 73.
- 1 Wang H, Han M, Yang S, Chen Y, Liu Q, Ke S. Urinary heavy metal levels and relevant factors
0 among people exposed to e-waste dismantling. Environment International. 2011 Jan; 37.
8.
- 1 ACS. Heavy Metals Concentrations of Surface Dust from e-Waste Recycling and Its Human
0 Health Implications in Southeast China. Environmental Science & Technology. 2008 Mar;
9. 04(42).

1 Shi A, Shao y, Zhao K, Fu W. Long-term effect of E-waste dismantling activities on the heavy
1 metals pollution in paddy soils of southeastern China. Science of The Total Environment. 2020
0. Feb; 705.

1 ROKA INDUSTRIAL S.A.S. Bomba de muestreo personal Gillian. [Online].; 2020 [cited 2020
1 05 10. Available from: [https://www.roka.com.co/portfolio/bomba-de-muestreo-personal-basica-
1. \[gil-air-3-gillian/\]\(https://www.roka.com.co/portfolio/bomba-de-muestreo-personal-basica-gil-air-3-gillian/\).](https://www.roka.com.co/portfolio/bomba-de-muestreo-personal-basica-gil-air-3-gillian/)

1 HIGHTEC Environmental. Calibrador de flujo Sensydine-Gilian - Gilibrator II. [Online].; 2020
1 [cited 2020 05 10. Available from: [http://www.htelta.com/productos-hightec/calibradores-de-
2. \[flujo/item/35-calibrador-flujo-sensydine-gilian-gilibratorii\]\(http://www.htelta.com/productos-hightec/calibradores-de-flujo/item/35-calibrador-flujo-sensydine-gilian-gilibratorii\).](http://www.htelta.com/productos-hightec/calibradores-de-flujo/item/35-calibrador-flujo-sensydine-gilian-gilibratorii)

1 COGITI Albacete. EVALUACION DE CONTAMINANTES QUIMICOS. METODOS
1 CUANTITATIVOS (I). [Online].; 2017 [cited 2020 05 12. Available from:
3. <https://www.cogitibacete.org/wp-content/uploads/2016/09/marzo-2016-jueves-prevencion.pdf>.