



Universidad **Mariana**

Selección de alternativas para el aprovechamiento de los Residuos de Aparatos Eléctricos y
Electrónicos (RAEE), en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto

Cabezas Córdoba Deiner Jesús
Jamauca Ortiz Bryan Alejandro
Ruiz Quiroz David Alejandro

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2023

Selección de alternativas para el aprovechamiento de los Residuos de Aparatos Eléctricos y
Electrónicos (RAEE), en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto

Cabezas Córdoba Deiner Jesús
Jamauca Ortiz Bryan Alejandro
Ruiz Quiroz David Alejandro

Informe de investigación para optar al título de: Ingeniero Ambiental

Mg. María Margarita Portilla González
Asesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2023

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa a la culminación de este trabajo de investigación. La finalización de esta tesis representa un logro importante en nuestra trayectoria académica, y no habría sido posible sin el apoyo invaluable de quienes se menciona a continuación:

Agradecemos a nuestra asesora, Maria Margarita Portilla González y la Docente Teresita Del Rocío Canchala Nastar, por su dedicación, orientación y apoyo constante a lo largo de este proceso. Sus conocimientos, paciencia y perspectiva crítica fueron fundamentales para dar forma a estas ideas y mejorar la calidad de la investigación.

Extendemos nuestro agradecimiento a los miembros del jurado, Santiago Gomez Herrera, Sandra Milena Madronero Palacios, por su tiempo, expertise y valiosas sugerencias que enriquecieron enormemente este trabajo. Sus comentarios constructivos fueron esenciales para perfeccionar la estructura y el contenido de la tesis.

Agradecemos también a mis compañeros de tesis, quienes proporcionaron un entorno de apoyo y entendimiento durante este desafiante proceso. Sus palabras de aliento y motivación fueron un estímulo constante.

No podemos dejar de mencionar a nuestras familias, quienes han sido nuestra fuente inagotable de amor, comprensión y aliento. Su apoyo incondicional ha sido gran apoyo para alcanzar este objetivo académico.

Finalmente, agradecemos a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a nuestra formación académica y al desarrollo de esta tesis.

Contenido

Introducción.....	11
1. Resumen del proyecto.....	13
1.1. Descripción del problema.....	13
1.1.1. Formulación de la pregunta.....	14
1.2. Justificación.....	14
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos.....	16
1.4.1. Antecedentes.....	16
1.4.1.2. Nacionales.....	17
1.4.1.3. Regionales.....	18
1.4.2 Marco teórico.....	18
1.4.3 Marco contextual.....	21
1.4.4. Marco legal.....	22
1.5 Metodología.....	24
1.5.1 Campo y Línea de Investigación.....	24
1.5.3 Enfoque de la Investigación.....	24
1.5.4 Tipo de Investigación.....	24
1.5.5 Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis.....	25
1.5.6 Diseño Metodológico.....	25
2. Presentación, análisis y discusión de resultados.....	32
2.1 Caracterizar los diferentes residuos RAEE que se generan en el casco urbano de San Juan de Pasto a través de información primaria y secundaria.....	32
2.1.1 . Caracterización de los RAEE.....	33
2.1.2 . Categorización de los RAEE.....	35

2.1.2. Disposición y acopio de los RAEE.....	42
2.2.2. Identificar las tendencias actuales para el aprovechamiento de residuos RAEE a través de información secundaria.....	53
2.3. Priorizar alternativas para el aprovechamiento de los RAEE mediante la metodología "matrices para tamizar ideas de Sánchez (2003)".....	81
3. Conclusiones.....	100
4. Recomendaciones.....	103
Referencias bibliográficas.....	105
Apéndices.....	113
Anexos.....	121

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición porcentual de materiales presentes en los RAEE.....	19
Tabla 2. Recolectores de RAEE encuestados del Casco Urbano del Municipio de San Juan de Pasto	25
Tabla 3. Estructura de la encuesta.....	27
Tabla 4. Categorización de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en la UE según la directiva RAEE de 2012	35
Tabla 5. Matriz de relaciones entre categorías de análisis de la encuesta aplicada.	45
Tabla 6. Recopilación de alternativas para el aprovechamiento de los RAEE.....	53
Tabla 7. Costos de las materias primas necesarias para la recuperación de cobre de las TCI de los RAEE.....	67
Tabla 8. Duración de uso de los equipos del proceso de recuperación de un kilo de metales no ferrosos.....	67
Tabla 9. Diferencias del Impacto ambiental del aprovechamiento de los RAEE mediante la metodología de hidrometalurgia y la disposición final de los RAEE en un relleno sanitario.....	68
Tabla 10. Inversión de maquinaria para la metodología de aprovechamiento Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana.....	71
Tabla 11. Diferencias del Impacto ambiental del aprovechamiento de los RAEE mediante la metodología de Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana y la disposición final de los RAEE en un relleno sanitario.....	73
Tabla 12. Definición de los criterios con su respectivo peso (A) para la evaluación de la atraktividad	81
Tabla 13. Definición de los criterios con su respectivo peso (D) para la evaluación de la viabilidad.....	82
Tabla 14. Procedimiento para clasificar cada alternativa de acuerdo con su viabilidad y atraktividad total.....	83
Tabla 15. Información resumida de los resultados a partir de la evaluación y clasificación de las alternativas para el aprovechamiento de RAEE.....	84

Índice de Figuras

Figura 1 Base cartográfica del casco urbano del municipio de San Juan de Pasto	25
Figura 2. Metodología de PRISMA.....	33
Figura 3. Ubicación de recolectores de RAEE en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto.....	36
Figura 4. Residuos de Aparatos eléctricos y electrónicos en las chatarrerías de San Juan de Pasto.....	37
Figura 5. Composición porcentual de materiales presentes en grandes electrodomésticos.....	42
Figura 6. Composición porcentual de materiales presentes en pequeño electrodomésticos.....	43
Figura 7. Composición porcentual de materiales presentes en los TIC y electrónica de consumo.....	44
Figura 8. Mesa de rodillos.....	94
Figura 9. Maquina trituradora de materiales.....	95
Figura 10. Banda Magnética industrial.....	96
Figura 11. Separador Foucault.....	97
Figura 12. Separador vibrante.....	97
Figura 13. Trituradora para granular vidrio.....	98
Figura 14. Triturador de cables.....	98
Figura 15. Recuperación convencional.....	99

Índice de Anexos

Anexo A. Encuesta aplicada a la Empresa Chatarrería Rojas.....	118
Anexo B. Encuesta aplicada depósito bodega de sur.....	121
Anexo C. Encuesta aplicada depósito Pereira.....	124
Anexo D. Encuesta aplicada INNOVA S.A.S.....	127
Anexo E. Matrices de evaluación y clasificación de las 10 alternativas para el aprovechamiento de RAEE en el casco urbano de San Juan de Pasto.....	130

Introducción

En el transcurso del año 2015, se generaron aproximadamente 48.894 millones de toneladas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) a nivel mundial. Este aumento se atribuye al consumo masivo de estos dispositivos y a la obsolescencia programada, que acorta su vida útil, convirtiéndolos rápidamente en desechos. Como resultado, los RAEE han experimentado un notable incremento a nivel global (Valderrama López et al, 2018; Li, 2017).

En Colombia, la situación respecto al creciente problema de los RAEE refleja un panorama similar al mundial. El país produce alrededor de 130.000 toneladas de residuos de computadoras y periféricos anualmente, equivalente a 5,3 kg por persona. Los desechos de computadoras y electrodomésticos representan el 69,81% de los RAEE generados por los colombianos, lo que se traduce en 3,7 kg per cápita por habitante (Baldé, Wang, Kuehr, & Huisman, 2015). En consecuencia, los RAEE constituyen un problema significativo en Colombia, y se requiere buscar alternativas para reducir su impacto ambiental, principalmente debido al manejo inadecuado de estos residuos especiales.

En el contexto local de la Ciudad de San Juan de Pasto, las cantidades de residuos RAEE generalmente incluyen dispositivos de gran tamaño (neveras, estufas, lavadoras), medianos (televisores, computadoras, herramientas industriales) y de pequeño volumen (televisores, discos duros, memorias RAM). Estos dispositivos suelen ser entregados a entidades y personas encargadas de la recolección de metales, quienes los llevan a depósitos de compra y venta de chatarra. En su mayoría, estos depósitos, al recibir los dispositivos, llevan a cabo procesos de desmantelamiento para extraer metales como el cobre y otros componentes, que luego son vendidos a siderúrgicas y metalúrgicas encargadas de la fundición de metales.

Dada esta realidad, la presente investigación surge de la necesidad de identificar y proponer alternativas viables orientadas al aprovechamiento de RAEE generados en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto. El objetivo es conferirles un valor a estos desechos para mitigar los impactos negativos que podrían generar en el medio ambiente. Por tanto se buscó seleccionar alternativas encaminadas a la reutilización de los RAEE, donde inicialmente se realizó una caracterización

de los diferentes residuos que se generan en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto, mediante una encuesta aplicada a los gestores y chatarrerías locales, encargadas de la recolección de dichos residuos, cabe destacar que se logró obtener muy poca información dado a que muchas empresas no accedieron a aplicar la encuesta, además se hizo revisión del PGIRS y Plan de Desarrollo local para así cuantificar y caracterizar los diferentes RAEE dentro del área de estudio, dentro de estos documentos no se encontró información relevante sobre la cantidad y el manejo que se le da a los RAEE a nivel local. Posteriormente se identificaron las tendencias actuales a nivel internacional y nacional relacionadas al aprovechamiento de los RAEE, mediante búsqueda de información secundaria de diferentes bases bibliográficas como Scopus, Scielo, Sciencedirect y Google Scholar, para finalmente priorizar estas alternativas de aprovechamiento mediante la metodología de matrices para tamizar de ideas de Sanchez (2003) definiendo criterios de viabilidad y atractividad para luego determinar las alternativas más viables, que puedan implementarse de acuerdo al contexto y la caracterización de los RAEE en el ámbito local.

Las alternativas escogidas para el aprovechamiento de los RAEE están encaminadas a la economía circular, las cuales consisten en minería urbana, procesos de desmantelamiento y extracción para la obtención de metales y no metales que pueden ser utilizados nuevamente como materias primas en los procesos productivos.

1. Resumen del proyecto

1.1. Descripción del problema

Se define como Aparato Eléctrico o Electrónico (AEE) a cualquier artículo proveniente de hogares o negocios, que contenga circuitos o componentes electrónicos y una fuente de energía o batería (StEP - ONU, 2015). Asimismo, establece que el término RAEE se refiere a todos los tipos de aparatos eléctricos y electrónicos y sus partes, descartados por su propietario como residuo sin la intención de reutilización (UIT, 2015).

Teniendo en cuenta que Colombia ocupa el cuarto puesto en América Latina como generador de RAEE, (El Heraldo, 2015), y la tendencia va hacia su incremento, generando reacciones normativas por parte de los entes gubernamentales, conducentes a la regulación de estas prácticas. A pesar de la existencia de los órganos reguladores de gestión ambiental y las normativas, los impactos no son los esperados ya que no se aplica una política social directa conectada con la responsabilidad social de los consumidores y los productores de tecnología en la reducción de los RAEE y tratamiento en su destino final. Igualmente, hay poca información sobre el tema, por lo que la comunidad desconoce los perjuicios que este comportamiento acarrea para la humanidad.

Entre los RAEE que se generan los hogares del Municipio Pasto, están las neveras, estufas, impresoras, entre otros, generando aproximadamente 11 Toneladas anuales, en la actualidad se observa que los usuarios no saben qué deben hacer con este tipo de enseres una vez terminan su vida útil, estos generalmente terminan inadecuadamente sobre las vías públicas, o en los canales de drenaje pluvial de la ciudad (PGIRS - Alcaldía de Pasto, 2021).

Debido a que el rango de aparatos que está clasificado como RAEE es muy amplio, son muchas las sustancias químicas contenidas en los mismos y éstas van a variar de acuerdo a cada tipo de aparato (Pérez y Arroyo, 2017). La composición de los RAEE, en general, cubre la mayor parte de los elementos existentes e incluye elementos y compuestos químicos muy tóxicos pero que a su vez tienen un valor económico. Dentro de todos estos componentes los de mayor

preocupación, desde el punto de vista medioambiental, son aquellos que contienen metales pesados tales como mercurio, plomo, cadmio, cromo, sustancias halogenadas como clorofluorocarbonos (CFCs), policlorobifenilos (PCBs) y los policloruros de vinilo (PVCs), algún retardador de llama o también amianto y arsénico (Pérez y Arroyo, 2017).

En las empresas u organizaciones dedicadas a la compra y venta chatarra, los RAEE, siempre llegan junto con otro tipo de residuos metálicos, sin embargo, en estas entidades no hay un adecuado control y manipulación de estos residuos ya que no tienen en cuenta los componentes peligrosos que estos poseen. Por lo tanto, se hace necesario buscar alternativas que están encaminadas al aprovechamiento adecuado de estos residuos y además que también se les pueda dar un valor económico con el fin de que puedan reutilizarse en otro tipo de procesos o actividades económicas.

1.1.1. Formulación de la pregunta

¿Cuál opción se presenta como la alternativa más viable para el aprovechamiento de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) producidos en el área urbana del Municipio de San Juan de Pasto?

1.2. Justificación.

Se realizará una búsqueda para evidenciar los sistemas de recolección y gestión de estos RAEE, con el fin de que se pueda formular estrategias que faciliten y optimicen la separación correcta de sus componentes y manejarlos adecuadamente.

