

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE CUATRO CORRIENTES DE RESIDUOS
PELIGROSOS DE MAYOR IMPORTANCIA PARA LA CVC EN SU
JURISDICCIÓN EN EL VALLE DEL CAUCA**

**AUTOR
ANDREA KATHERINE CEBALLOS PIAMBA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

PALMIRA

2021

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN DE CUATRO CORRIENTES DE RESIDUOS
PELIGROSOS DE MAYOR IMPORTANCIA PARA LA CVC EN SU
JURISDICCIÓN EN EL VALLE DEL CAUCA**

ASESOR

CARLOS HUMBERTO MORA BEJARANO

AUTOR

ANDREA KATHERINE CEBALLOS PIAMBA

**PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

PALMIRA

2021

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I.	9
2. RESIDUOS DE MERCURIO	9
2.1. Definición del mercurio como elemento	9
2.2. Antecedentes del mercurio como residuo	9
2.3. Fuente	12
2.4. Manejo de residuos de mercurio	12
2.5. Estrategias de mitigación	15
3. RESIDUOS DE PLOMO	16
3.1. Definición del plomo como elemento	16
3.2. Antecedentes del plomo como residuo	16
3.3. Fuente	18
3.4. Manejo de residuos de plomo	18
3.5. Estrategias de prevención y mitigación	20
4. RESIDUOS DE ASBESTO	20
4.1. Definición del asbesto como compuesto químico	20
4.2. Antecedentes del asbesto como residuo	20
4.3. Fuente	22
4.4. Manejo de residuos de asbesto	22
4.5. Estrategias de prevención y mitigación	23
5. RESIDUOS HOSPITALARIOS	24
5.1. Definición	24
5.2. Antecedentes de los residuos hospitalarios y similares	24
5.3. Fuente	25
5.4. Manejo de residuos hospitalarios	26
5.5. Estrategias de prevención y mitigación	27
CAPÍTULO II	27
6. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN COLOMBIA	27
6.1. Generación de residuos peligrosos en Colombia	28
6.2. Manejo de los residuos peligrosos en el país	32
7. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN EL VALLE DEL CAUCA, JURISDICCIÓN DE LA CVC	36
7.1. Generación de residuos peligrosos en el Valle del Cauca en jurisdicción de la CVC	36
7.2. Manejo de residuos peligrosos en el Valle del Cauca en jurisdicción de CVC	37

8. CONCLUSIÓN	40
9. REFERENCIAS	42

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas fisicoquímicas y biológicas para el manejo de residuos de mercurio.	14
Tabla 2. Técnicas fisicoquímicas y biológicas para el manejo de residuos de plomo	19
Tabla 3. Alternativas para el manejo de residuos de asbesto	22
Tabla 4. Alternativas para el manejo de residuos hospitalarios	26

LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente Y29 (Residuos de mercurio) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017	29
Gráfico 2. Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente Y31 + A1160 + A3030 (Residuos de plomo) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017.....	30
Gráfico 3. <i>Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente Y36 + A2050 (Residuos de asbesto) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017.</i>	31
Gráfico 4. Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4 (Desechos clínicos y similares) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017	32
Gráfico 5. Manejo de Residuos Peligrosos generados por la corriente Y29 (Residuos de mercurio) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017.	33
Gráfico 6. Manejo de Residuos Peligrosos generados por la corriente Y31 + A1160 + A3030 (Residuos de plomo) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017.....	33
Gráfico 7. Manejo de residuos peligrosos generados por la corriente A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4 (Residuos hospitalarios) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017	34
Gráfico 8. Manejo de Residuos Peligrosos generados por la corriente Y36 + A2050 (Residuos de asbesto) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 .	35
Gráfico 9. Cantidad de Residuos Peligrosos generada en el Valle del Cauca en jurisdicción de la CVC 2017 – 2019	37
Gráfico 10. Manejo de residuos de plomo (A1160 - A3030 + Y31) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019	38
Gráfico 11. Manejo de residuos de asbesto (A2050 +Y36) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019	38
Gráfico 12. Manejo de residuos hospitalarios (A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019	39
Gráfico 13. Manejo de residuos de mercurio (Y29) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019	40

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades productivas y los asentamientos urbanos contribuyen notablemente en la generación de residuos peligrosos (Respel) en Colombia, es por esto que a lo largo de los años el interés hacia estos residuos ha tenido una tendencia creciente debido a la importancia que recobran estos en los aspectos medioambientales y de la salud de los seres humanos, aclarando que dichos impactos son generados por el manejo inadecuado sobre estos residuos en particular.

El Decreto 4741 de 2005, determina que los Respel son aquellos residuos que tienen características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas, por lo tanto, deben tener un manejo diferente al de los residuos convencionales. En este sentido, se hace necesario traer a colación la problemática relacionada con el manejo inadecuado de los Respel, según Guzmán y Villalba (2020) estas problemáticas están asociadas a la presencia de impurezas de los materiales, la baja tecnología de proceso, las deficiencias de las prácticas operacionales y sustancias al final de su vida útil. Sin embargo, uno de los aspectos más preocupantes relacionados al manejo inadecuado de estos residuos es el impacto social generado por este tipo de residuos los cuales afectan de forma directa e indirecta la salud y el medio ambiente.

Es importante mencionar algunos hechos de relevancia relacionados con el manejo inadecuado de los Respel a nivel internacional, un claro ejemplo de esto es el presentado en los años 50 en la Isla de Minamata Japón, donde gracias a vertimientos de metilmercurio realizado por una empresa petroquímica durante varias décadas, se presentaron cientos de casos con síntomas graves (malformaciones y alteraciones permanentes en el sistema nervioso, y en particular el sistema nervioso en desarrollo, en los fetos en el vientre materno) y en ocasiones mortales de envenenamiento (por consumo de peces contaminados), lo cual posteriormente fue reconocido oficialmente por parte del gobierno japonés (Zapata, 2017).

Por otra parte, Zapata (2017) menciona que en los años 80, debido a las crecientes protestas a nivel mundial por depósitos de desechos tóxicos generados por importantes empresas de naciones industrializadas en países en vía de desarrollo, impulsaron la firma del Convenio Internacional de Basilea en 1989, el cual reglamenta el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos y estipula obligaciones a las partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente en lo referente a su disposición; y establece además el compromiso de reportar sus residuos peligrosos de manera anual por medio de la Secretaría del Convenio. Otro de los aspectos históricos relacionados con los Respel sucedió en Chile en 1996 donde se realizó el cierre de una planta industrial de recuperación de materiales de baterías en desuso en la cual se generaban residuos de plomo durante su proceso, pero debido a que esta acción no se hizo con las medidas ambientales requeridas, se consideraban los suelos de esta planta como un riesgo potencial para la salud de la población y el medio ambiente (Romero, 2017).

Teniendo en cuenta los aspectos históricos a nivel mundial, es necesario entrar a los aspectos nacionales; en Colombia los generadores realizan el diligenciamiento y actualización de estos datos a través del Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos de la autoridad ambiental de su jurisdicción. Sin duda alguna, esta herramienta es una de las más importantes, debido a que en esta se encuentra inmerso un gran aporte de información relacionada con la generación y manejo de los residuos peligrosos, la cual es analizada para conocer de cerca las problemáticas relacionadas con estos residuos y así mismo elaborar planes encaminados a su gestión y priorización de acciones que contribuyan a solucionar dichas problemáticas dentro del país.

La utilización de la herramienta estadística permite guardar la relación de la producción de estos residuos con el Producto Interno Bruto (PIB), debido a que está asociado directamente con la capacidad industrial y de producción de bienes y servicios de los países (Zapata, 2017).

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se debe hacer mención a los residuos o desechos peligrosos que serán abordados en este escrito, puesto que son considerados de mayor importancia debido a los impactos negativos que producen a la salud y el medio ambiente, y además por ser sustancias reguladas por medio de diferentes acuerdos internacionales de los cuales el país hace parte; estos hacen referencia a los residuos de plomo, mercurio, asbesto y provenientes de hospitales o similares; más adelante se detalla las fuentes, usos, problemáticas y manejo de este tipo de residuos. El propósito principal de este escrito es realizar un análisis de la situación en cuanto a la generación y manejo de estos cuatro residuos peligrosos mencionados anteriormente, los cuales son de mayor interés para la CVC; hacer una revisión en cuanto al panorama nacional y regional en jurisdicción de la CVC, y mencionar las alternativas de manejo para estos residuos según la literatura.

CAPÍTULO I.

2. RESIDUOS DE MERCURIO

2.1. Definición del mercurio como elemento

El mercurio es un elemento natural cuyo símbolo químico es Hg. Esta abreviatura viene de la palabra griega hydrargyrum, que significa plata líquida. En su forma pura, el mercurio es un metal blanco-plateado, líquido a temperatura y presión estándar. El mercurio está presente en la mayoría de recursos naturales, incluyendo suelos, carbón, minerales y se presenta en tres formas tales como: Mercurio elemental, sal inorgánica de mercurio y mercurio orgánico (Ávila & Loo, 2018).

2.2. Antecedentes del mercurio como residuo

El mercurio a lo largo de la historia de la humanidad ha tenido importancia debido a que es uno de los contaminantes más nocivos, y uno de los que afectan mayoritariamente la salud de los seres vivos. Como se mencionó anteriormente uno de los primeros casos y quizás el caso más representativo en cuestión de histórico relacionado con este residuo peligroso fue el sucedido en Japón, a razón del manejo inadecuado de los vertimientos de metilmercurio a cargo de una empresa industrial durante varias décadas ocasionó un problema de salud pública y afectaciones al medio ambiente, evidenciando la ineficiencia en el manejo de este residuo en esa época.

El metilmercurio es la forma de mercurio con mayor responsabilidad por la contaminación con mercurio de los peces, mariscos, aves y mamíferos, esta forma orgánica del mercurio recobra importancia debido a que se bioacumula y biomagnifica a lo largo de la cadena trófica (Ávila & Llor, 2018).

Teniendo en cuenta el histórico, es necesario traer a colación el por qué el mercurio es catalogado como residuo peligroso, la razón es que este residuo una vez que ingresa al ambiente como contaminante, es sumamente perjudicial, debido a su alta persistencia, movilidad (en la atmósfera puede transportarse a largas distancias), capacidad para formar compuestos orgánicos, bioacumulación (acumulación en los seres vivos) y biomagnificación (aumenta la concentración a medida que se asciende en la cadena trófica) por lo que altera el equilibrio ecológico y genera graves problemas de salud pública (López, 2019).

Según Badilla (2018) el mercurio es uno de los elementos de contaminación más perjudiciales sobre la salud pública, debido a que las personas o poblaciones expuestas a niveles bajos pueden desarrollar alteraciones en las funciones del sistema nervioso, el cual es especialmente sensible al metilmercurio, con consecuencias neurofisiológicas particularmente en el desarrollo de los fetos y en los niños pequeños. Adicionando a las problemáticas de salud mencionadas anteriormente ocasionadas por el mercurio Ortega y Peña (2020) mencionan que causa además toxicidad en el cerebro, retraso mental y daño en los riñones.

En Colombia una de las problemáticas actuales a nivel de contaminación de los ríos involucra notablemente al mercurio, siendo este uno de los residuos peligrosos que pone en riesgo la salud pública colombiana, principalmente por la contaminación de las fuentes hídricas resultantes de los manejos inadecuados de este elemento en las actividades de extracción de oro aluvial. Según Gafner (2018) se estima que son más de 80 los ríos del territorio nacional afectados por este metal pesado en 21 departamentos y cerca de 400 municipios. Según Pinzón y Gómez (2018) los ecosistemas afectados por el uso de mercurio, sumado a otras diversas actividades antrópicas, pueden llegar a sufrir serios impactos; cambios en el uso del suelo, reducción de la diversidad y sus hábitats, contaminación de los cuerpos de agua son consecuencia de las malas prácticas de explotación de recursos.

La contaminación por mercurio en Colombia de acuerdo a diferentes estudios, está muy por encima de los niveles sugeridos por la OMS, esta situación afecta a los trabajadores de las minas, las personas que integran las comunidades y aquellos que viven en sitios donde se hace la explotación minera; por esta razón es de vital importancia intervenir la población que en el Departamento de Chocó se dedica a la actividad minera (Sanguino, Díaz, Peña, Machado y Barrera, 2020).

A nivel regional un estudio realizado en el municipio de Dagua por Lucero (2019) indicó que las concentraciones bajas de mercurio (0,25 ppm), generan lesiones severas en el tejido de los animales principalmente en las células sexuales, provocando una degeneración de las mismas con pérdida de membrana celular y nuclear. Estas lesiones repercuten directamente en el potencial reproductivo de la población y con ello la disminución de las mismas.

Por otra parte, en Colombia se está tratando de abordar esta problemática relacionada con la contaminación por mercurio, mediante el Convenio de Minamata de 2013, el país entró a hacer parte en dicho convenio desde el año 2019. Según Gafner (2018) este convenio es el instrumento jurídico internacional que se ocupa específicamente de la cuestión del mercurio. Su enfoque principal consiste en la protección de la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y compuestos de mercurio. El Convenio de Minamata es de suma importancia para el país, ya que por medio de la ratificación mediante la firma del presidente de la República permite tomar decisiones más efectivas para un control adecuado y que se tomen acciones a nivel internacional para esa gestión.

2.3. Fuente

El mercurio proviene de dos fuentes principales, las cuales son naturales y antropogénicas, las primeras están relacionadas con la movilización del mercurio de la corteza terrestre, por fenómenos como la actividad volcánica o los procesos de intemperismo o meteorización de las rocas; en el segundo caso la fuentes antropogénicas están asociadas a la movilización de impurezas de mercurio en materias primas utilizadas por el hombre durante una actividad realizada (combustibles fósiles, el carbón, entre otros), utilización intencional del mercurio en productos y procesos durante la fabricación de diferentes productos, derrames, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo. Sin embargo, existen otras formas de fuente como lo son las liberaciones antropogénicas de mercurio hechas en el pasado, las cuales han quedado depositadas en los suelos, sedimentos, masas de agua, vertederos y acumulaciones de desechos o residuos (López, 2019). Además de los equipos y aparatos que contienen mercurio y que se han utilizado en aplicaciones muy diversas, como termómetros, válvulas de radio, manómetros, pilas de botón e incluso en la fabricación de amalgamas dentales o como conservante de vacunas utilizadas contra la hepatitis B y el tétanos (Bedmar, Pizarro & Rivas, 2000).

2.4. Manejo de residuos de mercurio

Tan pronto como se libera mercurio al ambiente, este circula por el aire, agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas puesto que existe una gran interrelación entre todos ellos. En la actualidad se ha incrementado la problemática relacionada con la contaminación de los suelos y de las fuentes hídricas, debido al manejo inadecuado sobre estos residuos de mercurio.

La presencia de mercurio en suelos es altamente dependiente de varios parámetros, como la concentración inicial en la solución del suelo, la presencia de otros iones (como Cl⁻), formación compleja orgánica y precipitación. El contenido de un exceso de iones Cl⁻ parece disminuir la absorción de Hg⁺ dentro de partículas minerales, incluyendo óxidos de Mn y otros materiales orgánicos debido a que los complejos muy estables de Hg-Cl son pobremente absorbidos (Arredondo, Escobar & Serrano, 2019).

Por otra parte, la contaminación de los cuerpos hídricos con mercurio tiene una tendencia creciente en Colombia. Según Sanguino *et al* (2020) Colombia, es considerado uno de los países más contaminantes por la liberación de mercurio producto de la explotación minera de oro, del cual el 46% corresponde al Departamento de Chocó, cuyas principales zonas mineras se encuentran en la cuenca de los ríos San Juan y Condoto, especialmente en Istmina, Condoto y Tadó.

En Colombia la Minería Artesanal a Pequeña Escala (MAPE) está cada vez más arraigada dentro de la economía de algunas zonas del país como lo es en el Departamento de Chocó, siendo el detonante de la problemática el aumento del precio del oro. En estas zonas la minería cuenta con procesos nocivos como lo es “amalgamado” el cual es una técnica donde se emplea mercurio a todo el mineral durante la trituración, molienda y lavado, posteriormente se realiza el vertimiento hacia las fuentes hídricas o a la atmósfera sin ningún control ni criterio de cuidado ocupacional y ambiental.

La economía del país depende en gran medida de los recursos minero-energéticos; pero, si el país quiere desarrollar todo su potencial en esta materia necesita hacer un esfuerzo por proteger a las poblaciones, así como la flora y fauna que viven cerca a los lugares de explotación donde se utiliza el mercurio. Por lo tanto, en cuanto al tratamiento de suelos y aguas contaminados por este residuo peligroso se requiere la adopción de medidas correctivas, entre las cuales se puedan incluir la eliminación en la fuente de contaminación, establecer medidas pertinentes de control para prevenir la migración de este contaminante y la reducción de su toxicidad para lograr limitar su acción sobre el medio ambiente o la salud humana (Sanguino *et al.*, 2020).

Teniendo en cuenta el contexto general de Colombia sobre la problemática relacionada con el manejo inadecuado del mercurio, es necesario plantear una serie de técnicas y/o metodologías expuestas por diversos autores, las cuales van encaminadas hacia un buen manejo de este residuo (Ver tabla 1).

Tabla 1. Técnicas fisicoquímicas y biológicas para el manejo de residuos de mercurio (Elaboración propia, 2021).

Técnicas fisicoquímicas y biológicas	Descripción
Destilación del mercurio (Geymonat, 2011)	El proceso consiste en una carga continua del material a tratar en un tambor de acero que puede tener varias bocas de entrada dependiendo del residuo a tratar. Se logra la vaporización del mercurio calentando hasta 700°C (normalmente 500°C). Posteriormente el mercurio pasa por un sistema de enfriamiento donde se condensa sobre una camada de mercurio líquido. La recuperación y pureza del mercurio pueden alcanzar el 99.99% y los subproductos obtenidos son enfriados para su posterior manejo.
Desmercurización (Geymonat, 2011).	térmica El proceso se realiza en batch sin agitación y con una temperatura de operación aprox. de 500°C y con un vacío de – 300 g/ cm ² . El sistema consiste en bandejas dispuestas una sobre otra dentro de un recipiente calentadas por resistencias evaporando así el mercurio y extrayéndolo al vacío y luego se realiza el proceso de condensación
Encapsulación del mercurio (Berrio, Beltrán, Agudelo, y Cardona, 2012)	Existen dos formas de encapsular el mercurio: la microencapsulación que consiste en mezclar los residuos con el material antes de solidificar y la macro encapsulación donde se vierte el material sobre una cantidad de residuos utilizando como material de encapsulamiento fosfato cerámico. El objetivo del encapsulamiento es inmovilizar el residuo para evitar el contacto con agentes lixiviantes como el agua.
Adsorción con carbón activado (Rojas, Guerrero, Vásquez, y Valencia, 2012).	Los procesos de adsorción son fenómenos de superficie, en donde una mezcla de fluidos (gas y/o líquido) es atraída a la superficie del sólido adsorbente y se crean vínculos a través de interacciones físicas o químicas. Actualmente, el carbón activado granular o el carbón activado en polvo son muy utilizados debido a que presentan una gran superficie porosa, termo-estabilidad, baja reactividad ácido/base, una estructura de poro controlable y gran capacidad para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en medio acuoso o gaseoso.
Atenuación natural (Corona & Iturbe, 2005).	Consiste en reducir las concentraciones de un contaminante en el ambiente mediante procesos biológicos propios del ecosistema (la biodegradación es uno de los procesos principales de la atenuación natural en el suelo donde los microorganismos actúan para cambiar la química del mismo), reacciones químicas como la transformación abiótica, el intercambio iónico y la complejación o por medio de procesos físicos como dispersión, dilución, difusión, volatilización, advección y sorción/desorción.
Bioestimulación (Gómez et al., 2009).	En este proceso se estimula la actividad natural de los microorganismos en el suelo por medio de la circulación de soluciones con nutrientes y oxígeno u otro aceptor de electrones
Bioaumentación (Benítez, 2017), (Gómez et al., 2009).	La bioaumentación es la adición de microorganismos nativos, externos o genéticamente modificados al medio debido a la baja densidad de los microorganismos nativos o a la falta de capacidad metabólica para la degradación. La bioaumentación en un suelo contaminado se puede determinar caracterizando las poblaciones de microorganismos y evaluando cuáles de ellos son aptos para colonizar y degradar los contaminantes.
Biosorción (Borja, García,	Consiste en una alternativa tecnológica utilizando procesos de

Yipmantin, Guzmán y Maldonado, 2015), (Mejía, 2006). separación con biomateriales como algas marinas, o desechos provenientes de la producción industrial, de procesos biológicos o de la agricultura. Algunos residuos agro industriales han demostrado características adsorbentes, en diferentes tipos de efluentes industriales. Se ha usado residuos agrícolas como la cascarilla de arroz y la corteza de coco para la remoción de moléculas contaminantes. Esta técnica involucra una fase sólida o biosorbente (membranas o paredes celulares) y una fase líquida o solvente (casi siempre es agua) en la cual están las especies metálicas a ser bio adsorbidas.

Degradación enzimática (Di Paola y Vicién, 2010). Es una aplicación de la biotecnología que consiste en la producción de enzimas en bacterias modificadas genéticamente. Estas enzimas se emplean en el sitio contaminado con el fin de degradar las sustancias nocivas.

Remediación microbiana (Di Paola y Vicién, 2010). Consiste en la aplicación en el sitio contaminado de microorganismos nativos o importados de otros ecosistemas para ser inoculados. Se evalúan las condiciones y capacidades del microorganismo y acorde a eso se estimula el medio con nutrientes como nitrógeno y fósforo para acelerar el proceso.

Adoptado de Benítez, (2017); Berrio, Beltrán, Agudelo, y Cardona, (2012); Borja, García, Yipmantin, Guzmán y Maldonado, (2015); Corona & Iturbe, (2005); Di Paola y Vicién, (2010); Geymonat, (2011); Gómez et al., (2009); Mejía, (2006) y Rojas, Guerrero, Vásquez, y Valencia, (2012).

2.5. Estrategias de mitigación

Existen diferentes estrategias de mitigación las cuales son de gran importancia, en este escrito se mencionan algunas de ellas, que fueron propuestas por Sanguino *et al* (2020) y Arredondo *et al* (2019).

- Impulsar la gestión del conocimiento en relación con la caracterización de riesgos, las afectaciones y la protección de la salud humana frente a la exposición a mercurio. Realizar acciones encaminadas con el diseño, promoción y ejecución de programas orientados a la sensibilización, divulgación, capacitación, entrenamiento e intercambio de experiencias, enfocadas a la reducción y eliminación del mercurio, incluyendo la información respecto a la identificación de riesgos y la protección de la salud humana.
- Identificar, caracterizar, intervenir y realizar seguimiento a factores de riesgos y población posiblemente afectada por exposición a mercurio, captada por los sistemas de información (Vigilancia en salud pública, prestación de servicios, aseguramiento, vigilancia sanitaria).
- Capacitar a los mineros en nuevas técnicas de recuperación de estos metales. También debe revisarse el origen natural propio de los depósitos hidrotermales.

3. RESIDUOS DE PLOMO

3.1. Definición del plomo como elemento

El plomo (del latín plumbum) se denomina con el símbolo Pb, es un metal gris, blando y maleable, presente de forma natural en la corteza terrestre. Es un catión divalente que se une fuertemente a los grupos sulfhidrilo de las proteínas. Su uso generalizado ha tenido gran impacto en la contaminación ambiental y, en consecuencia, un incremento considerable en su exposición a la población que ha generado graves problemas de salud pública (Azcona, Ramírez & Vicente, 2015).

El plomo es el quinto elemento detrás de Fe, Cu, Al, Zn en cuanto a la producción industrial de los metales. Alrededor de la mitad del Pb es utilizado en Estados Unidos para la fabricación de baterías de almacenamiento (Martínez & Vargas, 2017).

3.2. Antecedentes del plomo como residuo

La contaminación por metales pesados como el mercurio y el plomo (Pb), ha despertado una gran preocupación en entidades internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Unión Europea (UE) debido a las alteraciones al ecosistema, la pérdida de biodiversidad y daños a la salud humana (Lucero, 2019).

Según Zúñiga (2019) el modelo económico capitalista mundial ha enfocado todos sus esfuerzos hacia la explotación de los recursos naturales y la obtención de la máxima rentabilidad sobre los mismos, siendo esta una problemática de alcance mundial, debido a que se generan fuentes de contaminación y explotación indiscriminada de los recursos. En Colombia la actividad industrial se convierte en uno de los mayores focos de riesgo de contaminación por metales pesados como el plomo, siendo el manejo inadecuado de los vertimientos industriales los agravantes de esta problemática.