En el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto, no se cuenta con un plan de gestión integral de RAEE, lo que ha generado una inadecuada disposición final de este tipo de residuos al no existir lineamientos que regulen un apropiado manejo. Por lo tanto, será necesario e importante plantear una propuesta encaminada hacia la elaboración de un sistema que permita formular criterios que estén encaminados al aprovechamiento de este tipo de residuos. La cual beneficie a las empresas y organizaciones de la red organización en red. (Villegas Arias, 2008)

afirma " consiste en la alianza a largo plazo de clientes y proveedores para la ejecución de tareas que, desde la estructura integrada, acostumbraban a estar bajo el control de una misma organización", involucrando a recicladores pertenecientes a barrios de la ciudad de San Juan de Pasto Nariño y finalizar agrupando las instituciones, y habitantes del casco urbano de la ciudad de Pasto que van a contar con alternativas de aprovechamiento de estos residuos y así a futuro se pueda proponer o realizar una gestión adecuada de los RAEE. Como Beneficiarios Indirectos está la alcaldía, ya que contará con alternativas de aprovechamiento las cuales pueden servir como base para que se pueda proponer un manejo apropiado para la gestión integral de RAEE, así como también las empresas interesadas en participar de esta gestión de RAEE.

En este proyecto de investigación brindara el aporte al cumplimiento de La Ley 1672 del 19 de julio de 2013, debido a qué se tendría en cuenta los lineamientos para la adopción sobre la gestión integral de RAEE, con el fin de qué tenga un manejo diferenciado y así no tengan como disposición final el relleno sanitario. Por otra parte, también establecer sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de este tipo de residuos, de tal manera que se pueda contribuir a la resolución 1297 de 2010. También se va a utilizar como guía al Decreto 1076 de 2015 para caracterizar los residuos RAEE, teniendo en cuenta sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgos, daños o efectos no deseados, directos o indirectos, de tal manera que no se genere afectaciones a la salud humana y el ambiente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Seleccionar alternativas para la reutilización de los RAEE en el casco urbano de San Juan de Pasto.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los diferentes residuos RAEE que se generan en el casco urbano de San Juan de Pasto, a través de información primaria y secundaria.

- Identificar las tendencias actuales para el aprovechamiento de residuos RAEE a través de información secundaria.
- Priorizar alternativas para el aprovechamiento de los RAEE mediante la metodología "matrices para tamizar ideas de Sánchez (2003)".

1.4. Marco referencial o fundamentos teóricos

1.4.1. Antecedentes

Internacionales.

Procedimiento para caracterizar y evaluar los residuos de aparatos (RAEE). Autores. Marcelo E. Venegas Marcel, Andrés Ricardo Navarro Carreño y Evelyn Pamela Alfaro Carrasco.

El trabajo surge a partir del relevamiento de información que permitió evaluar la situación actual de los RAEE en Chile. Identificando los métodos de caracterización en cada material para establecer condiciones, valorizaciones y procedimientos en el manejo adecuado de éstos en pos de la nueva Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP). El resultado obtenido establece un modelo procedimental aplicable a la enseñanza de la ingeniería y el diseño entre otras disciplinas, que permitirá sistematizar la toma de decisiones y la planeación desde una perspectiva ecoeficiente, potenciando de esta forma proyectos de interés tecnológico y económico para el manejo sostenible de los residuos eléctricos y electrónicos.

Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano. Autores. Pascuas Rengifo, Yois; Correa Cruz, Lucelly; Marlés Betancourt, Claritza.

El aumento progresivo en la generación de RAEE en la Unión Europea, es proporcional a la evolución de la tecnología, esto conlleva implicaciones ambientales negativas, dadas por, las necesidades de la sociedad moderna, el consumismo de tecnología y la apropiación incontrolada de materias primas, en el marco del metabolismo urbano. De acuerdo a lo anterior, se proponen alternativas, como por ejemplo la minería urbana y la economía circular, que permitirían mejorar la

eficiencia en el uso de recursos y la reutilización de materiales. Con la recolección, segregación, tratamiento y reciclaje de los RAEE, se contribuiría a bajar la carga contaminante y disminuir la extracción de minerales, acciones a la cual está expuesto el medio ambiente.

Nacionales.

Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque de dinámica de sistemas. Autores. Luz Angélica Rodríguez B. Nicolás González E. Lorena S. Reyes R. Andrés F. Torres R. El mundo evidencia un crecimiento de los RAEE, como consecuencia del continuo avance tecnológico, los precios, que los hacen cada vez más asequibles, y el comportamiento del consumidor. Este artículo presenta un modelo que simula la situación actual del sistema de gestión de residuos para el caso de televisores en Bogotá. Dicho modelo integra variables que describen la problemática y agentes que influyen dentro de la cadena de generación RAEE de televisores. El objetivo del estudio es determinar el comportamiento del sistema teniendo en cuenta diferentes políticas y acciones de los actores involucrados, las cuales se analizan bajo diferentes escenarios.

Desarrollo del diseño de un programa para fomentar y gestionar de manera integral los (RAEE) en el municipio de Cabrera, Cundinamarca. Autores. CAMILO ANDRES DICELIS M; CRISTHIAN FABIAN RODRIGUEZ C.

Esta investigación tuvo por objetivo la formulación de un programa con viabilidad técnica y financiera para los RAEE; generados en el municipio de Cabrera Cundinamarca, basado en las disposiciones establecidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que incluye el diagnóstico, almacenamiento, y disposición de estos residuos; para la prevención, reducción y mitigación de los impactos generados al entorno, integrando principios del derecho ambiental y así tener un desarrollo sustentable y responsable.

Regionales.

Durante la búsqueda de información secundaria no se encuentran investigaciones referentes a los residuos RAEE.

1.4.2 Marco teórico

Residuos Sólidos.

De acuerdo con el Decreto 1713 de 2012, los Residuos Sólidos son aquellos objetos, materiales, sustancias o elementos que resultan del consumo o uso de bienes en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, y que son abandonados, rechazados o entregados por el generador. Algunos de estos residuos sólidos tienen la capacidad de ser aprovechados o transformados en nuevos bienes con valor económico, o bien son destinados a su disposición final. Adicionalmente, los residuos sólidos también incluyen los provenientes del barrido de áreas públicas. Es importante mencionar que los residuos sólidos se clasifican en aprovechables y no aprovechables.

Los residuos sólidos son sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido, desechados por su generador. Se entiende por generador a aquella persona que en razón de sus actividades produce residuos sólidos. Suele considerarse que carecen de valor económico, y se les conoce coloquialmente como “basura” (Zegarra, 2019).

Por otra parte también se define a un residuo como cualquier producto en estado sólido, líquido o gaseoso procedente de un proceso de extracción, transformación o utilización, al que su propietario decide abandonar o desprenderse, debido a que carece de valor para él o ya no puede ser utilizado para el uso que fue adquirido o creado (Mazzeo, 2012).

Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

Los RAEE se definen como aquellos aparatos que se convierten en desechos, es decir, aquellos de los cuales el poseedor decide desprenderse o tiene la intención u obligación de hacerlo (Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012). Los RAEE no solo se limitan a

los aparatos eléctricos y electrónicos en sí, sino que también incluyen todos los materiales, componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte de estos aparatos en el momento en que son desechados, independientemente de si han cumplido o no con su vida útil. (Fernández Protomastro, 2013).

El término RAEE es una abreviación “Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos”, que se le da como denominación para aquellos aparatos dañados, descartados u obsoletos que consumen electricidad. Incluye una amplia gama de aparatos como computadores, equipos electrónicos de consumo, celulares y electrodomésticos que ya no son utilizados por sus usuarios (Lopez, 2017).

Por otra parte también se establece que la composición porcentual de los diversos materiales presentes en los RAEE se encuentran fracciones de cobre, plomo, Mercurio, Oro, Plata, Paladio, Indio, aluminio, Cadmio metales ferrosos, Plásticos bromados, plásticos, vidrio con plomo, vidrio y otro más, sin embargo tal como se muestra en la tabla 1 la cantidad de estos componentes es variable de acuerdo a cada categoría (EMPA, 2016).

Tabla 1

Composición porcentual de materiales presentes en los RAEE

Composición porcentual de materiales presentes en los RAEE			
Material	Grandes electrodomésticos	Pequeños electrodomésticos	TIC y electrónica de consumo
Metal ferroso	43	29	36
Aluminio	14	9,3	5
Cobre	12	17	4
Plomo	1,6	0,57	0,29

Plásticos	19	37	14
Plásticos bromados	0,29	0,75	19
Vidrio	0,017	0,16	0,3
Vidrio con plomo	0	0	16
Cadmio	0,0014	0,0068	0,018
Mercurio	0,000038	0,000018	0,00007
Oro	0,00000067	0,00000061	0,00024
Plata	0,0000077	0,000007	0,0012
Paladio	0,0000003	0,00000024	0,00006
Indio	0	0	0,0005
Otros	10	6,2	5,4
Total	100	100,0	100

Fuente: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology EMPA (2016).

Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

La Gestión Integral de Residuos Sólidos ocupa un lugar primordial dentro de la gestión ambiental, ya que constituye un tema de salud pública que involucra a diferentes autoridades y profesionales de nuestra sociedad. Factores como el aumento de la población, cambios en el estilo de vida y en las formas de producción de los últimos años, han generado un incremento en la producción de residuos sólidos urbanos y como consecuencia de esto una composición cada vez más heterogénea (Marshall & Farahbakhsh, 2013).

La gestión Integral de los residuos sólidos es importante para la planificación y diseños de los sistemas de la Gestión integral de los residuos sólidos en su operatividad y el rendimiento de aspectos técnicos se debe caracterizar los residuos sólidos teniendo en cuenta su cantidad y composición, este proceso se hace a un determinado número de viviendas y usuarios, los cuales deben ser estadísticamente representativos de la población de estudio. Se puede pensar que el sistema de Gestión sea un programa para reducir los residuos, teniendo en cuenta el sistema de recolección y tratamiento (Ríos Hernández, 2009).

La gestión integral de residuos sólidos debe hacerse cumplir de una forma que sea suficientemente flexible como para permitir a los gobiernos municipales que implanten instalaciones de gestión de residuos sólidos acorde con las condiciones locales y la capacidad de pago de los usuarios con el fin de mejorar la gestión. indican que la gestión integral de los residuos sólidos toma en cuenta a los actores que participan en ella, a los propios sistemas de manejo de desechos (recolección, tratamiento, disposición final) (Postand y Baud, 2004).

1.4.3 Marco contextual

El municipio de Pasto se localiza al Suroeste de Colombia, sobre la Cordillera de Los Andes, en el macizo montañoso denominado nudo de los pastos. En su territorio se ubica la ciudad de San Juan de Pasto, capital del Departamento de Nariño y principal centro administrativo, político, cultural y comercial de la región.

El Municipio cuenta con el paso de la vía Panamericana que atraviesa América de norte a sur, la cual, a nivel departamental, se conecta con el corredor intermodal Pacífico Amazónico, en cuyo punto de intersección de estas dos grandes estructuras viales (la segunda en desarrollo) hace pensar en la grandiosa posibilidad que tiene Pasto de proyectarse y comunicarse con el mundo entero.

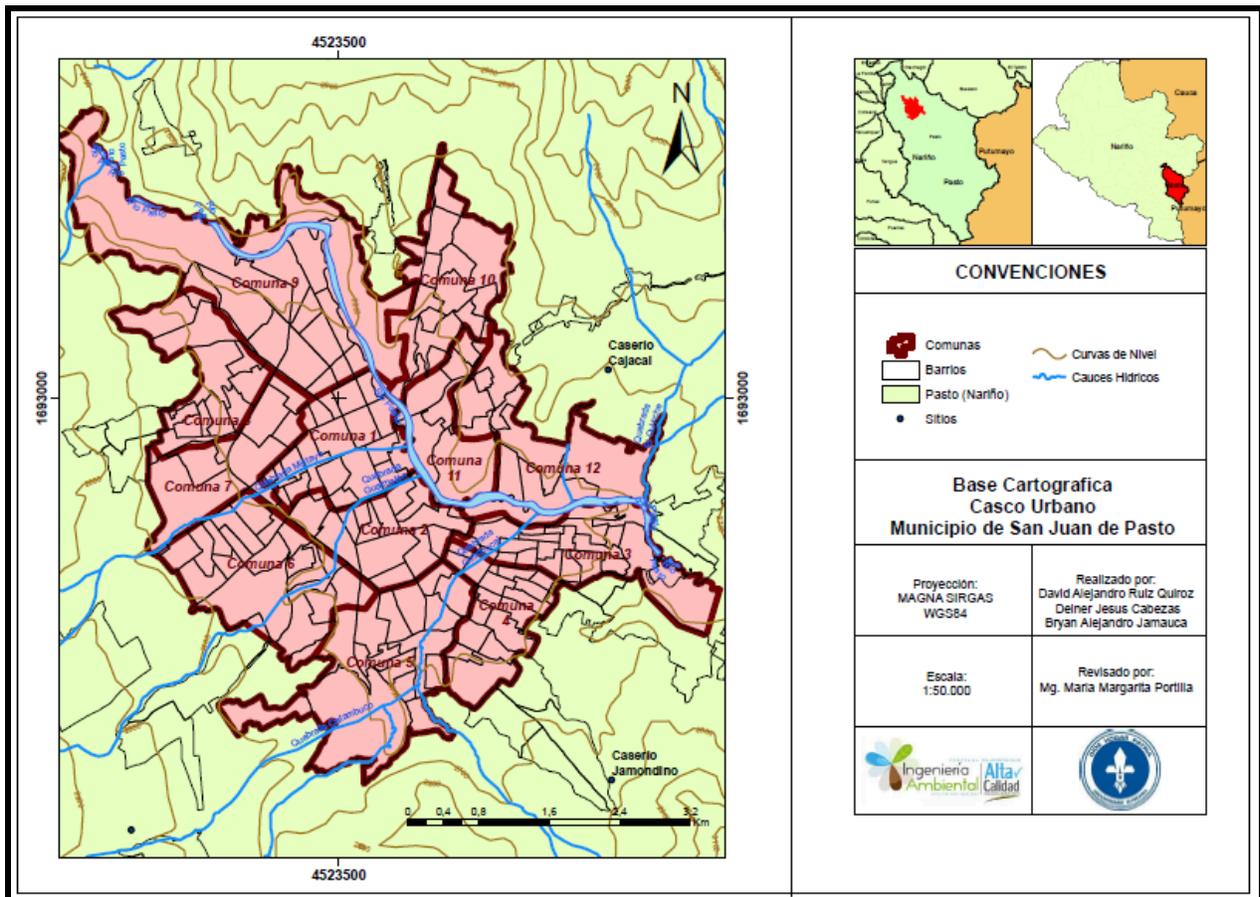
Según el Departamento Nacional de Planeación, tiene una extensión de 113.100 ha, correspondiente al 3,4 por ciento del área departamental; de este territorio, el 2,3 % (2.640 has), corresponde al área urbana y el porcentaje restante, al área rural (110.460 ha) (Alcaldía de Pasto,

2016). La densidad poblacional es de 407,1 hab/ km², lo cual denota su potencialidad natural, ecológica y agraria, que está por aprovecharse y conservar (DNP, 2019).