Por otra parte, a nivel histórico el plomo es una de las sustancias tóxicas industriales más antiguas. Según Gómez y Cremades (2013) este metal pesado durante siglos ha sido utilizado en una gran variedad de formas, adquiriendo relevancia por los riesgos ocasionados en la salud pública del mundo, siendo el sistema sanguíneo el más afectado.

Tal como se evidenció en un estudio realizado por Romero (2017), donde se expone el caso de una planta industrial de recuperación de materiales de baterías en desuso, proceso que está asociado a la generación de residuos con plomo, dicha fábrica ubicada en Chile, fue cerrada 30 años después de laborar, pero el cierre no se realizó bajo los criterios ambientales pertinentes, por lo tanto se sospechaba que los altos niveles de plomo que posiblemente contenían los suelos de la planta pudieran generar riesgos potenciales en la salud de la población y en el medio ambiente. Por lo tanto, se efectuaron muestreos y análisis de Pb en sangre de 77 habitantes de la comuna, entre ellos, sectores urbanos, rurales y trabajadores de la fábrica, donde los resultados arrojaron que las concentraciones fueron lo suficientemente altas como para sobrepasar el valor máximo de 30 [$\mu\text{g/dL}$] de plomo en la sangre, en cuanto a las personas más afectadas fueron los trabajadores y los habitantes de sectores adyacentes a la fábrica. En el mismo estudio se determinó que las concentraciones de plomo lixiviado fueron superiores a la concentración máxima permisible (5 [mg/L]).

La problemática de este metal radica en que debido a la generación de grandes cantidades de plomo que son derivadas de los procesos industriales y liberadas al medio ambiente, las superficies terrestres y acuáticas se convierten en un medio receptor de este contaminante, afectando así a los seres vivos que habitan en dichas superficies. Por lo tanto, al entenderse como ser vivo a los animales y plantas que el hombre consume diariamente, logra ocasionar un grave problema en la salud pública de los seres humanos, afectando el sistema renal, el sistema cardiovascular, el sistema sanguíneo y el aparato gastrointestinal, debido al efecto de bioacumulación por el consumo y/o exposición de este metal. Ortega y Peña (2020) mencionan que los efectos ocasionados a la salud, por exposición al plomo es que esta influye en el desequilibrio homeostático, altera el sistema endocrino y la síntesis de hemoglobina, así mismo, una exposición prolongada puede provocar coma, retraso mental e incluso la muerte.

3.3. Fuente

Se puede encontrar fuentes exógenas como el suelo (campos de cultivo, campos cerca de fábricas contaminantes), agua (océanos, lagos y ríos) y aire (emisiones producidas por la adición en gasolina). Además, se ha detectado su presencia en procesos industriales (baterías de plomo y ácido, municiones de armas, cables de revestimiento, pinturas y esmaltes), fuentes domésticas (tabaquismo, medicinas tradicionales y cosméticos) y en la alimentación (alimentos de origen vegetal y animal) (Salas, Garduño, Mendiola, Vences, Zetina, Martínez & Ramos-García, 2019).

Lo mencionado anteriormente coincide con lo propuesto por Lucero (2019) ya que hace referencia a que las fuentes de plomo por lo general provienen de las actividades manufactureras como, por ejemplo, municiones, baterías, soldaduras, combustibles para motores, estación de servicio automotriz, cerámicas, tuberías, entre otros.

3.4. Manejo de residuos de plomo

El plomo generalmente se acumula en el manto de sedimentos de los cuerpos de agua que transportan grandes concentraciones de los mismos, en Colombia por lo general esta acumulación se presenta en la cuenca del río Cauca, siguiendo un patrón geográfico de distribución entre la interacción de los flujos del río Cauca y los demás ríos, siendo fijados en la red trófica por las macrófitas asociadas a estos ecosistemas, iniciando así el proceso de biomagnificación (Buelvas & Marrugo, 2020).

Por otra parte, algunos de los manejos que se le puede dar a los suelos contaminados con metales pesados como el plomo, es la ejecución de planes de remediación en un suelo, los cuales implican el uso de cualquier tecnología que altere la composición del contaminante peligroso como los metales pesados, a través de acciones químicas, físicas o biológicas de tal modo que logre reducir su toxicidad, movilidad o concentración en el material contaminado (Martínez & Vargas, 2017).

Según Zúñiga (2019) se puede plantear una serie de tratamientos enfocados hacia la recuperación de suelos contaminados por plomo (Ver tabla 2), siendo estos un aporte clave para la disminución en la contaminación de los suelos de Colombia.

Tabla 2. Técnicas fisicoquímicas y biológicas para el manejo de residuos de plomo (Zúñiga, 2019).

Técnicas fisicoquímicas y biológicas	Descripción
Extracción con disolventes	Consiste en usar un disolvente para separar o retirar contaminantes orgánicos. La extracción con disolventes no destruye los contaminantes, sino que los concentra para que sea más fácil retirarlos o destruirlos con otra técnica. El proceso ocurre bajo la técnica <i>ex situ</i> , es decir fuera del hábitat natural e involucra 5 pasos: la preparación, donde se clasifica el material contaminado, la extracción o separación de los contaminantes, la remoción de los residuos y la recuperación o reciclaje.
Lavado del suelo	Se refiere al uso de líquidos, agua combinada con químicos, con la finalidad de usar el movimiento mecánico para limpiar el suelo. Al separar la tierra fina de la gruesa ayuda a retirar los contaminantes que representan algún peligro, reduciendo su volumen. Esto es cuando sucede <i>ex situ</i> . Mientras que cuando es <i>in situ</i> usa una solución para arrastrar a los contaminantes donde posteriormente puedan ser bombeados. La solución química utilizada corresponde a una mezcla de agua con un ácido base o un agente tensioactivo, en otras ocasiones es solo agua. Esta opción es apropiada para suelos con bajo contenido de arcilla.
Flushing	Consiste en un tratamiento <i>in situ</i> que se enfoca en anegar los suelos contaminados con una solución que permite transportar los contaminantes a una zona localizada donde puedan ser eliminados. De esa forma son extraídos del suelo cambiando su consistencia por una líquida usando el sistema de inyección e infiltración.
Inyección de aire comprimido	Consiste en la inyección de aire a través de bombas y conductos con tal de que se produzca un contacto con el agua y que las burbujas de aire capten los contaminantes. El vapor contaminado sale a través de los pozos de extracción y este puede ser tratado. Tiene como objeto reducir los contaminantes volátiles en la zona saturada también denominada <i>Air sparging</i> e insaturada conocida como extracción suelo-vapor, la primera se emplea para mejorar el agua subterránea y la segunda se enfoca en el suelo.
Adición de enmiendas	Consiste en recuperar suelos contaminados <i>in situ</i> al añadir sustancias orgánicas e inorgánicas que al ser mezcladas con los horizontes del suelo pueden transformar los contaminantes.
Biorrecuperación	Es descrita como todos los tratamientos de recuperación que permiten degradar los contaminantes orgánicos y disminuyen la toxicidad de los contaminantes inorgánicos (metales pesados) por medio de la actividad biológica natural, tal y como sucede con los microorganismos que forman reacciones a partir de sus procesos metabólicos.
Fitorremediación	Esta técnica aprovecha las plantas y los árboles para depurar las aguas y los suelos contaminados. Las medidas fitocorrectivas son pasivas y pueden ser usadas con otras técnicas químicas o mecánicas de limpieza. Asimismo, tiene un valor estético porque contribuye al paisaje y al hacer uso de la luz solar es ambientalmente sostenible.

3.5. Estrategias de prevención y mitigación

- Las autoridades ambientales deben realizar monitoreos de manera continua para verificar el estado de las concentraciones de los metales pesados teniendo en cuenta las épocas secas y lluviosas del año.

4. RESIDUOS DE ASBESTO

4.1. Definición del asbesto como compuesto químico

El asbesto es un mineral constituido por silicatos de aluminio, hierro, magnesio y sodio (Gallo, 2012). Según Lanzziano (2018) recibe este nombre dado a que se trata de un grupo de minerales metamórficos, o amianto como se le conoce también por sus características, teniendo fibras largas y cortas microscópicas, donde se dota de características físicas que lo hacen resistente al fuego, fricción, abrasión, convirtiéndolo en un gran aislante térmico, eléctrico y de sonido.

El asbesto es un mineral, que dado a sus componentes se ha usado para construir materiales resistentes al calor, es por eso que en Colombia es comercial su uso. A nivel histórico ha tenido diversos usos, algunos de ellos fueron propuestos en la revolución industrial donde se utilizó para aislar barcos, fábricas, casas y otras construcciones haciéndolas más resistentes, tratándose de tejados, baldosas, el cemento que es base para iniciar cualquier obra (Lanzziano, 2018).

4.2. Antecedentes del asbesto como residuo

El asbesto fue descubierto y extraído en Chipre aproximadamente hace 5000 años y fue utilizado en la fabricación de ropa utilizada para cremar y enterrar a los muertos, mechas de lámparas, sombreros y zapatos (Gallo, 2012).

Por otra parte, el asbesto ha tenido un gran valor histórico a lo largo de la vida de la humanidad siendo empleado en grandes cantidades a partir de la Revolución industrial, donde el Reino Unido fue el pionero a nivel de patente de este material en 1834, empleando como filtro, aditivo de lubricantes y aislante de partes de la máquina a vapor, posteriormente se extendió su uso a nivel mundial. El asbesto tuvo un carácter relevante en los tiempos de la Segunda Guerra Mundial debido a que fue un gran aliado militar, ya que se usó para proteger y reforzar las cubiertas de barcos y aviones (Guayacán, 2018).

La problemática relacionada con este tipo de residuo es que debido a las características que tiene las fibras de estos minerales al estar la persona en exposición, genera afectaciones principalmente a las personas que residen cerca de un punto de emisión e inhalan el polvo disperso en el aire, ocasionando daños en las vías respiratorias y acumulación en los pulmones, desarrollando así, cáncer o asbestosis (Lescano, Marfil & Maiza, 2017). Debido a estos problemas en la salud pública ocasionados por el asbesto algunos países sólo desde 1983 prohibieron su uso como materia prima y en todas sus clases, tales son los casos de Alemania, Arabia Saudita, Argentina, Australia, Austria, Bélgica, Chile, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, Uruguay, entre otros (Terán, 2020).

En Colombia el asbesto se ha usado por más de setenta años, por tanto, está arraigado en diferentes sectores económicos como lo son el sector de la construcción y el automotriz. En el país la situación no ha tenido cambios significativos en cuestión del uso de asbesto, esto se debe a que este se ha convertido en la materia prima para la producción de diferentes productos como fibrocemento, pastillas para frenos, asbesto-cemento que son necesarios en diferentes actividades (Arias, 2020) y que por el desconocimiento que se tiene acerca de los impactos que genera en la salud se han mantenido en la cotidianidad de los hogares.

Por otra parte, Cañón (2019) menciona que el asbesto en Colombia ha generado debates interminables a raíz de la causal de enfermedades que este material produce en los seres humanos, sin embargo, apenas se están emitiendo conceptos y plazos para la cancelación total en el país. Otro de los aspectos a tener en cuenta sobre la problemática que trae consigo el uso del asbesto y el manejo inadecuado que se le da al residuo, es que el país es el sexto productor de asbesto en el mundo, y la explotación se hace en una única mina ubicada en la vereda la Solita del municipio de Campamento en la subregión norte del departamento de Antioquia, la cual es operada actualmente por una empresa nacional (Guayacán, 2018).

4.3. Fuente

El asbesto es una fibra mineral la cual según Guayacán (2018) proviene de formaciones rocosas en la corteza terrestre, y por ende se encuentra presente en el suelo y en las rocas en muchas partes del mundo, este material está compuesto principalmente por silicio y oxígeno. Por otra parte, es necesario mencionar que esta fibra mineral tiene dos tipos, el cual es el crisotilo, llamado también asbesto blanco, que es el más utilizado en aplicaciones industriales, y el denominado anfíboles, comúnmente asbesto marrón o azul utilizado en la construcción.