El área urbana del municipio se divide en 12 comunas y 414 barrios y el área rural en 17 corregimientos (Catambuco, El Encano, Buesaquillo, Mocondino, San Fernando, La Laguna, Genoy, La Caldera, Jongovito, Morasurco, Mapachico, Obonuco, Cabrera, Jamondino, Gualmatán, El Socorro y Santa Bárbara). (PNUD, 2009).

Figura 1

Base cartográfica del municipio de San Juan de Pasto y ubicación del casco urbano



Fuente: Geoportal datos abiertos, IGAC (2021).

1.4.4. Marco legal

En esta investigación se tiene en cuenta como apoyo a La Política Nacional para la Gestión Integral de RAEE la cual es la hoja de ruta hasta el año 2032 que deberán seguir, en un accionar sistémico y coordinado, todos involucrados en la gestión de este tipo de residuos y la sociedad colombiana en general para afrontar la problemática global y local que representa la generación creciente de los mismos y su manejo inadecuado y lo establecido por La Ley 1672 del 19 de julio de 2013 donde se establecen los lineamientos para la adopción de política pública de gestión integral de RAEE generados en el territorio nacional, así como también el manejo diferenciado con el que deben gestionarse de acuerdo con las directrices establecidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Además de prohibir su disposición final en los rellenos sanitarios, para que sean retomados por los productores de aparatos eléctricos y electrónicos, mediante sistemas de recolección y de gestión ambientalmente segura.

Así mismo se tiene en consideración la Resolución 1512 de 2010 la cual establece los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de computadores y periféricos (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Los computadores y periféricos obsoletos al ser considerados como residuos Posconsumo, tanto productores como comerciantes tienen el deber de implementar sistemas de gestión selectiva y gestión ambiental de los residuos de computadores y periféricos. Es decir que deben de tener en cuenta la recolección, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final de estos residuos. En el aprovechamiento ó valoración de los RAEE, los productores y comerciantes deben de tener en cuenta operaciones de reciclaje o recuperación de tal manera que puedan ser destinados con los mismos fines a los que se destinaban originalmente a otros procesos.

En cuanto al aprovechamiento se tiene en cuenta lo determinado en el CONPES 3874 de 2016, el cual se enfoca en el avance hacia la economía circular desde la gestión de los residuos sólidos especiales mediante la valorización de productos y materiales que puedan ser aprovechados y se mantengan durante el mayor tiempo posible en el ciclo productivo y el uso de recursos se reduzca al mínimo.

Bajo el anterior contexto, el desarrollo de esta investigación al estar enfocado en la identificación de técnicas para el aprovechamiento de RAEE enfocadas en el reciclaje y recuperación de elementos, está aportando al desarrollo de la Política Nacional de Gestión de RAEE sobre el adecuado manejo que se les debe dar, así como también al CONPES 3874 al aportar información sobre mecanismos de aprovechamiento de los RAEE de tal manera que puedan reintegrarse en el ciclo económico, reduciendo así la necesidad de recursos naturales y disminuyendo la cantidad de residuos generados. También sobre la sensibilización a los impactos que genera la mala disposición de los RAEE, y así ayudar a una gestión adecuada de estos residuos. Por último, hacer recomendaciones sobre la implementación de programas de recolección y reciclaje de RAEE en diferentes ámbitos.

1.5 Metodología

1.5.1 Campo y Línea de Investigación

El Campo de la presente investigación es Ambiental debido a que se busca indagar sobre la dinámica que hay entre las actividades sociales, económicas y de consumo que estén relacionadas en cuanto al uso de AEE los cuales al terminar su vida útil se convierten en residuos que al no tener una adecuada gestión y disposición final pueden generar impactos negativos sobre el ambiente y la salud de las personas.

1.5.2 Área de la Investigación

El área de la presente investigación es la Gestión Ambiental, debido a que al no haber una adecuado manejo de este tipo de residuos pueden traer consecuencias negativas en el medio ambiente dado a que contienen materiales tóxicos los cuales pueden filtrarse e infiltrarse dentro del suelo y el agua, así como también problemas a la salud al entrar en contacto las personas con los componentes tóxicos presentes en los RAEE. Por lo tanto se hace necesario buscar alternativas que puedan implementarse dentro del contexto local las cuales promuevan la reducción, reutilización y tratamiento adecuado de estos residuos.

1.5.3 Enfoque de la Investigación

Esta investigación es de enfoque mixto, es decir que emerge a partir de los enfoques cualitativo y cuantitativo, dado a que se indaga sobre estrategias de aprovechamiento para los RAEE, así mismo se busca también conocer las cifras en peso sobre estos residuos que se generan en el Casco Urbano del Municipio de San Juan de Pasto.

1.5.4 Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo evaluativa debido a que mediante información secundaria se busca determinar alternativas que sean adecuadas para el manejo y aprovechamiento de los residuos RAEE que se generan en el Casco Urbano del Municipio de San Juan de Pasto.

1.5.5 Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis

La población que se analizó en esta investigación son 15 empresas gestoras de los RAEE ubicadas en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto, de esas 15 empresas 14 son chatarrerías y una empresa gestora es INNOVA, y la muestra corresponde a cinco empresas (cuatro chatarrerías e INNOVA) escogidas por conveniencia, a las cuales se le aplicaron la encuesta para realizar el primer objetivo.

Las cuatro empresas que se seleccionaron para la aplicación de la encuesta fueron las siguientes:

- Depósitos y Bodega del sur Ubicada en la Cll 15 - Cr 7 B - 3 Barrio el progreso.
- Ferre compras la Playa Ubicada en la Cll 12 B # 9-88 Las Lunas.
- Chatarrería Rojas Ubicada Crr 8 N° 12 B - 50 - Barrio El Progreso.
- Comercializadora Depositos Pereira S.A.S Cll 17 #13-38 Barrio Las Lunas.
- INNOVA S.A.S CLL 19 D #43 A - 20 Salida al Norte.

1.5.6 Diseño Metodológico

Teniendo en cuenta que se buscó formular alternativas para la reutilización de los RAEE para el contexto local, en el desarrollo del primer objetivo que es Caracterizar los diferentes RAEE que se generan en el casco urbano de San Juan de Pasto, a través de información primaria y secundaria. Inicialmente se realizó la búsqueda de información de base, sobre los gestores de

RAEE locales, teniendo en cuenta a chatarrerías y la empresa INNOVA S.A.S E.S.P, por lo tanto, se elaboró una encuesta que se implementó en 4 de las 15 chatarrerías locales identificadas las cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Recolectores de RAEE encuestados del Casco Urbano del Municipio de San Juan de Pasto

Recolectores de RAEE en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto			
Nombre del recolector	Dirección	Georreferenciación	Establecimiento
Depósitos y Bodegas del Sur.	Cll 15 - Cr 7 B - 3 Barrio el progreso	1°11'53"N, 77°16'24"W	
Ferrecompras Playa.	La Cll 12 B # 9-88 Barrio Las Lunas	1°11'56"N, 77°16'34"W	
Chatarrería Rojas.	Crr 8 N° 12B - 50 Barrio El Pilar	1°11'49"N, 77°16'34"W	

INNOVA S.A.S.	CII 19 D #43A-20 Salida al Norte	1°14'03.1"N, 77°17'25.2"W	
Comercializadora Depositos Pereira S.A.S.	CII 17 #13-38 Barrio Las Lunas	1°12'13.6"N, 77°16'28.4"W	

En una segunda fase se implementó una encuesta semiestructurada como instrumento de recolección de información primaria, tuvo como objetivo realizar una estimación y caracterización de los RAEE que se generan a nivel local. Dentro de la encuesta se plantearon las preguntas que se observan en la tabla 3, estas se dividieron en categorías de acuerdo a la información que se buscó obtener para este fin.

Tabla 3

Estructura de la encuesta

Preguntas de la encuesta para la recolección de información primaria		
Categoría	No.	Preguntas
Razón social de la empresa	1	¿A qué se dedica la empresa?
Conocimiento de los RAEE	2	¿Conoce sobre los RAEE?
	3	Al punto de chatarrización ¿qué tipo de RAEE llega al acopio?
Caracterización de los	4	Si su respuesta es otro tipo de RAEE, mencionarlos

RAEE	5	¿Cuál es el peso aproximado de RAEE que llega al punto de recolección en el mes?
Precio de venta de los RAEE	6	¿Cuál es el valor de pago por cada kilogramo de RAEE?
Disposición y acopio de los RAEE	7	¿Cómo se realiza el acopio de los RAEE, al momento de ser depositados en el punto de chatarrización?
	8	¿Qué hace con los RAEE?
Frecuencia de la llegada de RAEE en el punto de acopio	9	Si los RAEE los comercializan, ¿qué tipo de entidades, empresas o personas los compran y para qué?
	10	¿Cuál es la frecuencia semanal con la que llegan los RAEE al punto de chatarrización?
	12	¿Si la respuesta es afirmativa describa el proceso de desmantelamiento?
Entidades que llevan los RAEE a las empresas	13	¿Qué tipo de personas o entidades llegan a vender o depositar los RAEE?
	11	¿Cuando los RAEE llegan al punto de chatarrización se les hace un proceso de desmantelamiento?

También se realizó una revisión de documentos locales, como plan de desarrollo, el plan de gestión de residuos sólidos (PGIRS), para obtener información secundaria de la generación de RAEE a nivel local.

Con la recopilación de información primaria y secundaria, se cuantificó la cantidad de RAEE que llegan a los puntos de acopio, tanto en las chatarrerías como en la empresa INNOVA S.A.S.

Además, se llevó a cabo la caracterización de los RAEE de origen doméstico y comercial generados a nivel local.

Para el segundo objetivo, el cual es identificar las tendencias actuales para el aprovechamiento de RAEE a través de información secundaria. Inicialmente se consultaron un total de 50 trabajos de investigación relacionados con el aprovechamiento de estos residuos los cuales fueron recopilados como evidencia en una hoja de Excel denominada "Revisión sistemática de información para el aprovechamiento de RAEE" tal como se presenta en el Apéndice B.

De los 50 artículos, mediante la metodología PRISMA como se observa en la figura 3, la cual consiste en seleccionar los artículos más convenientes o de interés para una investigación, se logró determinar que diez de estas opciones fueron las más convenientes por tanto esta son detalladas y explicadas en la tabla 3 de análisis y discusión del segundo objetivo.

Para la búsqueda de los artículos de investigación relacionados al aprovechamiento de los RAEE se tuvo en cuenta las siguientes bases bibliográficas las cuales contienen artículos en inglés y español, cabe destacar que estos artículos se buscaron desde el año 2010 hasta la fecha actual:

Google Scholar: 25 artículos

Scielo: 13 artículos

Sciadirect: 8 artículos

Scopus: 4 artículos

Así mismo en estas bases bibliográficas se utilizó los siguientes criterios o palabras clave de búsqueda:

Economía Circular de RAEE.

E – waste.

Reciclaje de RAEE.

Aprovechamiento de RAEE.

Explotation E – waste.

Recuperación de RAEE.

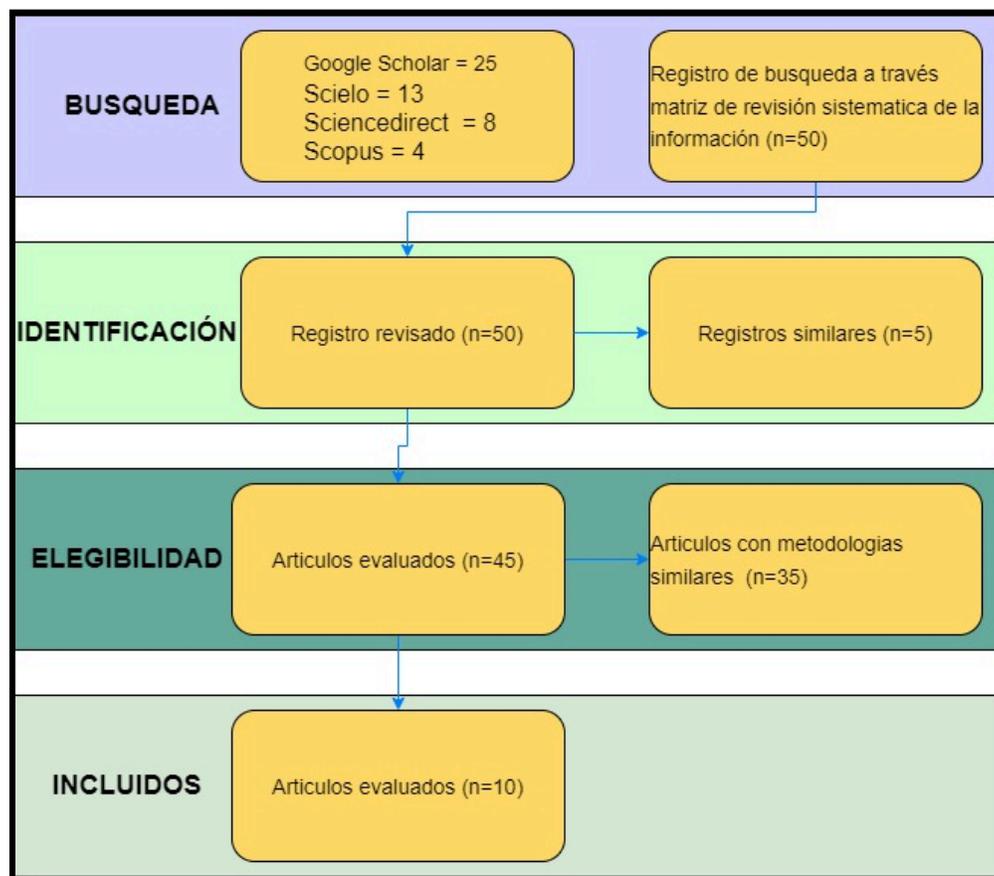
Valoración de RAEE.

Minería urbana de RAEE.

De los artículos examinados, se identificó que 35 de ellos compartían metodologías similares para el aprovechamiento de los RAEE, mientras que otros 5 presentaban enfoques a escala de laboratorio. En consecuencia, estos últimos podrían no ser fácilmente aplicables en el contexto local. Como resultado, se seleccionaron únicamente 10 artículos cuyas metodologías se consideran viables para su implementación en el ámbito local.

Figura 2

Metodología PRISMA para evaluación de artículos científicos



Para el tercer objetivo se utilizó el Método de Matrices para Tamizar Ideas propuesto por Sánchez, Este método implica la evaluación selectiva de un conjunto de opciones en función de su evaluación. Este proceso se despliega en dos fases (Sanchez, 2003):

En la fase inicial, se establecen los criterios de atraktividad y posteriormente los de Viabilidad . A cada uno de estos estándares se les atribuye un valor ponderado único. La suma total de los valores asignados a todos los estándares es igual a 10. Cabe destacar que la viabilidad de una idea es la capacidad potencial para ser llevada a cabo. De manera similar, la atraktividad de una idea se refiere a su capacidad inherente para despertar el interés y la participación de las personas involucradas (p.200).

Posteriormente, se otorga una calificación en un rango del 1 al 10 a cada alternativa en relación con todos los criterios establecidos. Es decir, se coloca una marca (X) en cada una de las celdas que abarcan del 1 al 10 en cada fila. Luego, se realiza la multiplicación del valor ponderado por la puntuación correspondiente. Por último, se efectúa la suma de todos los productos derivados tanto para los criterios de viabilidad como para los criterios de atraktividad (p.200).

La segunda etapa se realiza sobre una matriz, graficando en ésta las sumas obtenidas en el paso anterior. Los dos grupos de criterios son la viabilidad y la atraktividad. Los dos ejes tienen valores de 10 a 100 y lo que se pretende es clasificar las alternativas en “muy buenas”, “buenas”, “dudosas”, “pobres” y “malas”, de acuerdo con las calificaciones obtenidas de viabilidad y atraktividad (p.200).

2. Presentación, análisis y discusión de resultados

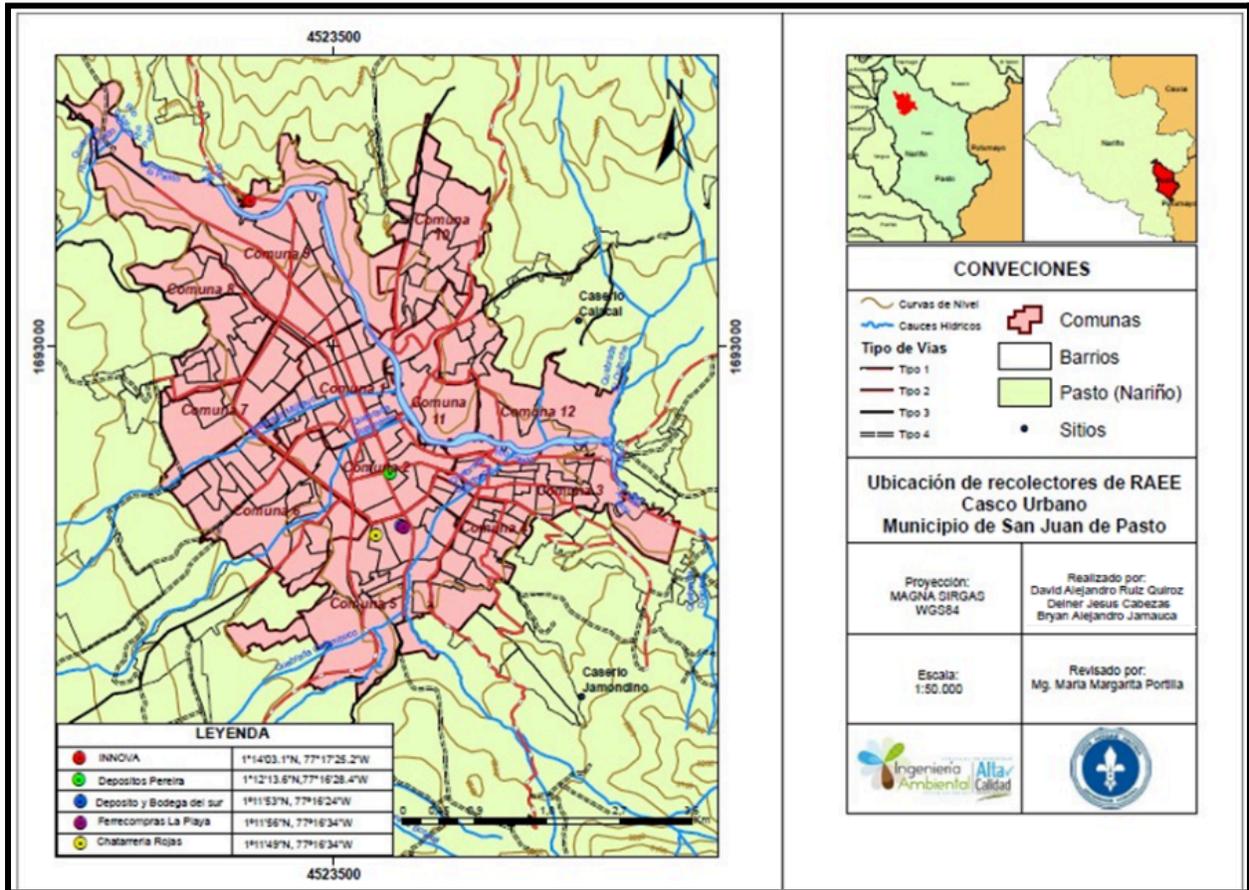
2.1 Caracterizar los diferentes RAEE que se generan en el casco urbano de San Juan de Pasto a través de información primaria y secundaria

Para el desarrollo del primer objetivo se realizó una búsqueda de todos los recicladores de RAEE, de las cuales se encontraron 15 chatarrerías las cuales fueron visitadas por el grupo para poder realizar la entrevista, de todas estas, accedieron únicamente cuatro a realizar la encuesta, sin embargo, la información recolectada fue representativa ya que de todas las chatarrerías encontradas en el casco urbano de San Juan de Pasto las cuatro representan aproximadamente el 30%. Las chatarrerías y una empresa gestora (INNOVA) dedicadas a la recolección de RAEE que aportaron con la aplicación de la encuesta fueron las que se presentan en la tabla 2 de la metodología.

De los recolectores encuestados, se encontró que la mayoría de los recolectores de RAEE, se encuentran ubicados en la comuna 5, específicamente en los barrios tales como El Estadio, Las Lunas, Potrerillo y El Pilar; mientras que la gestora de RAEE Innovación Ambiental (INNOVA) sede Pasto se encuentra ubicada en el sector de la salida al Norte, En el Mapa del casco urbano del municipio de San Juan de Pasto de la Figura 2 se encuentra la localización de cada uno de los recolectores RAEE a los cuales se les aplicó la encuesta.

Figura 3

Ubicación de recolectores de RAEE en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto



Fuente: Geoportal datos abiertos, IGAC (2021).

2.1.1. Caracterización de los RAEE

Teniendo en cuenta la Matriz de relaciones de las categorías de análisis de la encuesta aplicada a las diferentes chatarrerías dedicadas a la recolección y el reciclaje de metales ferrosos, en todas estas organizaciones, tal como se muestra en la figura 4 se dedican a recibir todo tipo de RAEE grande, mediano y pequeño volumen, y principalmente muchos componentes de computadores como Tarjetas electrónicas, discos duros y memorias RAM, de los cuales son a los que más les sacan provecho en el momento de re venderlas. En cuanto a los precios estos varían de acuerdo al peso de los componentes como también al tipo de material variando entre los 900\$ a los 80.000\$ pesos.

Figura 4

RAEE en las chatarrerías de San Juan de Pasto



Las cantidad de residuos reportados por las empresas de chatarrización locales están en los rangos de 2 a 3 Toneladas mensuales, sin embargo esta estimación no es exacta dado a que las empresas al momento de realizar la recepción de este tipo residuos no llevan un registro de la cantidad dado a que ellos reciben los residuos en conjunto con otro tipo de residuos chatarra, así mismo por parte del gestor RAEE no reportó información sobre la cantidad de recolección dado a que esta información la manejan de manera confidencial, por este motivo los involucrados en el momento de la encuesta realizaron una estimación general de todos los RAEE que ellos reciben mensualmente.

En una tonelada de desechos electrónicos se puede hallar hasta 0,3 toneladas de metales ferrosos, y 0,5 toneladas de metales no ferrosos cuyo valor actual en el mercado mundial es de alrededor de \$1,431,000. La proporción de metales preciosos presentes en los desechos electrónicos es significativa; se estima que de los 230 millones de computadoras y mil millones de teléfonos celulares vendidos en 2015, las cantidades aproximadas de metales ferrosos y no ferrosos pueden alcanzar las 70 toneladas y 535 toneladas, respectivamente (Soderstrom, 2018).

2.1.2. Categorización de los RAEE

De acuerdo a la última categorización de los RAEE, La Unión Europea en la Directiva 2012/19/CE clasifica los RAEE en seis categorías de acuerdo al tamaño de la siguiente manera: grandes y pequeños aparatos de intercambio de calor, aparatos de las TIC, monitores, pantallas y lámparas. En la Tabla 4 se presentan estas seis categorías determinadas desde la gestión del residuo RAEE (Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea, 2012).

Tabla 4

Categorización de los RAEE en la UE según la directiva RAEE de 2012

Categorías	Aparatos eléctricos y electrónicos considerados en la categoría	Clasificación común	
1	Aparatos de intercambio de temperatura	de Neveras, congeladores, aparatos que suministran automáticamente productos fríos, aparatos de aire acondicionado, equipos de deshumidificación, bombas de calor, radiadores de aceite y otros aparatos de intercambio de temperatura que utilicen fluidos diferentes al agua.	Grandes electrodomésticos (únicamente de refrigeración y calefacción).
2	Monitores, pantallas, aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm ³	Pantallas, televisores, marcos digitales para fotos con tecnología LCD, monitores, computadores portátiles, y tabletas.	Equipos de informática y telecomunicaciones (únicamente equipos de informática con pantallas de tamaño superior a 100 cm ²).
3	Lámparas	Lámparas fluorescentes rectas, fluorescentes compactas y fluorescentes;	Aparatos de alumbrado excepto las luminarias.

		lámparas de descarga de alta intensidad, incluidas las de sodio de presión y las de haluros metálicos; lámparas de sodio de baja presión y lámparas LED
4	Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm)	Lavadoras, secadoras, lavavajillas, cocinas, hornos eléctricos, hornillos eléctricos, placas de calor eléctricas, luminarias; aparatos de reproducción de sonido o imagen, grandes ordenadores, grandes impresoras, copiadoras, grandes máquinas tragamonedas, productos sanitarios de grandes dimensiones, grandes instrumentos de vigilancia y control, grandes aparatos que suministran productos y dinero automáticamente, paneles fotovoltaicos.
5	Pequeños aparatos (Sin ninguna dimensión exterior superior a 50 cm)	Aspiradoras, máquinas de coser, luminarias, hornos microondas, aparatos de ventilación, planchas, tostadoras, cuchillos eléctricos, hervidores eléctricos, relojes, maquinillas de afeitar eléctricas, básculas, aparatos para el cuidado del pelo y el cuerpo, calculadoras, aparatos de radio, videocámaras, aparatos de grabación de vídeo, instrumentos musicales, aparatos de reproducción de sonido o imagen, juguetes eléctricos y electrónicos, artículos deportivos, ordenadores para practicar ciclismo, submarinismo, carreras, remo, etc., detectores de humo, reguladores de

calefacción, termostatos, pequeñas herramientas eléctricas y electrónicas, pequeños productos sanitarios, pequeños instrumentos de vigilancia y control, pequeños aparatos que suministran productos automáticamente, pequeños aparatos con paneles fotovoltaicos integrados.