4.4. Manejo de residuos de asbesto

Una vez que los productos y/o materiales que contienen asbesto cumplen su vida útil o se encuentran en estado de deterioro, deben ser reemplazados o retirados de las áreas donde se encuentran y se convierten en residuos. Lo que hace que estos residuos sean altamente peligrosos es que sus fibras puedan ser friables, lo que significa que se pueden triturar con la mano y hacer que se dispersen por el aire, permitiendo que se introduzcan con mayor facilidad en los pulmones. Las no friables son aquellas que contienen otros componentes como aglutinantes naturales o artificiales como plástico, resina, cemento, asfalto, entre otros (Cañón, 2019). Por lo tanto, en la tabla 3 se presentan algunas opciones de tratamientos y procesos de disposición final que pueden ser empleados como alternativas para manejar los residuos de asbesto.

Tabla 3. Alternativas para el manejo de residuos de asbesto (Elaboración propia, 2021).

Tratamiento	Descripción
Encapsulación (Environment and Heritage Service, 2004)	Consiste en la penetración o recubrimiento que (dependiendo del tipo de producto usado) tienden a incorporar las fibras de asbesto, para restaurar el agarre al soporte, para formar una película protectora sobre la superficie expuesta.
Empaque de doble bolsas (tratamiento físico) (Gallo, 2012).	Aunque no se cambian las características propias del residuo, se reduce su potencial para ser liberado en el aire y es más fácil de manejar. El Environment and Heritage Service (2014), institución irlandesa, lo considera un pretratamiento. Es importante tener en cuenta, que, aunque el empaque doble en bolsas facilita el manejo de asbesto, no es una opción de disposición final de los componentes peligrosos del residuo.
Tratamiento superficial (tratamiento físico) (Environment and Heritage Service, 2004)	Este tratamiento consiste en rociar e impregnar los residuos de asbesto con una sustancia estabilizadora que disminuya el potencial de emisión de fibras. El Silicato de Sodio es utilizado para tal fin. El tratamiento consiste en esparcir la sustancia sobre los residuos de tal forma que éstas sean menos propensas a liberar

	<p>fibras al ambiente. Es importante tener en cuenta que este tratamiento afecta solamente la superficie del residuo y en dado caso que esté presente una fractura o un corte, es posible que se liberen fibras.</p>
<p>Degradación térmica (tratamiento térmico) (Gallo, 2012).</p>	<p>Los tratamientos térmicos son una opción que ofrece excelentes resultados, ya que es posible descomponer las fibras de asbesto y lograr una estructura no fibrosa. Esta técnica se ha utilizado en diferentes partes del mundo y aunque sus costos son elevados por la alta energía necesaria para el calentamiento, se logra descomponer las fibras y dar una adecuada disposición final a los residuos de asbesto.</p>
<p>Vitrificación (Gallo, 2012).</p>	<p>Es un proceso mediante el cual el asbesto se mezcla con vidrio molido y se transforma en un material parecido al vidrio. Este proceso se ha aplicado en residuos de amosita y crocidolita y fue desarrollado y llamado "Vitrifix" por King Taudevin y Gregson. El producto final del proceso es una sustancia similar al vidrio, inerte y puede ser utilizado como material de relleno. Según la Greater London Council's Hazardous Waste Unit (GLC) el proceso Vitrifix era técnicamente viable y el único aspecto que podría influir en su aprobación es su elevado costo. Este proceso ofrece un excelente tratamiento en el contexto de la reducción total</p>
<p>Tratamientos biológicos (Daghino et al, 2009).</p>	<p>Actualmente no se registran procedimientos a escala piloto o industrial donde se apliquen tratamientos biológicos para la disposición final de asbestos. Sin embargo, existe un hongo llamado <i>Verticillium leptobactrum</i> que ha sido investigado para evaluar su actividad ante residuos de asbesto. Los estudios muestran que este hongo tiene una alta capacidad de remoción de asbesto y se concluye que su biorremediación de suelos contaminados con este mineral.</p>
<p>Almacenamiento (Gallo, 2012).</p>	<p>Para residuos de asbesto de alta densidad (aglomerado), no se requieren áreas de almacenamiento cubiertas; se debe destinar áreas exclusivas para esta actividad debidamente señalizadas y restringidas del personal no autorizado. El almacenamiento debe ser temporal hasta completar la carga, evitar dejar estos elementos por mucho tiempo en el sitio. En caso de ser necesario humedecer para evitar la volatilidad de las partículas.</p>
<p>Disposición final (MADS, 2013).</p>	<p>Se debe realizar en celdas o rellenos de seguridad como una alternativa de aislamiento del ambiente considerando que las fibras de asbesto son prácticamente inmóviles en el suelo. No se considera otra opción de disposición ya que están prohibidas actualmente.</p>

Adoptado de Daghino et al, (2009); Environment and Heritage Service, (2004); Gallo, (2012) y MADS, (2013).

4.5. Estrategias de prevención y mitigación

- Diseñar programas de capacitación sobre la manipulación de productos con asbesto y las enfermedades que estos residuos pueden provocar. Realizar capacitaciones al personal de las empresas en todo lo relacionado con la manipulación, protección y los efectos perjudiciales en la salud, es importante para mitigar los efectos de la inhalación de las fibras de asbesto, si se siguen utilizando productos con este mineral.

- Definir procedimientos para el manejo de los residuos sólidos de asbesto que resultan de las actividades laborales. Puesto que se conocen los riesgos asociados a la manipulación de estos residuos, es importante que se elabore un estricto procedimiento para realizar el manejo adecuado según las disposiciones de organismos de salud.

5. RESIDUOS HOSPITALARIOS

5.1. Definición

Los Residuos Sólidos Hospitalarios son aquellos desechos generados en los procesos y en las actividades de atención e investigación médica en los establecimientos como hospitales, clínicas, laboratorios, entre otros; constituyen un potencial peligro de daño para la salud de las personas, si en circunstancias no deseadas, la carga microbiana que contienen ingresa al organismo humano mediante vía respiratoria, digestiva o cutánea (Cari, 2016).

5.2. Antecedentes de los residuos hospitalarios y similares

A lo largo de la historia unos de los mayores peligros para la salud pública a nivel mundial son los residuos provenientes de las actividades hospitalarias, los cuales tienen carácter infeccioso de algunos de sus componentes, causando una gran preocupación a los entes gubernamentales a nivel mundial, debido a los riesgos para el medio ambiente y la salud humana (Heredia, Gavilanes & Heredia, 2020). Según Silvera (2017), los desechos hospitalarios conllevan un mayor impacto ambiental que cualquier otro tipo de desechos sanitarios, esto se debe a que entre el 10-25% de los desechos hospitalarios se considera infeccioso y peligroso, y puede presentar una variedad de riesgos para la salud.

A nivel de Latinoamérica, se ha generado una serie de problemáticas relacionadas con el manejo de los residuos hospitalarios, esta problemática se debe en algunos casos a la falta de conocimiento, personal que no está capacitado y el desinterés hacia el manejo integral de estos residuos.

Según Angulo y Hurtado (2019), el inadecuado manejo de los residuos sólidos hospitalarios tiene impactos ambientales negativos, los cuales se evidencian en la segregación, almacenamiento, tratamiento, recolección, transporte y disposición final. Donde la problemática radica en que el manejo inadecuado no sólo afecta la salud humana sino también a la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, lo cual se suma al deterioro estético del paisaje natural y de los centros urbanos.

A nivel internacional hay una gran preocupación relacionada con el manejo de este tipo de residuos, aunque el 85% corresponde a residuos hospitalarios comunes, el 15% restante representa los desechos hospitalarios peligrosos los cuales son potencialmente infecciosos, tóxicos o radiactivos llegando a desarrollar efectos potenciales como; SIDA, hepatitis B y C, infecciones gastroentéricas; infecciones respiratorias; infecciones dérmicas e intoxicaciones, entre otras patologías (Fernández, 2019).

Por otra parte, Fernández (2019) menciona que en Colombia se ha trabajado el manejo de los residuos hospitalarios mediante una serie de políticas y normas las cuales realizan un gran aporte en cuestión al manejo integral de los residuos generados por este sector en particular. Sin embargo, este autor menciona que actualmente en el país hay un porcentaje significativo de los residuos generados en los servicios de salud y similares, en hospitales de nivel 1 y 2 el 40% aproximadamente presenta características infecciosas debido a su inadecuado manejo, el 60% restante se contamina, incrementando los costos de tratamiento, los impactos y los riesgos sanitarios y ambientales.

5.3. Fuente

La fuente principal de este tipo de Residuo Peligroso es en particular todos los productos de desecho, materiales o sustancias que se generan de la actividad sanitaria habitual en los establecimientos como hospitales y clínicas, consultorios médicos y odontológicos, centros asistenciales, veterinarias, laboratorios médicos y bioquímicos, farmacias y otros establecimientos que produzcan residuos de estas características. Por otra parte, estos residuos son considerados como peligrosos debido a la contaminación biológica, sustancias químicas, carcinogénicas y materiales radiactivos (Galeano, 2020).

Cari (2016) afirma que estos residuos se caracterizan por estar contaminados con agentes infecciosos que pueden contener altas concentraciones de microorganismos que son de potencial peligro, tales como: agujas, hipodérmicas, gasas, algodones, medios de cultivo, órganos patológicos, restos de comida, papeles embalajes, material de laboratorio, entre otros.

5.4. Manejo de residuos hospitalarios

El manejo de los residuos hospitalarios recobra gran importancia en la salud pública, debido a que, si no se realiza un adecuado almacenamiento, tratamiento y disposición final de los estos, puede provocar daños físicos serios e infecciones graves al personal que trabaja en los hospitales, así como a los pacientes y a la comunidad en general (Salinas, 2019), además de generar impactos negativos en la atmósfera, suelo y cuerpos de agua superficiales y subterráneos. El manejo inadecuado de estos residuos puede facilitar los procesos de transmisión de enfermedades ya mencionadas anteriormente como la hepatitis B y C (VHB), VIH/SIDA, malaria, leishmaniasis, tripanosomiasis, toxoplasmosis, criptococosis, infecciones por estreptococos y estafilococos; en este mismo sentido, en la tabla 4 se detallan técnicas y metodologías relacionadas con el manejo adecuado de estos residuos peligrosos.

Tabla 4. Alternativas para el manejo de residuos hospitalarios (Elaboración propia, 2021).

Tratamiento	Descripción
Incineración (Salinas, 2019).	Constituye el método de eliminación definitiva más efectivo, ya que reduce el 90% del volumen y el 75% del peso y consigue una esterilización adecuada. Destruye, además, los fármacos citotóxicos. Sin embargo, es costoso tanto en la instalación como en la operación de la infraestructura para la incineración. Requiere controles especiales, ya que las cenizas y los gases producidos son tóxicos. Los incineradores necesitan limpieza periódica con agua, lo que provoca desechos líquidos en exceso. Las cenizas resultantes del proceso de incineración deben considerarse como residuos peligrosos, ya que contienen plomo, cadmio, cromo, mercurio y arsénico.
Desactivación de alta eficiencia (Decreto 351 de 2014).	Método, técnica o proceso utilizado para transformar los residuos hospitalarios y similares peligrosos, inertizarlos, si es el caso, de manera que se puedan transportar y almacenar, de forma previa a la incineración o envío al relleno sanitario, todo ello con objeto de minimizar el impacto ambiental y en relación con la salud. En todo caso, la desactivación debe asegurar los estándares de desinfección exigidos por los Ministerios del Medio Ambiente y Salud.
Termodestrucción controlada (Rodríguez, Correa & Wilches, 2015)	Consiste en incinerar residuos cortopunzantes, anatomopatológicos de origen humano y animal, teniendo en cuenta tres variables: temperatura, tiempo y turbulencia. Las cenizas van a rellenos de seguridad.

Adoptado de Decreto 351 de 2014, (2014); Rodríguez, Correa & Wilches, (2015) y Salinas, (2019).