6	Aparatos de informática y de telecomunicación es pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)	de Teléfonos móviles, GPS, calculadoras de bolsillo, encaminadores, ordenadores personales, impresoras, teléfonos.	Equipos de informática y telecomunicaciones (con pantalla menor a 100 cm ² o dimensión exterior menor a 50 cm).
---	--	--	--

Fuente: Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2012), adaptación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado sobre los tipos de RAEE que reciben en las chatarrerías, de acuerdo a la categorización de los RAEE de la Unión Europea son 5 las categorías que más se reciben, las cuales son:

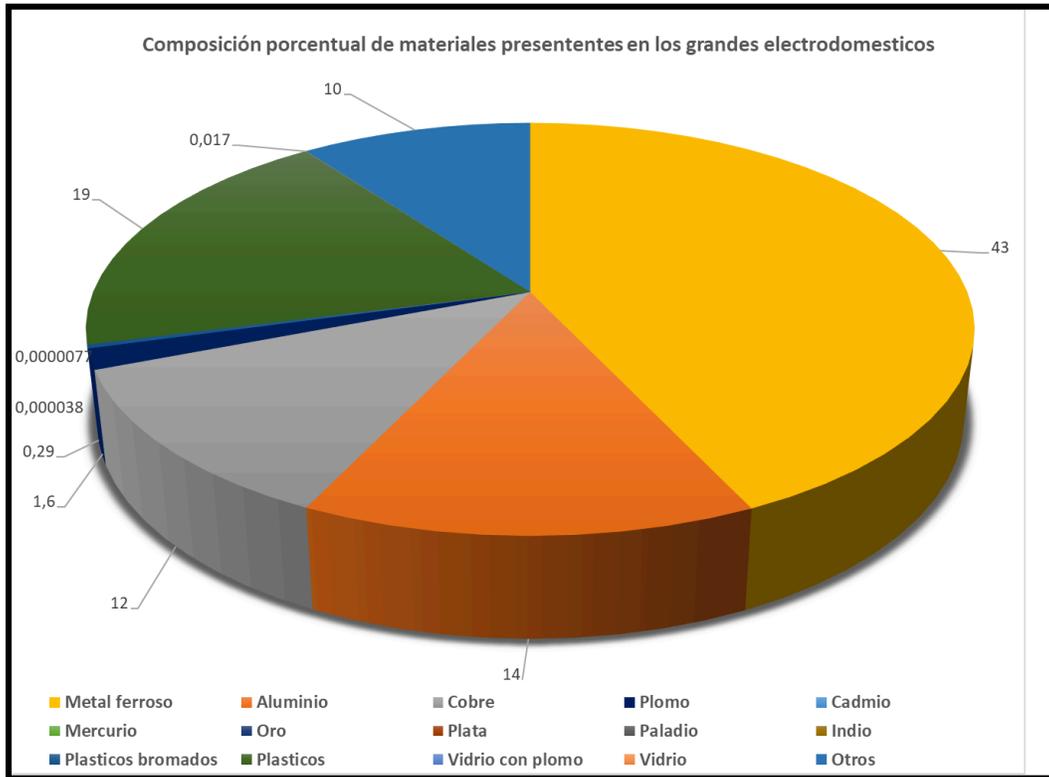
- Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)
- Aparatos de informática y de telecomunicaciones pequeños (sin ninguna dimensión exterior superior a los 50 cm)
- Monitores, pantallas, y aparatos con pantallas de superficie superior a los 100 cm²
- Grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm)
- Aparatos de intercambio de temperatura.

De acuerdo a la tabla 1 sobre la composición porcentual de materiales presentes en los RAEE, dentro de las tres categorías los componentes que se encuentran en mayor proporción son los metales ferrosos como el acero inoxidable, el hierro fundido, el hierro forjado, entre otros, así mismo están los metales no ferrosos como el aluminio, el cobre, metales preciosos como la plata el oro, el platino, el paladio y finalmente los plásticos. Dentro de los metales ferrosos el hierro y el acero componen aproximadamente el 50% de los RAEE, seguidamente los plásticos en un 21% los metales no ferrosos en un 13% y finalmente otros componentes en un 16% (United Nations Environmental Programme, 2014).

Dentro de la categoría de grandes electrodomésticos se encuentran los aparatos de intercambio de temperatura y los grandes aparatos (con una dimensión exterior superior a 50 cm), de acuerdo a la figura 5, en esta categoría de RAEE, estos están compuestos principalmente de metales ferrosos en un 43%, y de metales no ferrosos como el aluminio en un 14% y el cobre en un 12%. Como se mencionó anteriormente en la Tabla 3 en los aparatos de intercambio de temperatura se encuentran todas las clases de refrigeradores y congeladores, estos RAEE se componen mayoritariamente de metales ferrosos, metales no ferrosos (latón, cobre, aluminio etc) y de plásticos. (Guía para el desensamble manual de refrigeradores y aires acondicionados GIZ Proklima, Ministerio de Ambiente, 2017, P. 18)

Figura 5

Composición porcentual de materiales presentes en los grandes electrodomésticos

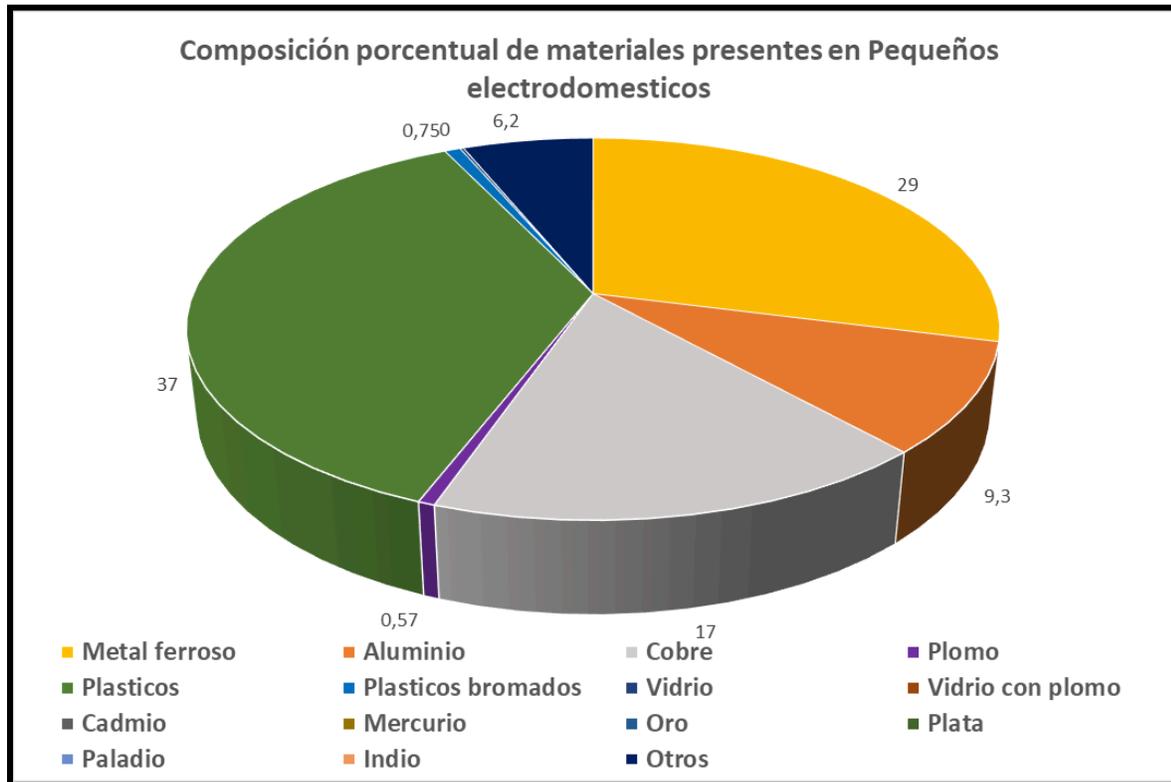


Fuente: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology EMPA (2016).

La categoría de pequeños electrodomésticos se encuentran aquellos electrodomésticos menores que son utilizados en cocinas, así como también para el cuidado personal, de acuerdo a la figura 6, la composición de materiales en este tipo de RAEE están compuestos en un 29% de metales ferrosos, en un 26,3% en metales no ferrosos, y en un 37% en plásticos.

Figura 6

Composición porcentual de materiales presentes en pequeños electrodomésticos

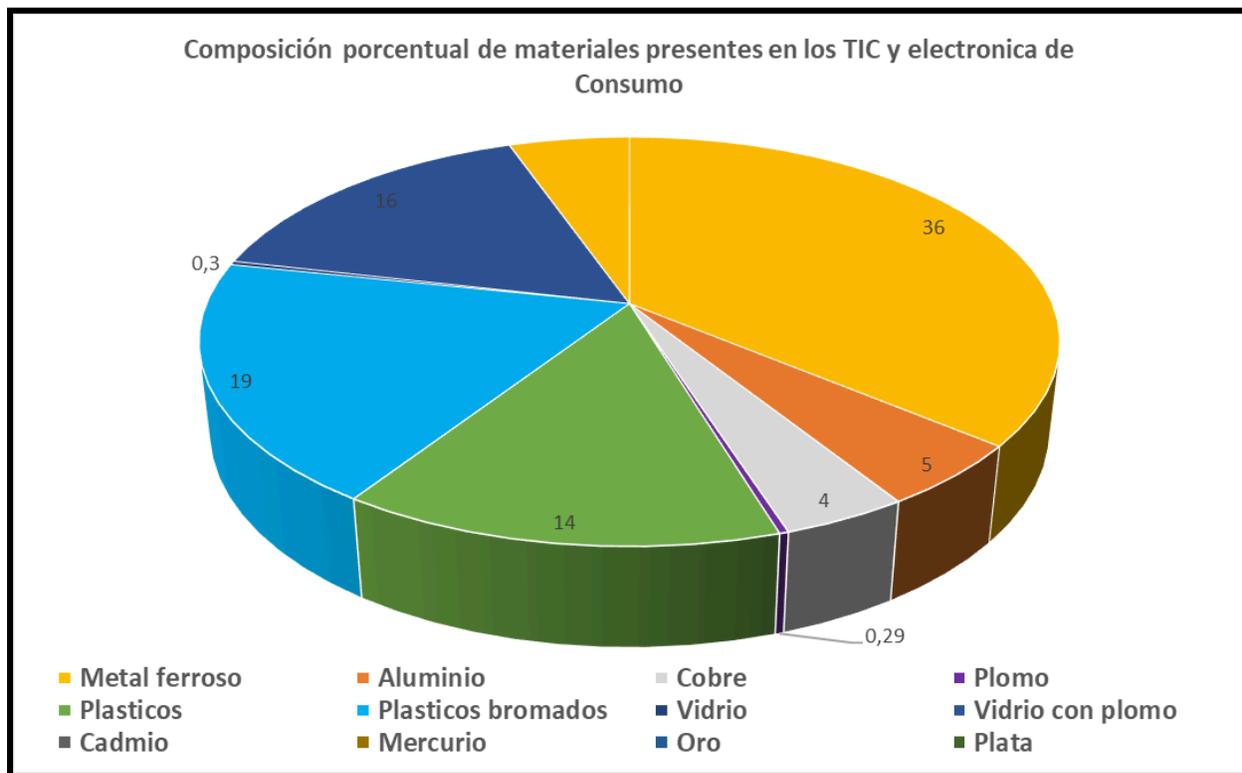


Fuente: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology EMPA, (2016).

En la categoría de equipos y aparatos de la gama de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), se encuentran los computadores, impresoras, copiadoras, celulares y periféricos, de acuerdo a la figura 7 estos tipos de RAEE están compuestos mayoritariamente por un 36% de metales ferrosos, en un 9% de metales no ferrosos y en un 16% compuestos de plástico.

Figura 7

Composición porcentual de materiales presentes en los TIC y electrónica de consumo



Fuente: Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA), (2016)

En relación con la disposición y aprovechamiento de los RAEE, en todos los sitios se lleva a cabo el proceso de recepción, clasificación, limpieza y desarme de los dispositivos. Esta operación tiene como objetivo separar y recuperar componentes aprovechables, especialmente los ferrosos y no ferrosos, que posteriormente se comercializan. Sin embargo, se observa que algunas partes de los RAEE obsoletos, como los componentes plásticos, son de escaso valor y, por lo tanto, son descartados.

La composición de los RAEE es sumamente diversa, con la presencia de más de 1.000 sustancias diferentes clasificadas como "no peligrosas" y "peligrosas". Los componentes potencialmente peligrosos representan aproximadamente el 3 % del total de la composición de los RAEE (Greenpeace, 2011). De manera general, estos residuos contienen metales ferrosos y no ferrosos, plásticos, vidrio, madera, tarjetas de circuito impreso, cerámica, caucho y otros

materiales. El hierro y el acero constituyen aproximadamente el 50 % de los RAEE, seguidos por los plásticos (21 %) y los metales no ferrosos (13 %) y otros constituyentes. Los metales no ferrosos consisten en metales como el cobre, el aluminio y metales preciosos como la plata, el oro, el platino y el paladio (United Nations Environmental Programme, 2015).

En Colombia, la dinámica de la gestión informal de RAEE carece de estudios exhaustivos. No obstante, investigaciones disponibles sugieren que, en el ámbito domiciliario y ante la ausencia de sistemas formales de recolección, la disposición de terceros a remunerar a los usuarios por sus residuos está indirectamente contribuyendo al desarrollo del sector informal dedicado al aprovechamiento de los RAEE (Programa Seco/Empa sobre la gestión de RAEE en América Latina, 2014). Según este mismo estudio, en el año 2012 el sector informal se responsabilizó del 14% del total de computadoras desechadas, encargándose de su recolección, desmontaje y comercialización. Sin embargo, la información detallada sobre el flujo de componentes económicos es limitada. De acuerdo a la política nacional de los RAEE los componentes ferrosos y no ferrosos presentes en una fracción de los materiales recogidos o desensamblados por los recuperadores informales llega hasta gestores formales o continúa la cadena del manejo informal en las llamadas “chatarrerías”. Reconociendo la posible efectividad del sector informal de llegar directamente al usuario y recoger los residuos generados.

2.1.2. Disposición y acopio de los RAEE

Durante las visitas a las chatarrerías, se identificó una deficiencia en el manejo de estos residuos, ya que no se lleva a cabo su recepción ni separación de manera adecuada. Es evidente que existe una falta de atención a la gestión de los componentes plásticos, los cuales son desechados sin un proceso de aprovechamiento. Este hallazgo destaca la necesidad de mejorar las prácticas de manejo de residuos en estos sitios, asegurando una disposición más responsable y sostenible de los elementos no aprovechables de los RAEE.

En cuanto a las tarjetas electrónicas, memorias RAM y discos duros estos se venden sin ningún proceso de desmantelamiento, debido que las entidades o empresas que les compran a las chatarrerías, estos los utilizan para obtener coltán y algunas siderúrgicas para la fundición del cobre y otros metales, de todo esto las chatarrerías entrevistadas informaron verbalmente que

todos estos materiales producidos por las empresas, muchos de estos se los exporta hacia otros países. El estudio de Valorización de residuos electrónicos de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) destaca la importancia de la valorización de los RAEE para reducir el impacto ambiental y promover la economía circular. El informe también señala la necesidad de fortalecer las políticas y regulaciones para garantizar una gestión adecuada de los RAEE. De acuerdo a los datos recolectados en las encuestas llevadas a cabo en las empresas de chatarra electrónicas de la ciudad de San Juan de Pasto se establece un gran aporte a la recuperación de materiales ya sean dentro de las categorías de pequeño, mediano, grandes los cuales son necesarios para ser reutilizables como materia prima en nuevos procesos.

En la empresa de gestión Ambiental Innovación Ambiental (INNOVA S.A.S), la recolección de los RAEE se hace dentro del casco urbano del municipio de San Juan de Pasto, lo realizan mediante puntos de recolección en eventos o zonas públicas de la ciudad, así como también mediante la recolección que realiza la empresa de aseo EMAS, la cual se encarga de recepcionarlos y posteriormente a esto se los llevan a la empresa INNOVA para que haga la disposición final a estos residuos. Una vez realizan la recolección de los RAEE son ingresados al punto de acopio donde los almacenan en tres estaciones separadas:

- (1). Estación de almacenamiento de pilas, baterías y acumuladores.
- (2). Estación de almacenamiento de equipos de iluminación.
- (3) Estación de almacenamiento de RAEE.

Estos residuos antes de su acopio y apilamiento deben estar completamente embalados y etiquetados como lo especifica la autoridad ambiental y la legislación, para luego ser trasladados a la central de acopio para luego hacer los procesos de desmantelamiento y extracción de los componentes de los RAEE. Es importante reconocer que el tratamiento (Clasificación, segregación, trituración, aprovechamiento y/o remanufactura) de los diferentes RAEE, sólo está autorizado para empresas que cuentan con licencia ambiental. Y que cualquier negocio que en su informalidad adelante esta actividad, sin previa licencia y permisos necesarios, puede ser sancionado y denunciado ante las autoridades competentes. Ya que su tratamiento es peligroso para la salud humana y el ambiente (Decreto 4741 del 2005).

En INNOVA se busca que todos los materiales productos de una gestión integral, puedan convertirse en materias primas listas para su circularidad en los ciclos productivos de grandes industrias.

Según la Política Nacional de RAEE, los recuperadores informales se encargan de recolectar todo tipo de dispositivos eléctricos y electrónicos, así como sus componentes, ya sea recogéndolos de las calles o transportándolos en carretillas. Estos recuperadores llevan los RAEE a empresas especializadas en el reciclaje de metales, las cuales han encontrado en estos residuos una fuente adicional de suministro de materiales. Dichas empresas compran los materiales recuperados a los pequeños recicladores o adquieren directamente materiales de RAEE mediante diversas modalidades como venta directa de chatarra, compra de chatarra a instituciones, hogares, personas naturales, donaciones, entre otras.

Los consumidores tienden a entregar los RAEE al sector informal o a desecharlos junto con la basura doméstica debido a varias razones. En primer lugar, existe un desconocimiento generalizado sobre la necesidad de un manejo diferenciado de los RAEE y sobre la existencia de sistemas formales de recolección y gestión de estos residuos. Además, la falta de conciencia acerca de la importancia de una gestión formal y adecuada contribuye a esta práctica. También, la ausencia de facilidades para la devolución de RAEE juega un papel crucial, ya que la escasez de puntos de recolección cercanos y la falta de mecanismos de logística inversa que conecten directamente a los consumidores con los productores dificultan el retorno efectivo de estos dispositivos.

Es evidente que la actividad de los recuperadores informales, centrada únicamente en aprovechar la parte valiosa de los RAEE y descartar otras fracciones sin un control ambiental adecuado, ocasiona un impacto negativo tanto en el medio ambiente como en la salud de las personas expuestas a sustancias o componentes peligrosos, como se mencionó anteriormente.

Tabla 5

Matriz de relaciones entre categorías de análisis de la encuesta aplicada

Categoría.	Participantes.		
	Chatarrería Rojas.	Depósito y Bodega del Sur.	Ferrecompras La Playa.
Razón Social de la Empresa.	1. Reciclaje.	1. Recolección de materiales ferrosos y no ferrosos. Para el ayuda al medio ambiente.	1. Recuperación de metales y materiales varios (reciclaje).
Conocimiento de los RAEE.	2. Si	2. Si	2. Si
	3. Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)	3. Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)	3. Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)
Caracterización de los RAEE.	3. Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (hornos, microondas, computadores, de escritorio, planchas, impresoras, monitores.	3. Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (hornos, microondas, computadores, de escritorio, planchas, impresoras, monitores.	3. Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (hornos, microondas, computadores, de escritorio, planchas, impresoras, monitores.

	4.	Aparatos electrónicos y eléctricos pequeños (celulares, periféricos, cables, batería, computadores portátiles, tabletas)	4. Aparatos electrónicos y eléctricos pequeños (celulares, periféricos, cables, batería, computadores portátiles, tabletas)	4. Aparatos electrónicos y eléctricos pequeños (celulares, periféricos, cables, batería, computadores portátiles, tabletas)
	5.	Tarjetas electrónicas - memorias RAM - Televisores	5. Discos Duros, Memorias RAM, Tarjetas electrónicas	5. Tarjetas Electrónicas
	6.	20 a 30 kg aproximados	6. Aproximadamente de 2 Toneladas a 3 Toneladas al mes.	6. más o menos 3 toneladas.
Precio de venta RAEE.	7.	Memorias Tarjetas madre \$ 15.000, celulares \$30.000	7. Depende de la calidad y categoría del producto.	7. Los precios varían entre 900 y 20.000 pesos
	8.	Se recibe el material y se produce a desarmar la chatarra electrónica de lo que es el plástico que tienen distintos	8. Cuando los productos llegan al depósito se realiza un proceso básico de separación, almacenamiento y selección del producto hasta la hora de envío.	8. Se extraen las tarjetas de las CPU, portátiles, celulares etc. a los computadores antiguos se les extrae el cobre y el resto de componentes desechados

	procesos de reciclaje		
Disposición y acopio de los RAEE.	9. Se desarman se guardan y en cierta cantidad reunida se venden	9. Proceso básico de limpieza y separación de distintos materiales.	9. Limpieza y separación de los componentes obsoletos
	10. Ecofuturo, Proceso y aprovechamiento del coltán	10. Entidades privadas y las cuales algunas hacen su proceso de fabricación y otra para exportación.	10. Los compran las siderurgias para la fundición y reutilización de estos materiales y algunos son exportados por estas
	12. Si	12. Si.	12. Si
	13. Se separa tarjetas y dispositivos de lo que es el plástico y metal que tienen un proceso distinto de reciclaje se sacan tuercas y tornillos	13. Separación de tarjetas y plásticos de diferentes dispositivos.	13. Se separan las tarjetas electrónicas de la chatarra y/o si es plástico se desechan en componentes que no son reutilizables.
Frecuencia de la llegada de RAEE al punto de acopio.	11. Diariamente	11. Diariamente	11. Diariamente

Entidades que llevan los RAEE a las empresas.	14. Empresas públicas.	14. Empresas públicas.	14. Empresas públicas.
	14. Empresas privadas.	14. Empresas privadas.	14. Empresas privadas.
	14. Personas dedicadas a la recolección.	14. Personas dedicadas a la recolección.	14. Personas dedicadas a la recolección.
	14. Instituciones educativas.	14. Instituciones educativas.	14. Instituciones educativas.
	14. Personas particulares.	14. Personas particulares.	14. Personas particulares.

Categoría.	Participantes.	
	Comercializadora Pereira S.A.S.	Depósitos Innovación Ambiental – INNOVA S.A.S. E.S.P.
Razón Social de la Empresa.	1. Comercialización de Metales	1. Empresa de servicios públicos legalmente constituida y autorizada bajo licencia ambiental para el manejo y tratamiento adecuado de sustancias y mercancías peligrosas, excedentes industriales y residuos posconsumo: RAEE, Pilas, Baterías y Equipo de Iluminación.
Conocimiento de los RAEE.	2. Si	2. Si

Caracterización de RAEE.	3. Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)	3. Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)
	4. Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (hornos, microondas, computadores, de escritorio, planchas, impresoras, monitores.	3. Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (hornos, microondas, computadores, de escritorio, planchas, impresoras, monitores.
	5. Aparatos electrónicos y eléctricos pequeños (celulares, periféricos, cables, batería, computadores portátiles, tabletas	4. Aparatos electrónicos y eléctricos pequeños (celulares, periféricos, cables, batería, computadores portátiles, tabletas
	5. 1.5000 Kg - 2.500 Kg	<p>5.</p> <p>Excedentes Industriales: Equipos y dispositivos biomédicos, equipos y máquinas de centrales eléctricas, equipos de metales pesados.</p> <p>Pilas, Baterías y Acumuladores: Todo tipo de pilas, baterías y acumuladores utilizados en movilidad eléctrica, en dispositivos y equipos electrónicos residencial e industrial y para el transporte convencional.</p>
	6. 1.5000 Kg - 2.500 Kg	6. Confidencial

Precio de venta RAEE.	de 7. Los precios varían de acuerdo al tipo de material y el peso.	7. Confidencial
------------------------------	---	------------------------

Disposición y acopio de los RAEE.

8. Acopio en Bodegas generales

8. Una vez los residuos ingresan en nuestros centros de acopio existen estaciones de almacenamiento según su tipo. Para el centro de acopio de Pasto los residuos se almacenan en tres estaciones separadas: (1). Estación de almacenamiento de pilas, baterías y acumuladores. (2).

Estación de almacenamiento de equipos de iluminación. (3) Estación de almacenamiento de RAEE.

Estos residuos antes de su acopio y apilamiento deben estar completamente embalados y etiquetados como lo especifica la autoridad ambiental y la legislación.

9. Se resguardan y en cierta cantidad reunida se venden

9. Es importante reconocer que el tratamiento (Clasificación, despiece, segregación, trituración, aprovechamiento y/o remanufactura) de los diferentes

residuos eléctricos y electrónicos sólo está autorizado para empresas que cuentan con licencia ambiental. Y que cualquier negocio que en su informalidad adelante esta actividad, sin previa licencia y permisos necesarios, puede ser sancionado y denunciado ante las autoridades competentes. Ya que su tratamiento es peligroso para la salud humana y el ambiente. [Decreto 4741 del 2005].

En INNOVA nos dedicamos a la economía circular y buscamos continuamente que todos los materiales productos de una gestión integral, puedan convertirse en materias primas listas para su circularidad en los ciclos productivos de grandes industrias.