5.5. Estrategias de prevención y mitigación

- Realizar planes de capacitación a través de la educación ambiental, siendo este el eje principal para generar concientización, sensibilización y divulgación de los riesgos que trae consigo el inadecuado manejo de los residuos hospitalarios para la salud pública.
- Realizar capacitación sobre el manejo adecuado de desechos hospitalarios.
- En los sitios dedicados a la generación de este tipo de residuo peligroso debe contar con señalética adecuada en lugares estratégicos de cada área, referente al manejo de estos desechos.
- En los sitios dedicados a la generación de los residuos hospitalarios, se debe orientar al personal tanto como administrativo, salud y de limpieza hacia el manejo integral de los desechos hospitalarios.
- Se debe capacitar al personal de salud dando un direccionamiento claro acerca de las políticas ambientales dispuestas en la ISO 14001, con el fin de reducir los peligros generados por desconocimiento o descuido hacia el personal que maneja los desechos en las empresas, evitando la propagación de infecciones o daños físicos junto con el deterioro del medio ambiente (Estupiñán, 2018).

CAPÍTULO II

6. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN COLOMBIA

Teniendo el contexto a nivel internacional y nacional mencionado anteriormente, se hace necesario traer a colación la situación actual de los residuos peligrosos en Colombia, especialmente la situación presente en el departamento de Valle del Cauca en jurisdicción de la CVC.

Por medio de los datos recolectados en el año 2017 a través del Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, administrado por el IDEAM, se dará a conocer a continuación la información relacionada con la generación y manejo de los residuos peligrosos de mayor interés para la CVC, con el fin de dar un panorama general sobre la situación de los residuos inmersos en este escrito, los cuales están relacionados principalmente con el sector industrial y están clasificados en la corriente de residuo Y29 aquellos residuos que corresponden a los desechos que tengan como constituyentes mercurio o compuestos de mercurio, corriente Y31 + A1160 + A3030 para los desechos que contienen plomo, corriente Y36+A2050 que pertenece a los desechos que tengan como constituyente Asbesto, polvo y fibras, y también los residuos peligrosos hospitalarios que se encuentran en el sector de Servicios y están clasificados en la corriente de residuo A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4.

6.1. Generación de residuos peligrosos en Colombia

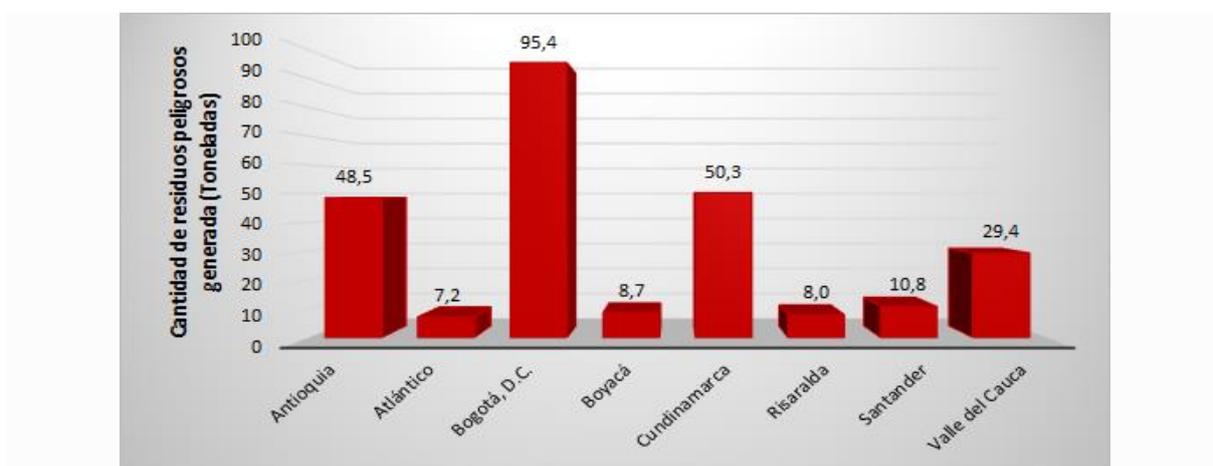
Según el IDEAM, en el año 2017 en Colombia se generaron 489058 toneladas de residuos peligrosos y de acuerdo a las corrientes de residuos más generadas, se tiene que los residuos de desechos clínicos y similares (A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4) ocuparon el segundo lugar con una generación de 46431 toneladas de residuos, lo que representa el 9.5% del total generado. Los residuos de Desechos que contienen plomo (Y31 + A1160 + A3030) ocuparon el cuarto lugar con una generación de 33188 toneladas representando el 6.8% y los Desechos que tengan como constituyente Asbesto, polvo y fibras (Y36 + A2050) presentaron una generación de 2036 toneladas, seguido de los Desechos que tengan como constituyentes mercurio o compuestos de mercurio (Y29) que generaron 300 toneladas; aunque estas dos últimas corrientes no hayan presentado cantidades significativas en cuanto a la generación total de residuos peligrosos, tienen gran importancia para la CVC debido a que son residuos de interés especial por sus posibles efectos en salud y ambiente en caso de no asegurarse un adecuado manejo.

Para la realización del análisis en cuanto a los residuos de mayor importancia para la CVC, se presentan los siguientes gráficos, donde se expone la situación a nivel nacional de estos residuos, por lo tanto, se centran en aquellos departamentos donde se presentó la mayor generación de cada uno de estos residuos. Cabe aclarar que, dentro de los gráficos presentados a continuación, se encuentra Bogotá, D.C. que, a pesar de no ser un departamento, es una entidad territorial de primer orden, con las atribuciones administrativas que la ley confiere a los departamentos (Art. 7, Decreto Ley 1421 de 1993), por lo tanto, dentro de los gráficos se lo denomina de tal forma.

En el gráfico 1, se logra evidenciar los departamentos más relevantes en cuanto a la generación por parte de la corriente Y29 que corresponde a los desechos que tengan como constituyentes mercurio o compuestos de mercurio.

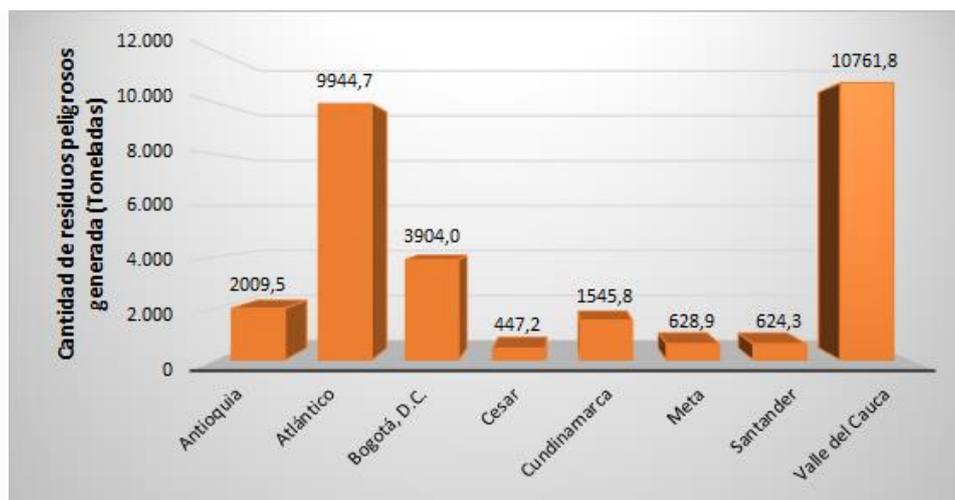
Los principales generadores de esta corriente son Bogotá D.C. con 95,4 toneladas representados con el 31.8%, seguido de Cundinamarca con 50,3 toneladas (16.8%) y por último se encuentran los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca, con 48,5 toneladas (16.2%) y 29,4 toneladas (9.8%), respectivamente. Los datos utilizados para hacer estas apreciaciones fueron obtenidos del IDEAM (2017), donde se reportó que la cantidad total generada a nivel nacional para la corriente Y29 fue de 300 toneladas, cifra que se ha mantenido estable, sin embargo se espera que la generación por parte de esta corriente disminuya progresivamente año tras año con la Ley 1658 de 2013 la cual establece la prohibición de su uso para la minería desde el 16 de julio del 2018, y en todos los procesos industriales desde el año 2023.

Gráfico 1. Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente Y29 (Residuos de mercurio) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).



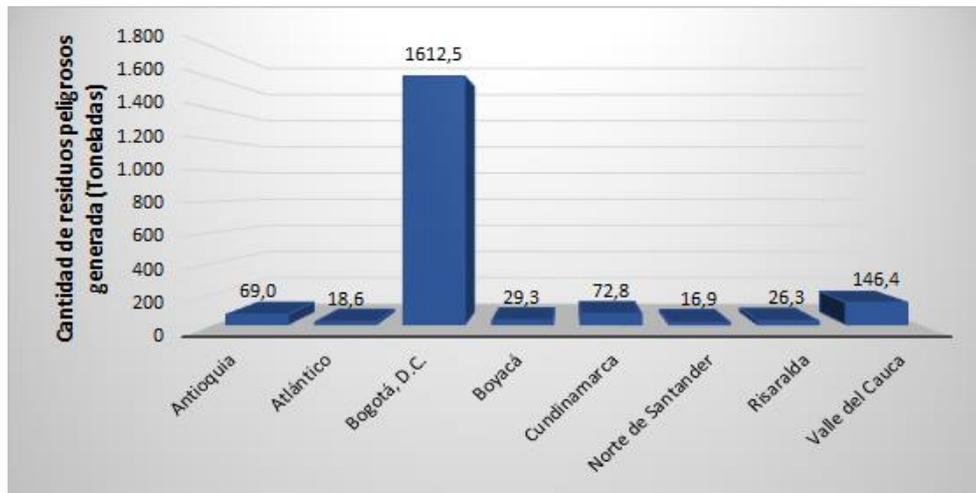
Otro de los Residuos Peligrosos de mayor importancia para la CVC son los desechos que contienen plomo relacionados a la corriente Y31 + A1160 + A3030. El principal generador a nivel nacional fue el departamento del Valle del Cauca con 10762 toneladas representadas con el 32.4% de la generación total de este residuo; seguido del Atlántico y Bogotá D.C., con una generación de 9945 toneladas (30%) y 3904 toneladas (11.8%), respectivamente (Ver gráfico 2). Según el reporte por parte del IDEAM en el año 2017, en Colombia la generación total de la corriente mencionada anteriormente corresponde a 33188 toneladas.

Gráfico 2. Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente Y31 + A1160 + A3030 (Residuos de plomo) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).



Así mismo, el asbesto en Colombia ha sido utilizado ampliamente a lo largo del territorio, siendo un material clave para las constructoras y otros sectores, esto se debe a las cualidades de resistencia, elasticidad, entre otras. Según el IDEAM (2017) se reportó un aumento del 20% con relación a los residuos de asbesto, recalcan que dicho aumento puede atribuirse a las medidas de vigilancia y control que se están ejerciendo por las autoridades ambientales en el país y al informe de auditoría de cumplimiento al Plan Único Nacional de Mercurio y Asbesto, realizado por la Contraloría General de la Nación en el año 2017. Por otra parte, las cifras presentadas en el gráfico 3, evidencian la alta actividad con respecto a la generación de los desechos de asbesto; Bogotá D.C. presenta una generación de 1612 toneladas representadas en 79.2%, seguido de los departamentos del Valle del Cauca y Antioquia, con una generación de 146 toneladas (7.2%) y 69 toneladas (3.4%), respectivamente. Otro de los datos reportados en el informe del IDEAM para el año 2017 es que dicha corriente tuvo una generación de 2036 toneladas a nivel nacional.

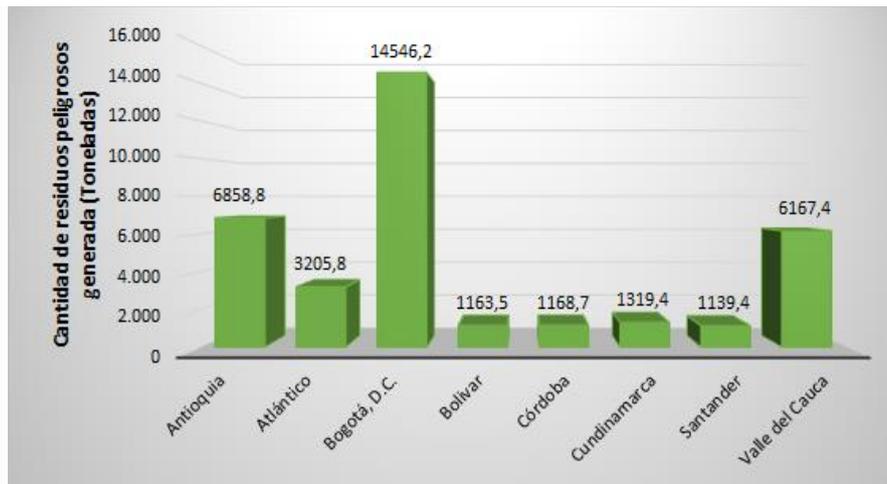
Gráfico 3. Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente Y36 + A2050 (Residuos de asbesto) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).