10. Siderúrgicas	10. Confidencial
12. No	12. Si.
13.	13. Separación de tarjetas y plásticos de diferentes dispositivos.
Frecuencia de la llegada de 11. Diariamente	11. 4 veces por semana

RAEE al punto de acopio.	14. Empresas públicas.	14. Empresas públicas.
	14. Empresas privadas.	14. Empresas privadas.
Entidades que llevan los RAEE a las empresas.	14. Personas dedicadas a la recolección.	14. Personas dedicadas a la recolección.
	14. Instituciones educativas.	14. Instituciones educativas.
	14. Personas particulares.	14. Personas particulares.

En el marco del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de San Juan de Pasto, específicamente en el programa de gestión de residuos sólidos especiales (RSE), se aborda el manejo de los RAEE. Según este plan, se establece que el sector privado tiene la responsabilidad de impulsar campañas que implementen el concepto de "basura cero". Estas campañas deben estar centradas en la gestión integral y recolección de residuos sólidos especiales, incluyendo los RAEE que no presenten características de peligrosidad definidas. En caso de que los RAEE posean atributos de peligrosidad, deberán ser tratados como residuos peligrosos.

Es importante señalar que en este plan no se proporciona un dato sobre valor exacto para la cantidad de RAEE, así como también los tipos que se generan a nivel local, lo cual podría haber sido útil para complementar la información recabada durante la encuesta a las chatarrerías. La inclusión de esta cifra y los tipos de RAEE habría contribuido a una visión más completa y detallada del manejo de los RAEE en el municipio.

La Ley 1259 de 2008 establece que los RAEE deben ser considerados como residuos de manejo diferenciado, prohibiendo su disposición final en vertederos. En cambio, se enfoca en su

recolección y gestión por parte de los productores, priorizando su aprovechamiento a través de empresas gestoras debidamente licenciadas ambientalmente. En resumen, esta legislación tiene como objetivo impulsar la utilización eficiente de los RAEE desde una perspectiva económica y social, al mismo tiempo que fomenta la participación y colaboración de todos los actores involucrados en el diseño de estrategias, planes y proyectos para la gestión integral de estos residuos.

Teniendo en cuenta lo que se menciona en el PGIRS y lo que determina la Ley 1259 de 2008, en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto, a pesar de que se ha determinado la participación de todos los actores involucrados, aún todavía no se ha fomentado la participación, por lo tanto las chatarrerías se convierten en el actor principal de la recepción y aprovechamiento de los RAEE.

2.2.2. Identificar las tendencias actuales para el aprovechamiento de RAEE a través de información secundaria

De los artículos 50 examinados, realizando la metodología PRISMA que se describe en el diseño metodológico se identificó que 35 de ellos compartían metodologías similares para el aprovechamiento de los RAEE, mientras que otros 5 presentaban enfoques a escala de laboratorio. En consecuencia, estos últimos podrían no ser fácilmente aplicables en el contexto local. Como resultado, se seleccionaron únicamente 10 artículos que se presentan en la tabla 6 cuyas metodologías se consideran viables para su implementación en el ámbito local.

Tabla 6

Recopilación de alternativas para el aprovechamiento de los RAEE

Técnica de aprovechamiento	de	Objetivo de la técnica	Metodología	Fuente
Obtención de metales preciosos y metales	de	Analizar métodos para la extracción	1. Preparación: Separación y desensamble.	Nombre del estudio consultado:

<p>provenientes de de metales los RAEE base y mediante preciosos de tratamientos alto valor hidrometalúrgicos agregado.</p>	<p>2. Reducción de tamaño: Trituración. 3. Separación física: Separación electrostática, magnética, etc. 4. Tratamiento hidrometalúrgico: Lixiviación y purificación (Metales preciosos). 5. Tratamiento Pirometalúrgico: Fundición de metales pesados. 6. Obtención de metales pesados y preciosos.</p>	<p>Revalorización de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en Colombia: una alternativa para la obtención de metales preciosos y metales para la industria. Páginas: 8 – 13 Autor: Aristizábal – Álzate Año: 2021</p>
<p>Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana Revisar las tecnologías y técnicas empleadas en los procesos de minería urbana para la recuperación de minerales y metales y realizar una comparación de ventajas y</p>	<p>1. Selección: componentes que requieren de un tratamiento posterior especial de aquellos que serán tratados y recuperados de forma corriente. 2. Desmontaje: depende de factores como el contenido de elementos peligrosos en sus componentes, valor de mercado para reutilización y las opciones de reciclaje y reutilización disponibles en el área</p>	<p>Nombre del estudio consultado: Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos Páginas: Autor: Marcos García Roba</p>

desventajas de su aplicación	3. Trituración: proceso de separación atendiendo a las características físicas (peso, tamaño, densidad, propiedades magnéticas y eléctricas.	Año: 2020
	4. Clasificación de componentes	
Estudiar la viabilidad económica de la recuperación de metales a partir de los RAEE por vías no pirometalúrgicas.	separación física: 1. Desensamble: Importante ya que se evita la pérdida de material valioso de los RAEE 2. Fragmentación: mediante trituración los componentes grandes se convierten en tamaños más pequeños de entre 1 y 5 mm 3. Clasificación: Mediante cribado se pueden clasificar los componentes una vez son triturados 4. Separación: Mediante la separación magnética se atraen aquellos metales magnéticos como el hierro, cobalto, níquel, acero	Nombre del estudio consultado: Recuperación de metales a partir de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos Medellín, Colombia Páginas: 32 -40 Autor: Álvaro Querol Año: 2020
Recuperación del oro mediante el método de el manejo integral de los	Generar una propuesta para el manejo integral de los	1. Recolección de Equipos de computo. 2. Desmontaje de componentes
		Nombre del estudio consultado:

<p>disolución en Residuos de mezcla ácida. Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en México, considerando el reciclaje para la recuperación de oro.</p>	<p>de 3. Búsqueda de pines recubiertos de oro, procesadores y tarjetas</p> <p>4. Se cuantifica la cantidad de pines, procesadores y tarjetas mediante unidades de masa (Kg o g).</p> <p>5. Recuperación de oro mediante ataque de ácido Nítrico (HNO₃).</p>	<p>Propuesta para el manejo integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (raee) en México, considerando el reciclaje para la recuperación de oro.</p>	<p>Páginas: 120 - 135</p> <p>Autor: Cabanillas Ramírez Marco Antonio</p> <p>Año: 2022</p>
<p>La técnica de pellets auto reductores sirve para la extracción del plomo del vidrio de CRT.</p>	<p>Determinar si el uso de la técnica de pellets auto reductores sirve para la extracción del plomo del vidrio de CRT.</p>	<p>El procedimiento para hacer los pellets, independientemente de su composición, es el siguiente: Se pesan 50 de los materiales áridos, a los se le agrega entre 10 a 14 mL de una solución de CMC 1:100 para luego conformar los pellets a mano de forma que pesen entre 5.00 ± 0.05 g. Para evitar que éstos revienten (popping) o se rajen (cracking) por la ebullición en su</p>	<p>Nombre del estudio consultado: Minería Urbana: Tecnología y Metodología para el Reciclaje de Televisores de Tubos de Rayos Catódicos</p> <p>Páginas: 78 - 86</p>

	<p>interior, los pellets son secados a 100 °C por una hora. Una vez determinadas las condiciones de operación, se realizó una prueba piloto para ver si el uso de pellets auto reductores es una técnica útil para la remoción de plomo del vidrio de los CRT, específicamente del cono o embudo.</p>	<p>Autor: Marco Antonio Gusukuma Higa Año: 2022</p>
<p>Recuperación de establecer los materias primas procedimiento secundarias de s específicos a RAEE de seguir en categoría 3. función del grupo de tratamiento para el aprovechamiento de los RAEE</p>	<p>1. Recogida. La recogida se fomenta a través de políticas y regulaciones, concienciación de la sociedad y la instalación de puntos de recogida separativa en lugares públicos. Los RAEE son clasificados y agrupados, en función de las fracciones, en la instalación de recogida para su posterior traslado a la instalación de tratamiento.</p>	<p>Nombre del estudio consultado: Recuperación de materias primas secundarias procedentes de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES)</p>
	<p>2. El Pre – proceso Los RAEE una vez llegan a la instalación de tratamiento son sometidos a un análisis visual para identificar y separar aquellos que no se pueden tratar en la instalación, el resto sufren un proceso de desmontaje manual donde se separan los</p>	<p>Páginas: 36 - 49 Autor: Gerard Giménez San Andrés Año: 2016</p>

componentes y sustancias peligrosas y/o tóxicas, y los componentes y piezas con un elevado potencial de valorización, para posteriormente ser sometidos a un tratamiento especializado.

3. Fin de proceso:

Los scraps metálicos y componentes con elevado potencial de valorización, principalmente las tarjetas de circuitos impresos, se someten a un tratamiento adicional que consiste en la aplicación de tecnologías propias de la industria metalúrgica, principalmente técnicas pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas, electro metalúrgicas y bio metalúrgicas con el objetivo de poder recuperar y refinar los metales para que puedan volver a ser utilizados.

Recuperación de metales en los materiales particulados de RAEE.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Clasificación manual. 2. Desarme manual utilizando atornilladores neumáticos. 3. Separación de metales pesados mediante procesos magnéticos. 	<p>Nombre del estudio consultado:</p> <p>Diseño de un plan estratégico para la recuperación de</p>
---	---	---

	<p>4. Aplicación de procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos para el refinamiento de los metales obtenidos.</p>	<p>Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (celulares y tarjetas de circuitos impresos) en la ciudad de Mar del Plata</p> <p>Páginas: Autor: Juan Pablo Laterza Año: 2019</p>	
<p>Proceso hidrometalúrgico para la recuperación de cobre a partir de las tarjetas de circuitos integrados RAEE.</p>	<p>Desarrollar un proceso de hidrometalúrgico a escala de laboratorio para la recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de los aparatos eléctricos y</p>	<p>Se tomaron alrededor de 1000 g de material conformado por tarjetas de circuitos impresos de los RAEE. Consecuentemente se retiraron manualmente con un alicate los condensadores electrolíticos (poseen electrolitos tóxicos y corrosivos), luego con un cincel y un martillo se retiraron las partes metálicas y plásticas de mayor tamaño que son: aceros magnéticos, sockets para microprocesadores, tarjetas controladoras (módem, video, etc.), módulos de memoria RAM. Todas estas partes retiradas</p>	<p>Nombre del estudio consultado: Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de aparatos eléctricos y electrónicos</p> <p>Páginas: 36 - 42 Autor:</p>

electrónicos (RAEE).	comprenden aproximadamente un 25% del total de las TCI.	Mariana Muñoz	Vargas
----------------------	---	---------------	--------

Luego se pasó a la reducción de tamaño, donde se cortaron las TCI a un tamaño de 1x4 mm haciendo uso de diferentes sierras sin fin, logrando el tamaño entre el rango recomendado. **Año:** 2017

Con el objetivo de eliminar las especies de poco interés y obtener un material apropiado para un buen proceso metalúrgico extractivo, se realizó un proceso de concentración mediante separación magnética y electrostática, eliminando así las especies ferrosas y las no metálicas.

Posteriormente se procesó la fracción no ferrosa, gracias a un separador electrostático, el cual aprovechando las diferencias en conductividad eléctrica aparta las especies no conductoras de las conductoras para obtener un concentrado metálico.

Consecuentemente el material obtenido se lavó con etanol y se dejó secar por 15 minutos en un horno a 55°C debido a que fue

			manipulado, con este lavado se pasiva la superficie para sus posteriores tratamientos	
Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos.	Extraer metales pesados de los RAEE mediante procesos de incineración	procesos de incineración de residuos para la obtención de metales y minerales reciclables de las cenizas de fondo, con aplicabilidad de uso en la producción de nuevos productos. Esta última opción señalada es la usual en la gestión y tratamiento de RAEE.	Nombre del estudio consultado: Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos: aspectos metodológicos	Páginas: 74 - 80 Autor: Marcos Garcia Roba Año: 2020
Recuperación de oro de desechos electrónicos utilizando papeles independientes de celulosa y marcos orgánicos covalentes iónicos	Describir la preparación de nano papeles COF-COF flexibles e independientes que consisten en fibras de celulosa (CF) y estructura orgánica	En un proceso hidrometalúrgico típico, los desechos electrónicos se digieren en agua regia para disolver los metales. Los elementos metálicos comunes como Cu, Zn, Sn, Fe, Pb, Al y Ni se disuelven en cationes metálicos, mientras que el Au se convierte en aniones [AuCl ₄] ⁻ . La teoría es que los materiales COF iónicos con marcos catiónicos y contraiones aniónicos podrían	Nombre del estudio consultado: Gold recovery from E-waste using freestanding nanopapers of cellulose and ionic covalent	

covalente capturar selectivamente $[AuCl_4]$ – organic
 iónica (COF) a aniones del lixiviado de metal frameworks
 base de debido al mecanismo de **Páginas:**
 guanidinio que intercambio iónico. La red catiónica **2-6**
 se puede usar COF podría tener una fuerte **Autor:**
 para recuperar interacción electrostática con Xing Hao Du
 oro de $[AuCl_4]$ - aniones mientras rechaza **Año:**
 soluciones de otros cationes metálicos [46]. La 2023
 lixiviación de adición de grupos funcionales
 desechos específicos como aminas a los COF
 electrónicos a podría reducir los aniones $[AuCl_4]$
 través de una – a Au^0 como resultado del alto
 técnica de potencial de reducción de $[AuCl_4]$
 separación de – y la actividad reductora de las
 membrana. aminas. Por lo tanto, los efectos
 sinérgicos de la fisisorción, el
 intercambio iónico y la reducción
 química de $[AuCl_4]$ – en los
 materiales COF iónicos podrían dar
 como resultado una capacidad de
 captura y selectividad
 significativamente mayores que un
 proceso de fisisorción
 convencional. En este contexto,
 sintetizamos un COF iónico basado
 en guanidinio para estudiar la
 recuperación de oro de los desechos
 electrónicos. El COF de TpTGCl s