Por último, en el caso de las cifras referentes a la generación de desechos clínicos resultantes de la atención médica y afines, representados por la corriente A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4., se tiene que estos residuos cobran cada vez mayor importancia debido a la actual pandemia y la crisis que esto conlleva a nivel mundial.

La generación de este tipo de residuo peligroso tiende a aumentar de forma exponencial, debido a la alta demanda de productos para el sector de la salud, que posteriormente se convierten en desechos de carácter común y peligroso, en este caso se dará énfasis a los residuos peligrosos hospitalarios. En el gráfico 4, se evidencia la alta generación por parte de Bogotá, reportando 14546 toneladas con una representación de 31.3% en cuanto a la generación nacional de este tipo de residuo. Por otra parte, otros departamentos que cuentan con gran relevancia con relación a generación son: Antioquia y Valle del Cauca, con una generación de 6859 toneladas (14.8%) y 6167 toneladas (13.2%), respectivamente. Para el año 2017 según el IDEAM se reportaron 46431 toneladas para la corriente A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4 a nivel nacional.

Gráfico 4. Cantidad de Residuos Peligrosos generada por la corriente A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4 (Desechos clínicos y similares) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).

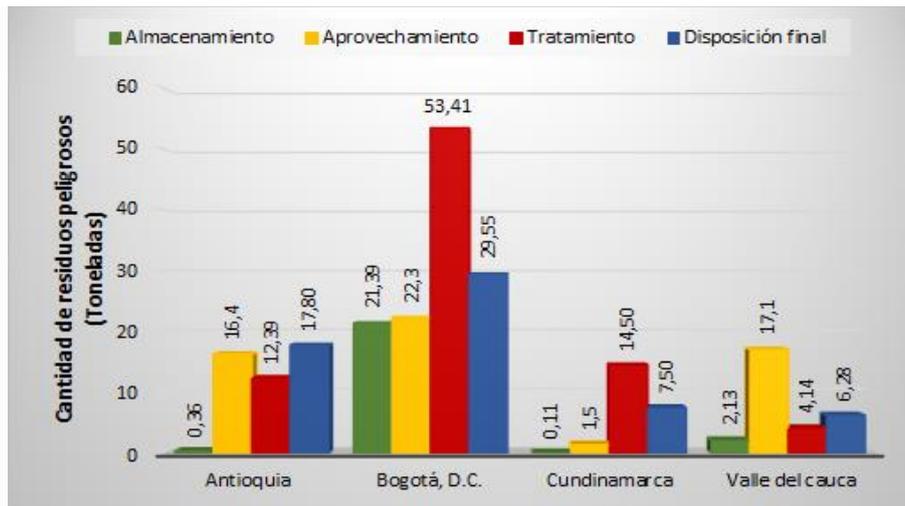


6.2. Manejo de los residuos peligrosos en el país

En los siguientes gráficos se evidencia el manejo de los residuos peligrosos de mayor importancia para la CVC que son generados en Colombia; para cada corriente de residuo se expone aquellos departamentos de Colombia que fueron más representativos en cuanto al manejo de estos residuos en el año 2017.

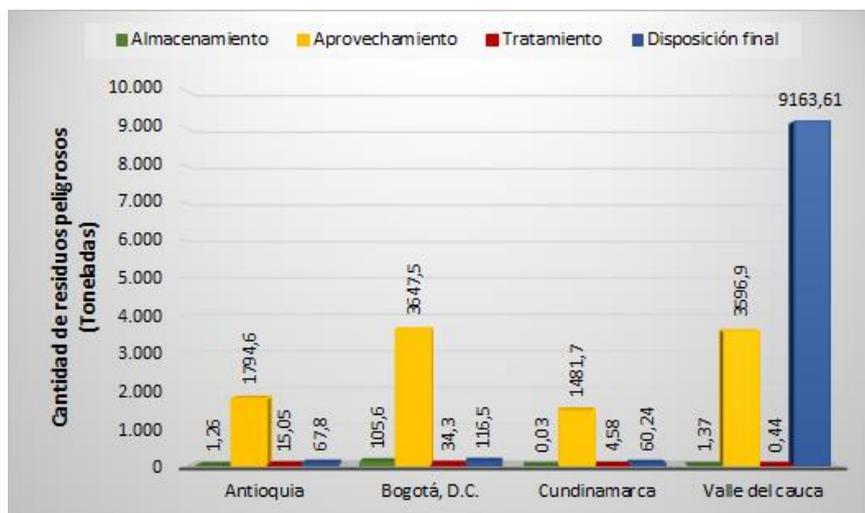
Con respecto al manejo de residuos peligrosos generados por la corriente Y29 (Residuos de mercurio) se presenta el gráfico 5, donde se evidencia que los departamentos que cuentan con la mayor cantidad de residuos manejados por aprovechamiento son Bogotá, con 22,3 toneladas las cuales representan el 23.4% del total generado por el mismo departamento, Valle del Cauca con 17,1 toneladas (58%) y Antioquia con 16,4 toneladas (33.8%) de residuos de mercurio aprovechados. Otro de los aspectos a recalcar es la cantidad por tratamiento en Bogotá, D.C, reportando la mayor cifra con respecto a los otros departamentos, tratando 53,41 toneladas de residuos de la corriente mencionada anteriormente.

Gráfico 5. Manejo de Residuos Peligrosos generados por la corriente Y29 (Residuos de mercurio) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).



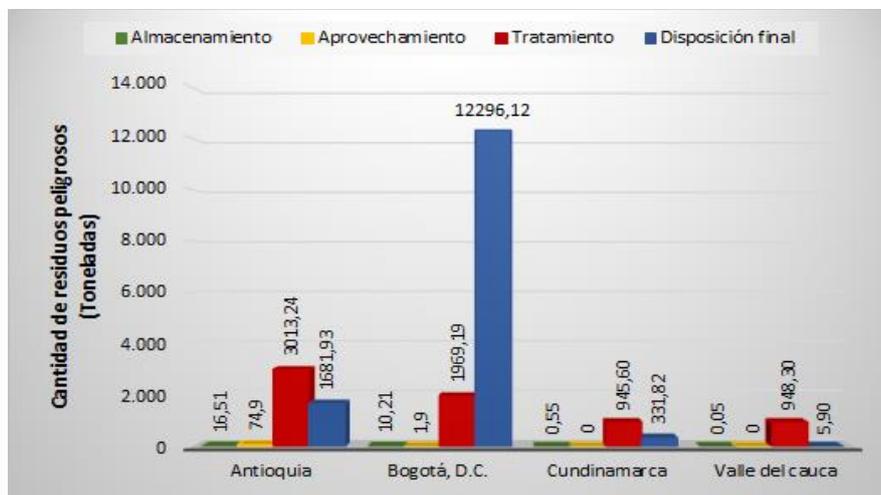
En Colombia se les da gran importancia a los residuos peligrosos, ya que estos se convierten en una fuente de riesgo para la salud humana y el medio ambiente. En el gráfico 6 se evidencia el manejo relacionado a la corriente Y31 + A1160 + A3030 (Residuos de plomo) donde, Bogotá, Valle del Cauca y Antioquia fueron los que mayor aprovechamiento de estos residuos reportaron en el año 2017. Bogotá D.C. fue el que más realizó el aprovechamiento de los residuos generados por la corriente mencionada anteriormente, aprovechando 3648 toneladas representadas en 93% de la generación total por este departamento. Por otra parte, los departamentos de Valle del Cauca y Antioquia obtuvieron cifras significativas, aprovechando 3597 toneladas (33%) y 1795 toneladas (89%), respectivamente. En este sentido, también se destaca la disposición final con la que contó el departamento del Valle del Cauca, donde se reportó 9163 toneladas de residuos de plomo dispuestos, en el mismo año.

Gráfico 6. Manejo de Residuos Peligrosos generados por la corriente Y31 + A1160 + A3030 (Residuos de plomo) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).



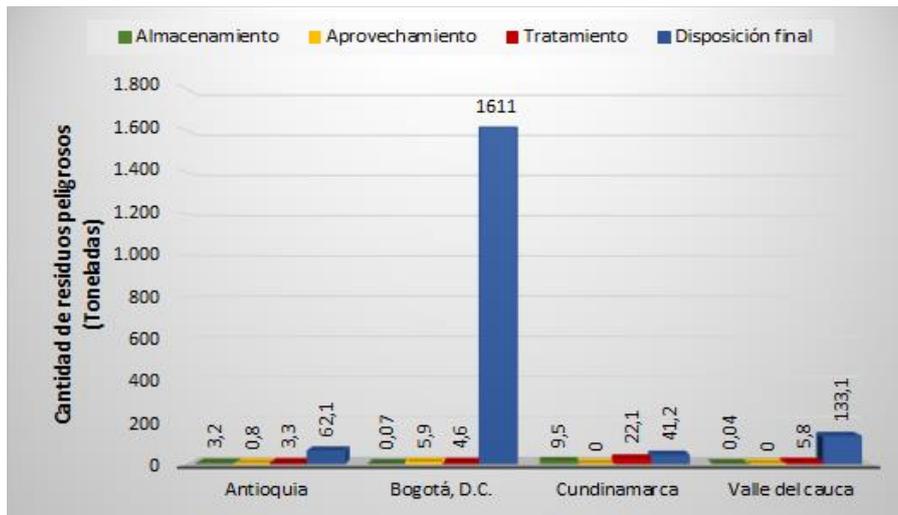
Otro de los residuos de mayor importancia para la CVC son los residuos generados por la corriente A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4 (Residuos hospitalarios), el manejo de estos es de gran relevancia para la salud pública, ya que si se realiza un manejo inadecuado de los mismo puede impactar de forma negativa la salud de la población. En el gráfico 7 se evidencia los principales departamentos generadores de residuos hospitalarios, siendo el departamento de Antioquia el que realizó mayor tratamiento a este tipo de residuos, reportando 3013 toneladas de residuos hospitalarios tratados, seguido de Bogotá con 1969 toneladas de estos residuos. En cuanto a la disposición final, Bogotá dispuso 12296 toneladas de residuos hospitalarios, esta cifra es significativa con relación a los demás departamentos los cuales reportaron menores cifras a nivel de disposición final de residuos hospitalarios.

Gráfico 7. Manejo de residuos peligrosos generados por la corriente A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4 (Residuos hospitalarios) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).



En el gráfico 8, se logra evidenciar que en Colombia todavía hace falta trabajar en el manejo de los residuos generados por la corriente Y36 + A2050 (Residuos de asbesto); mediante el mencionado gráfico se ve el comportamiento en cuestión de aprovechamiento donde ninguno de los departamentos citados presenta cifras significativas, siendo esta una problemática, debido al potencial peligro a nivel de salud pública y del medio ambiente generado por estos residuos. Por otra parte, las cifras más destacadas con relación a la disposición final son las reportadas por Bogotá y Valle del Cauca, disponiendo 1611 toneladas y 133 toneladas, respectivamente. Los departamentos que reportaron las mayores cifras con respecto al tratamiento fueron Cundinamarca con 22 toneladas y el Valle del Cauca con 5,8 toneladas.

Gráfico 8. Manejo de Residuos Peligrosos generados por la corriente Y36 + A2050 (Residuos de asbesto) en los principales departamentos generadores de este residuo en Colombia en el año 2017 (Fuente: IDEAM, 2017. Elaboración propia).



Teniendo en cuenta el panorama actual de estos cuatro residuos peligrosos a nivel nacional para el año 2017, es necesario recalcar que los datos mostrados anteriormente pueden tener una tendencia creciente, esto debido a que probablemente no están siendo reportados todos los residuos por los generadores los cuales están obligados por norma a hacerlo, sin embargo, los entes reguladores como las corporaciones autónomas de cada región del país, están ejerciendo mayor control y vigilancia de los sectores productores de residuos peligrosos a través del Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, con el fin de tener un reporte claro en cuanto a la generación y el manejo de este tipo de residuos. Por otra parte, el comportamiento en cuestión de generación y manejo de los residuos de interés mencionados anteriormente por parte de Bogotá, D.C, es de recalcar, ya que tiene cifras elevadas las cuales se les deben dar la importancia del caso, ya que dada la situación de que no se haga un adecuado control y manejo de estos residuos en esta zona del país, puede verse afectada en gran medida la salud humana, puesto que en esta ciudad se concentra un porcentaje significativo de la población de Colombia; otro de los aspectos a tener en cuenta es que el inadecuado manejo de estos residuos peligrosos pueden desencadenar posibles desequilibrios medioambientales en las zonas periféricas de esta ciudad, llegando a afectar humedales, bosques y zonas que conservan alta diversidad de especies de fauna y flora.

7. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS EN EL VALLE DEL CAUCA, JURISDICCIÓN DE LA CVC

Entrando más al campo regional, se hace pertinente traer a colación la situación del departamento del Valle del Cauca, debido a que cuenta con gran relevancia en cuestión de generación de residuos peligrosos a nivel nacional, donde se caracteriza por poseer un número significativo de empresas industriales, agroindustriales y centros de salud (hospitales, clínicas, entre otros), las cuales mediante las actividades productivas y operativas generan grandes volúmenes de residuos peligrosos, y el inadecuado manejo de estos pueden traer repercusiones negativas para la región y el país en general. El Valle del Cauca según estadísticas del IDEAM (2017) tiene cifras elevadas en cuanto a disposición final de residuos de interés mencionados anteriormente, este comportamiento es un poco delicado, debido a que los generadores de estos residuos no están implementando programas de tratamiento y aprovechamiento de este tipo de residuos, lo que pone en riesgo de algún modo la capacidad operativa y/o vida útil de los rellenos sanitarios, al generar y disponer grandes volúmenes de residuos peligrosos en ellos.

7.1. Generación de residuos peligrosos en el Valle del Cauca en jurisdicción de la CVC

De acuerdo a los datos más recientes de la CVC que van hasta el periodo de balance 2019, se hace una comparación en cuanto a las cantidades generadas de estos cuatro residuos en su jurisdicción en el Valle del Cauca entre los años 2017, 2018 y 2019, por lo tanto, se presenta en el gráfico 9 la variación en la generación de estos residuos durante los tres años ya mencionados, donde se puede observar que para cada año los residuos de plomo (Y31 + A1160 + A3030) predominan frente a las otras tres corrientes, presentando un aumento considerable en el año 2018 con un total de 28883 toneladas, sin embargo, en el año 2019 la generación de estos residuos tuvo una disminución del 15%, siendo reportados en este año 24423 toneladas. Por otro lado, la generación de residuos provenientes de desechos clínicos (A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4) presentó una disminución progresiva, reportando un total de 50 toneladas de residuos en el último año (2019). Por el contrario, los residuos de asbesto (A2050 + Y36) presentaron un aumento en la generación de residuos año tras año, teniendo como última cifra en el 2019, un total de 1128 toneladas de residuos.

Gráfico 9. Cantidad de Residuos Peligrosos generada en el Valle del Cauca en jurisdicción de la CVC 2017 – 2019 (Fuente: CVC, 2021. Elaboración propia).



7.2. Manejo de residuos peligrosos en el Valle del Cauca en jurisdicción de CVC

De acuerdo a la información reportada en el Registro de Generadores de Residuos y Desechos Peligrosos en el Valle del Cauca en jurisdicción de la CVC, se clasifica el manejo realizado por los generadores o a través de terceros dependiendo de la opción elegida para cada residuo, ya sea por almacenamiento, aprovechamiento y/o valorización, tratamiento o disposición final para los residuos peligrosos generados desde el 2017 hasta el año 2019.

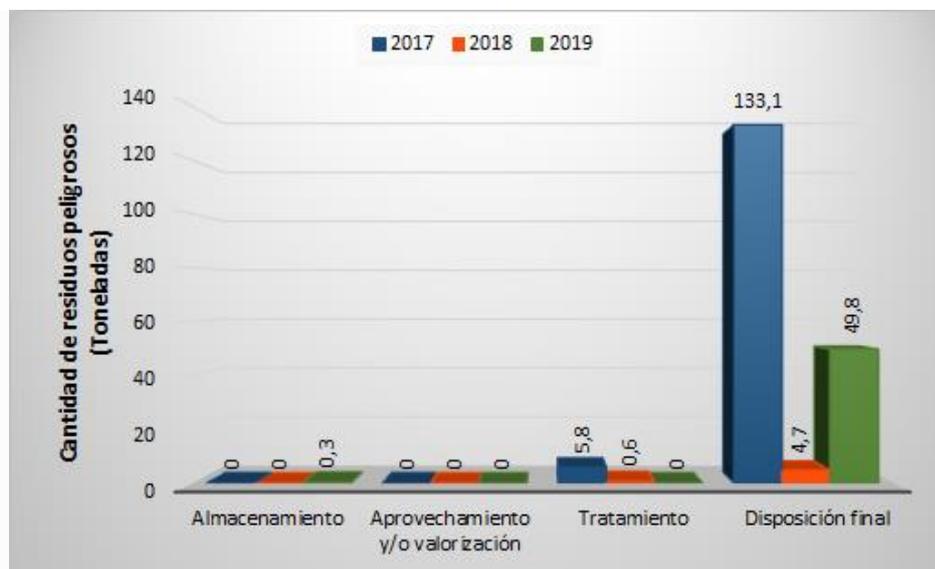
Por lo tanto, se presenta el gráfico 10 en el cual se recopila la información de las cantidades de residuos de plomo (A1160 - A3030 + Y31) por tipo de manejo en cada año. Donde se puede observar que el manejo más utilizado durante estos tres años fue la disposición final, que incrementó de 9163 toneladas en el año 2017 a 28349 toneladas en el año 2018 y en el siguiente año se redujo la cantidad a 23961 toneladas dispuestas. El segundo manejo más utilizado para este residuo fue aprovechamiento y/o valorización, sin embargo, este manejo presentó una disminución progresiva, pasando de 3596 toneladas en el año 2017 a 458 toneladas en el año 2019.

Gráfico 10. Manejo de residuos de plomo (A1160 - A3030 + Y31) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019 (Fuente: CVC, 2021. Elaboración propia).



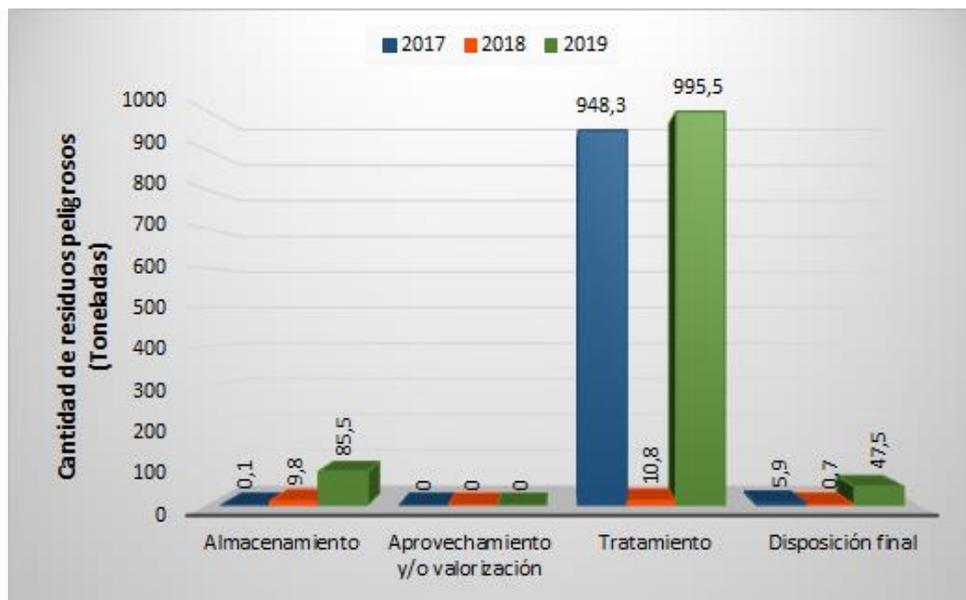
En el caso de los residuos de asbesto (A2050 + Y36), como se evidencia en el gráfico 11, se presentó un mayor manejo por disposición final; en el año 2017 fueron dispuestas 133 toneladas, sin embargo, en los siguientes años se redujo la cantidad dispuesta por esta corriente, presentando en el año 2019 un reporte de 49 toneladas dispuestas de residuos de asbesto. Por otro lado, se le dio tratamiento a 5.8 toneladas en el año 2017, cifra que fue superior en comparación con los otros años, puesto que para el 2018 se trataron 0.6 toneladas y para el año 2019 no hubo reporte de residuos tratados.

Gráfico 11. Manejo de residuos de asbesto (A2050 + Y36) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019 (Fuente: CVC, 2021. Elaboración propia).



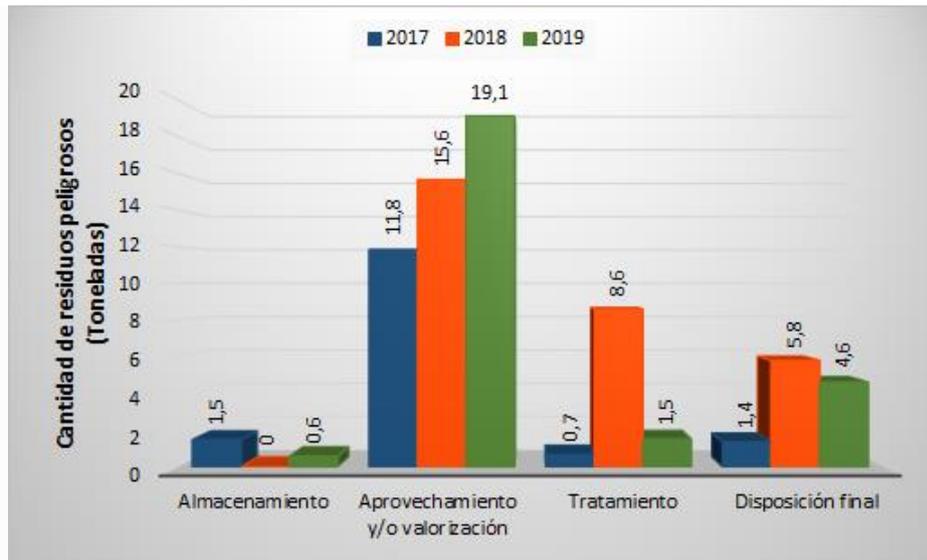
En cuanto a los residuos hospitalarios, se evidenció en el gráfico 12 que el manejo de residuos predominante fue el tratamiento, el cual presentó cifras significativas en los años 2017 (948 toneladas) y 2019 (995 toneladas), aunque en el año 2018 se manejó por medio de tratamiento solo 10 toneladas de residuos. Por otra parte, el almacenamiento, aunque no tiene cifras tan relevantes como las del tratamiento, presentó un comportamiento significativo en el 2019 con respecto a los otros años, teniendo en dicho año almacenadas 85.5 toneladas de residuos hospitalarios.

Gráfico 12. Manejo de residuos hospitalarios (A4020 + Y1 + Y1.1 + Y1.2 + Y1.3 + Y1.4) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019 (Fuente: CVC, 2021. Elaboración propia).



Con relación al manejo de los residuos de mercurio, se elaboró el gráfico 13, donde se presentó una tendencia al aumento en el aprovechamiento y/o valorización de los residuos, de los cuales se reportaron 11.8 toneladas en el año 2017, 15.6 toneladas en el 2018 y 19.1 toneladas en el 2019, siendo este manejo el más predominante para este tipo de residuos. Por otra parte, el año más destacado con respecto al tratamiento de residuos de mercurio fue el año 2018 reportando 8.6 toneladas, seguido del año 2019 con 1.5 toneladas y por último el año 2017 con 0.7 toneladas de este tipo de residuo.

Gráfico 13. Manejo de residuos de mercurio (Y29) en el Valle del Cauca, jurisdicción de la CVC 2017 – 2019 (Fuente: CVC, 2021. Elaboración propia).



8. CONCLUSIÓN

En Colombia la generación de estos cuatro residuos peligrosos fue liderada principalmente por Bogotá, D.C. y los departamentos de Antioquia, Cundinamarca y Valle del Cauca; la coherencia de estas cifras respecto al caso de los residuos hospitalarios y similares por estos departamentos, está fundamentada por la distribución a nivel nacional de prestadores de servicios de salud en el país, de acuerdo con el Ministerio de Salud y Protección Social.

A nivel regional se reportó en el Valle del Cauca en la jurisdicción de la CVC la mayor cantidad de residuos hospitalarios y residuos de mercurio generados en el año 2017, por otro lado, predominó la generación de residuos de plomo en el año 2018 y en el año 2019 las cantidades reportadas más significativas fueron por parte de los residuos de asbesto.

En este sentido, es necesario enfatizar especialmente en el manejo de los residuos peligrosos por medio de tratamiento; en este escrito se citaron un número significativo de estos, los cuales se convierten en alternativas claves para reducir el potencial contaminante de los residuos generados para su posterior aprovechamiento (puesto que es considerado como el tipo de gestión promovido en la Política Ambiental para la Gestión integral de Residuos Peligrosos) o disposición final. Sin embargo, en algunos casos los generadores no le dan la importancia necesaria a esta parte del manejo, omitiendo la problemática que estos pueden llegar a generar, ya que pueden ser tanto un foco de contaminación como también pueden traer repercusiones negativas en la salud pública local, regional y nacional.

Por otra parte, los procesos que empleen técnicas biológicas como fuente de biorremediación a la hora de tratar estos cuatro residuos de interés se convierten en una de las alternativas más sostenibles para el manejo de estos residuos de carácter peligroso; las metodologías y técnicas que empleen la fitorremediación, biorremediación y otros tratamientos mencionados anteriormente como el uso de la adsorción con carbón activado para el tratamiento de residuos de mercurio y a su vez para la eliminación de una amplia variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos en medio acuoso o gaseoso, pueden llegar a ser claves a la hora de tratar grandes volúmenes de residuos peligrosos los cuales son potencialmente riesgosos para la salud pública y el medio ambiente.

En cuanto a las cifras de manejo de estos cuatro residuos en el Valle del Cauca en jurisdicción de la CVC, se destaca que, para el caso de los residuos de plomo y asbesto, predominó el manejo por medio de disposición final según los datos reportados en el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos 2017 - 2019. Por el contrario, para los residuos hospitalarios, las cantidades más significativas fueron reportadas en el manejo por tratamiento, siendo reportada la cifra más alta en el año 2019 con 995 toneladas. Aunque en el caso de los residuos de mercurio el manejo predominante fue el aprovechamiento y/o valorización, el cual presentó un aumento progresivo en las cantidades de residuos año tras año, también se reportaron cantidades considerables en el tratamiento y disposición final, principalmente en el año 2018.

En última instancia, es de destacar que gracias al trabajo de las autoridades ambientales cada vez se logra concientizar más a los generadores, y mediante planes estratégicos buscan prevenir y minimizar la generación de los residuos peligrosos, a su vez, promueven la gestión y el manejo integral de estos residuos. Así mismo, es de vital importancia que aquellos generadores que no estén obligados por la normativa a reportar sus residuos peligrosos, adopten programas de posconsumo que son reglamentados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para que estos de igual manera sean gestionados correctamente.

9. REFERENCIAS

- Alonso Riesco, R. (2012). Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Angulo Solís, M. D., & Hurtado, C. (2019). Importancia del fortalecimiento cultural en el manejo de los residuos hospitalarios en la clínica Valle Salud en la ciudad de Cali-Colombia (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali).
- Arredondo, L. H. S., Escobar, J. M. M., & Serrano, R. I. M. (2019). Línea base del mercurio, departamento de Antioquia: sedimentos activos finos de corriente escala 1: 500.000.
- Arias Angarita, E. (2020). Determinación de la concentración y tipos de fibras de asbesto en muestras tomadas en dos ambientes laborales y en subsuelos contaminados de Sibaté-Colombia (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Ávila Bravo, F. A., & Loo Párraga, J. R. (2018). Niveles de mercurio en peces *Oreochromis niloticus* (Tilapia) del Embalse la Esperanza del Cantón Bolívar (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Azcona-Cruz, M. I., Ramírez, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77.
- Badilla Méndez, C. (2018). Evaluación del grado de contaminación con mercurio (Hg) en Laguna La Señoraza agua, sedimentos y biota.
- Bedmar, M. S., Pizarro, R. M. C., & Rivas, C. H. (2000). Evaluación de la seguridad de las vacunas por su contenido en timerosal The evaluation of safety in vaccines for their thimerosal content. *Pharmaceutical Care España*, 2, 432-439.
- Benítez, Y. (2017). Estado del arte en métodos biotecnológicos potenciales a ser empleados para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con mercurio, proveniente de la minería aurífera (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Manizales, Manizales.

- Berrio, L., Beltrán, O., Agudelo, E., & Cardona, S. (2012). Sistemas De Tratamiento Para Residuos Líquidos Generados En Laboratorios De Análisis Químico. *Gestión y Ambiente*, 15(3), 113- 124.
- Borja, N., García Villegas, V., Yipmantin-Ojeda, A., Guzmán Lezama, E., & Maldonado García, H. (2015). Estudio de la cinética de biosorción de plomo (II) en alga *Ascophyllum nodosum*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(3), 212-223.
- Buelvas-Soto, J., & Marrugo-Negrete, J. (2020). Mercurio (Hg) y plomo (Pb) en aves de la región de La Mojana, Colombia.
- Cañón, G. (2019). Logística Inversa: para la identificación, manejo, transporte y disposición final de materiales que contienen asbesto en una empresa industrial.
- Cari Larico, H. L. (2016). Aplicación de la norma técnica del Ministerio de Salud de residuos hospitalarios y su influencia en el manejo del personal de servicio y clínicos en la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez Juliaca, 2016.
- Corona-Ramírez, L., & Iturbe-Argüelles, R. (2005). Atenuación natural en suelos contaminados con hidrocarburos. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 6(2), 119-126.
- Daghino, S., Turci, F., Tomatis, M., Girlanda, M., Fubini, B. y Perotto, S. (2009). Meteorización del amianto crisotilo por el hongo serpentina que habita en rocas *Verticillium leptobactrum*. *Ecología de microbiología FEMS*, 69 (1), 132-141.
- Decreto 351, de 19 de febrero de 2014. Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades. Bogotá, D. C., 19 de febrero de 2014.
- Di Paola, M. M., & Vicién, C. (2010). Biorremediación: vinculaciones entre investigación, desarrollo y legislación. Buenos Aires.
- Estupiñán, N. J. R. (2018). Capítulo 15 Sistemas de gestión ambiental como instrumento frente al manejo de residuos peligrosos en el sector hospitalario. La gestión ambiental y su impacto en el desarrollo de las actividades productivas.
- Environment and Heritage Service. (2004). BPEO for the Management of Waste Asbestos.
- Fernández Marín, W. L. (2019). Plan de manejo de residuos hospitalarios para el ESE Hospital San Martín de Porres del municipio de Chocontá Cundinamarca (Bachelor's thesis, Universidad El Bosque).
- Gafner-Rojas, C. M. (2018). La contaminación hídrica por mercurio y su manejo en el derecho colombiano. Tratado de derecho de aguas. Tomo I: derecho de aguas colombiano para el siglo XXI.

- Galeano Galeano, D. S. (2020). Descripción de la Información bibliográfica sobre el manejo de los residuos hospitalarios o de la atención en salud en seis países latinoamericanos en el período de 2002 a 2018.
- Gallo Murcia, S. M. (2012). Revisión teórica del manejo, toxicidad y disposición final de residuos de asbesto (Bachelor's thesis, Uniandes).
- Gómez-Yepes, M. E., & Cremades, L. V. (2013). Estudio del manejo del plomo en establecimientos de tipografía, reconstrucción de baterías y recicladores de chatarra en el Departamento del Quindío, Colombia. *Ciencia & trabajo*, 15(46), 7-11.
- Gómez, W., Gaviria, J., & Gallo, S. A. C. (2009). Evaluación De La Bioestimulación Frente A La Atenuación Natural Y La Bioalimentación En Un Suelo Contaminado Con Una Mezcla De Gasolina-Diesel. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, 76(160), 83-93.
- Guzmán Flórez, V. P. & Villalba Almanza, M. D. (2020). Estándares internacionales para el manejo de residuos peligrosos: propuesta para disposición final de aceites lubricantes vehiculares usados, caso Montería, Córdoba.
- Guayacán Benítez, G. (2018). Análisis del plan de seguridad en los procesos de transformación del asbesto en la empresa Incolbest SA de Bogotá, Colombia, 2018.
- Heredia, S., Gavilanes, A., & Heredia, F. (2020). Manejo integral de residuos hospitalarios peligrosos—"caso de estudio padre Alberto Bufonni, Ecuador".
- IDEAM. (2017). Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia, 2017. Bogotá, D.C. 82 páginas.
- Lanziano Charry, N. (2018). Derecho de la vida Vs derecho económico de contaminación del asbesto.
- Lescano, L., Marfil, S. A., & Maiza, P. (2017). Asbestos en Argentina: contaminantes naturales en materiales para la construcción: casos de estudio. In IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT 2017.
- López, B. M. M. (2019). Relevamiento de la contaminación con mercurio en el canal cacique guaymallén y evaluación del riesgo potencial en alimentos (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Agrarias).
- Lucero Rincón, C. H. (2019). Acumulación de mercurio y plomo, en el bivalvo *Anadara tuberculosa*, entre los años 2016 y 2018 en la desembocadura del río Dagua, Pacífico colombiano (Doctoral dissertation, Universidad Santiago de Cali).

- MADS. (2013). Guía técnica para la gestión ambiental Residuos de asbesto y de los productos que los contengan. Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.
- Martínez Cardozo, L. A., & Vargas Peña, Y. A. (2017). Evaluación de la contaminación en el suelo por plomo y cromo y planteamiento de alternativa de remediación en la represa del Muña, municipio de Sibaté-Cundinamarca.
- Mejía Sandoval, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 77-99.
- Ortega Herrera, A., & Peña Coronado, A. (2020). Evaluación del riesgo a la salud humana asociado al consumo de peces contaminados por metales pesados en el embalse del Guájaro, Atlántico-Colombia (Bachelor's thesis, Corporación Universidad de la Costa).
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Informe de Vigilancia Tecnológica. Universidad de Alcalá. Dirección General de Universidades e Investigación. España.
- Pinzón, C. P., & Gómez, C. A. F. (2018). Impacto del mercurio en los ecosistemas colombianos y las técnicas aplicables para su biorremediación. Documentos de Trabajo ECAPMA, (1).
- Rodríguez Cortes, L. E., Correa Ferro, M. B., & Wilches Celis, J. (2015). Criterios de implementación ISO 14000: 2015 caso de estudio Empresa Ecocapital ESP.
- Rojas, H. A., Guerrero, D. C., Vásquez, O. Y., & Valencia, J. S. (2012). Aplicación del modelo de Bohart y Adams en la remoción de mercurio de drenajes de minería por adsorción con carbón activado. *Información tecnológica*, 23(3), 21-32.
- Romero Pávez, M. A. (2017). Estudio de la contaminación por plomo en suelos de una planta de reciclaje de baterías cerrada en Freire, IX Región.
- Salas-Marcial, C., Garduño-Ayala, M. A., Mendiola-Ortiz, P., Vences-García, J. H., Zetina-Román, V. C., Martínez-Ramírez, O. C., & Ramos-García, M. D. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1).
- Salinas, P. J. (2019). Los desechos sólidos, residuos o basura, un problema mundial para la salud y el ambiente.
- Sanguino, V. L., Díaz, R., Peña, D., Machado, C., & Barrera Zarate, A. L. (2020). Plan de Intervención Primaria para el manejo de la Contaminación por Mercurio en la población minera del Departamento del Chocó.

- Silvera, E. E. G. (2017). Estrategia de aprovechamiento de residuos hospitalarios. Revista Científica " Conecta Libertad" ISSN 2661-6904, 1(1), 21-30.
- Terán Lara, E. D. (2020). Daños a la persona causados por el asbesto. Causalidad (Doctoral dissertation, Bogotá: Universidad Externado de Colombia, 2020.).
- Zapata Maya, A. M. (2017). Residuos peligrosos en Colombia 2016: Caracterización y análisis normativo para su adecuada gestión.
- Zúñiga Blanco, O. L. (2019). Alternativas para la recuperación de suelos contaminados por actividades industriales en Colombia.