Recuperación de metales provenientes de	evaluar la recuperación de metales	En cada metodología, las plantas cosechadas se secaron a 60 °C durante 48 h para determinar la	Nombre del estudio consultado:
---	------------------------------------	--	---------------------------------------

placa de circuito impreso (PCB) de residuos electrónicos por microorganismos y plantas.	provenientes de placa de circuito impreso (PCB) de residuos electrónicos por microorganism os y plantas.	biomasa seca. Posteriormente, se tomó parte de esta biomasa para ser digerida con HNO ₃ concentrado a 83 °C y con agua regia (3:1 HCl/HNO ₃) a 108 °C, durante 2 h. La solución obtenida se filtró y se aforó a 25 mL. Las muestras disueltas se analizaron en un espectrómetro de emisión óptica ICP-OES (Varian ® Mod. 725-ES) para cuantificar la fitoextracción de Pb.	Plantas y microorganismos útiles en la recuperación de metales provenientes de residuos electrónicos Páginas: 74 - 80 Autor: Marcos Garcia Roba Año: 2020
--	--	--	--

Se establecen diversos métodos para el aprovechamiento de los RAEE. En la tabla 6 se aprecia ejemplos de cómo se pueden dar una segunda vida útil a los residuos. Esta práctica es esencial para reducir el impacto ambiental y fomentar la sostenibilidad. Algunos ejemplos de métodos de aprovechamiento que se observan en la tabla incluyen el reciclaje de materiales como los metales ferrosos y no ferrosos, los cuales están encaminados en aprovechar componentes de los RAEE, con el fin de reducir el impacto ambiental y económico negativo y crear oportunidades en la economía circular.

Obtención de metales y no metales provenientes de los RAEE mediante tratamientos hidrometalúrgicos.

La presencia de metales preciosos y no metales en los RAEE ha despertado un considerable interés en la exploración de nuevas tecnologías para la recuperación de dichos metales preciosos. Sin embargo, no todas las tecnologías son igualmente eficaces, ya que cada una logra la recuperación en proporciones diferentes. Entre ellas, se puede mencionar la hidrometalurgia, que implica la extracción de metales mediante reacciones en un medio acuoso, y la tecnología

pirometalúrgica, cuyo objetivo es obtener y purificar metales mediante la aplicación de calor (Zhang y Xu, 2016).

Las tecnologías basadas en procesos químicos son altamente efectivas, pero emplean productos químicos extremadamente tóxicos y peligrosos (Marra, 2018). En contraste, el enfoque hidrometalúrgico presenta un costo bajo y ha demostrado su éxito en la lixiviación de metales presentes en los RAEE (Li, 2018). Aunque la recuperación de estos metales puede resultar laboriosa, este método contribuye a reducir el impacto ambiental y aumenta la eficiencia en la recuperación de metales preciosos de los RAEE (Muñoz, 2017). El proceso hidrometalúrgico implica un pretratamiento mecánico de los desechos, seguido de la lixiviación de los metales mediante un proceso adecuado, la purificación de la solución de lixiviación y finalmente la recuperación de los metales (Tunsu y Retegan, 2016). Dado que los metales suelen estar recubiertos por diversos materiales en las placas de circuito impreso, se requiere un proceso de pretratamiento mecánico para exponer eficazmente los metales de interés al reactivo de lixiviación, facilitando así su extracción eficiente (Tuncuk, 2012). Gamez (2019) y Karal (2021) mencionan que es viable y con mayor porcentaje de recuperación ya que los tratamientos con soluciones líquidas son económicas. Por otra parte las sustancias líquidas y químicas son tóxicos corrosivos en uso desmedido dañando al medio ambiente con tal de recuperar los elementos deseados (De la torre, Espinoza 2019).

El residuo resultante de la lixiviación con ácido sulfúrico se emplea en procesos de lixiviación adicionales, ya sea con cianuro o tiourea, con el propósito de recuperar metales como el cobre y el hierro (Rocchetti, 2013). No obstante, la lixiviación constituye un paso crítico en el reciclaje de metales a través de la vía hidrometalúrgica, ya que permite disolver la máxima cantidad de metal en solución. Recientemente, diversos investigadores han compilado diversas técnicas para extraer metales de desechos electrónicos mediante enfoques hidrometalúrgicos (Pant, 2012). A pesar de las inquietudes ambientales asociadas con el procesamiento hidrometalúrgico, ya sea por medio de lixiviación química, se ha prestado la máxima atención para garantizar el estricto cumplimiento de las normativas ambientales.

Teniendo en cuenta que en esta metodología se utilizan sustancias químicas como el cianuro, se debe tener en cuenta los requisitos para el almacenamiento temporal de residuos especiales (RESPEL) en Colombia, teniendo en cuenta la Resolución 1075 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. De acuerdo con esta normativa, los generadores de RESPEL deben depositar temporalmente estos residuos en sitios que cumplen con ciertos criterios:

1. Ubicación en áreas distantes de fuentes de agua y de zonas pobladas.
2. Implementación de medidas de seguridad para prevenir accidentes y reducir la exposición humana a los residuos.
3. Uso de sistemas de impermeabilización que prevengan la contaminación del suelo y de aguas subterráneas.
4. Establecimiento de sistemas para la recolección de lixiviados y aguas pluviales con el fin de evitar la contaminación.
5. Implementación de sistemas para el control de olores y emisiones atmosféricas.
6. Adopción de sistemas de registro y control para los residuos almacenados.

Adicionalmente, la normativa establece que los generadores de RESPEL tienen la responsabilidad de entregar dichos residuos a un gestor autorizado para su tratamiento y disposición final dentro de un plazo máximo de seis meses desde su generación. De acuerdo a lo anterior si se llega a implementar esta metodología a nivel local, las chatarrerías deben tener en cuenta esta normativa para el manejo de estas sustancias químicas.

En Colombia, la gestión de sustancias peligrosas en el entorno laboral está respaldada por la Ley 55 de 1993. Esta legislación establece que los empleadores que empleen productos químicos peligrosos deben recibir hojas de datos de seguridad que proporcionen información detallada esencial sobre la identificación del producto, su proveedor, su clasificación, peligrosidad, precauciones y procedimientos de emergencia. Además, indica que los criterios para la creación de estas hojas deben ser definidos por la autoridad competente o por un organismo aprobado o reconocido por dicha autoridad, de acuerdo con las normativas nacionales o internacionales. Asimismo, la denominación química o común utilizada para identificar el producto en la hoja de datos de seguridad debe coincidir con la que figura en la etiqueta.

La aplicación de tecnología de procesamiento para la recuperación de metales base de RAEE, se impulsa, ya sea por su impacto ambiental o por las regulaciones locales. Sin embargo, se deben considerar aspectos vinculados a la importancia o aplicabilidad económico-industrial, como el costo de procesamiento, los posibles valores de salida de los desechos y las ganancias generadas por la venta de los metales recuperados. Es esencial tener en cuenta que las ganancias del proceso, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto hidrometalúrgico, son más elevadas (USD \$241,61/kg), seguidas por el electroquímico (USD \$213,29/kg) y, finalmente, por el pirometalúrgico (USD \$179,91/kg) (Zun, 2016).

Los costos asociados a la recuperación de un kilogramo de metales no ferrosos, considerando tanto las materias primas como el consumo de energía. En este proceso, se emplearon las tarjetas de circuito impreso (TCI) de los RAEE como la principal materia prima, para este caso se tiene en cuenta qué de acuerdo a la información primaria obtenida en el primer objetivo, el precio de compra de TCI es de 3.500 \$COP. Además, se utiliza el etanol para el lavado de las TCI trituradas y, finalmente, se emplearon reactivos para la lixiviación, entre ellos el amoníaco, el carbonato de amonio y el sulfato de cobre (Vargas, 2017). Los detalles relativos al costo de cada una de estas materias primas se detallan en la tabla 7.

Tabla 7

Costos de las materias primas necesarias para la recuperación de cobre de las TCI de los RAEE

Materia prima	\$cop/kg	\$cop/l
TCI	3.500	--
Amoniac	--	9.400
Carbonato de amonio	1.415	--
Sulfato de cobre	7.900	--
Aluminio	--	1.500

Fuente: Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de aparatos eléctricos y electrónicos, Vargas Muñoz, M. (2017). P. 66

Teniendo en cuenta la información de la tabla 6 para determinar el costo para la recuperación de 1 Kilogramo de metales no ferrosos se emplea la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} = & (\text{precio TCI} \times \text{Kg TCI}) + (\text{precio NH}_4 \times \text{L de NH}_4) + (\text{precio etanol} \times \text{L de etanol}) \\ & + (\text{precio } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \times \text{Kg de } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) + (\text{precio CuSO}_4 \times \text{Kg de CuSO}_4) \\ & + (\text{precio } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \times \text{Kg de } (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) + (\text{precio CuSO}_4 \times \text{Kg de CuSO}_4) \\ & + (\text{precio etanol} \times \text{L de etanol}) \end{aligned}$$

En consecuencia, la obtención de un kilogramo de no ferrosos implicaría un gasto de alrededor de \$32,000 pesos colombianos en materiales, según el contexto local. Respecto a los costos fijos, es esencial considerar los períodos de utilización de los equipos involucrados en el procedimiento de recuperación de metales no ferrosos, los cuales se detallan en la tabla 8.

Tabla 8

Duración de uso de los equipos del proceso de recuperación de un kilo de metales no ferrosos

Equipo	Tiempo de uso (h)
Sierra sin fin	4
Separador magnético	0,5
Separador electrostático	0,5
Plancha con agitación	24
Fuente de voltaje	5

Fuente: Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de aparatos eléctricos y electrónicos, (Vargas Muñoz, M. 2017). P. 67

A partir de la Tabla 8 se obtiene un costo de energía por el uso de las herramientas de \$1.576 COP por un kilo de metales no ferrosos recuperados, dando un total de \$33.600 COP. De acuerdo a la página web compra de cobre (2023), en promedio un kilo de cobre cuesta \$35.800 \$COP, es decir, el costo de recuperación de 1 kilo de cobre cuesta un 6,2% menos en comparación al costo de la extracción de un kilo de cobre por la industria minera.

Al evaluar los impactos ambientales que puede causar la disposición de los RAEE, ya sea con el proceso hidrometalúrgico, o al realizar la disposición final en un relleno sanitario, se realizó la comparación en la tabla 9.

Tabla 9

Diferencias del Impacto ambiental del aprovechamiento de los RAEE mediante la metodología de hidrometalurgia y la disposición final de los RAEE en un relleno sanitario

Impactos ambientales de los diferentes manejos que se le da a los RAEE		
Factor	Disposición de los RAEE en un relleno sanitario de seguridad	Procesamiento de los RAEE con el proceso hidrometalúrgico
Agua	La liberación de iones de plomo a causa de las aguas subterráneas ácidas que suele haber en los vertederos, podrían traer efectos nocivos	Eutrofización de las aguas superficiales
	Acidificación de los cuerpos de agua superficiales	
	La lixiviación de las sustancias peligrosas: el mercurio de los paneles de circuitos impresos,	Toxicidad de los cuerpos hídricos superficiales Destrucción de la flora

<p>Suelo</p>	<p>el PCB de los condensadores, los difeniletros polibrominados (PBDE) y el cadmio de los plásticos pueden disolverse en el suelo y las aguas subterráneas</p> <hr/> <p>Acumulación de sustancias químicas en el suelo</p>	<p>microbiana edáfica</p>
<p>Aire</p>	<p>La vaporización del mercurio puede producir incendios incontrolados en los vertederos, provocando la emisión al aire de dioxinas y furanos extremadamente tóxicos</p>	<p>No se generan impactos por emisión al aire</p>
<p>Socio - Económico</p>		<p>Generación de empleo para la población local</p>

Fuente: Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de aparatos eléctricos y electrónicos, Vargas Muñoz, M. (2017). P. 68.

La Tabla 9 detalla las Diferencias en el Impacto Ambiental entre la aplicación de la hidrometalurgia para el aprovechamiento de los (RAEE) y la disposición final de estos en un relleno sanitario, se determina que, aunque el proceso hidrometalúrgico para la recuperación de metales ferrosos conlleva cierto nivel de contaminación ambiental, este impacto es significativamente menor en comparación con la opción de depositar los RAEE en un relleno sanitario. Por lo tanto, se presenta como una elección más favorable en términos de su impacto ambiental. Además, este proceso permite la recuperación de productos con valor añadido, los

cuales tienen el potencial de transformarse en productos y unidades de negocio con repercusiones positivas tanto en la sociedad como en las chatarrerías.

Valoración de los RAEE a través de la minería urbana.

Esta alternativa tiene diversas ventajas para el contexto local debido a que la minería urbana permite la recuperación y valorización de materiales valiosos presentes en los RAEE, como metales no ferrosos (hierro, plata y platino), metales no ferrosos (cobre, aluminio, vidrio y plástico) y otros recursos escasos. Esto reduce la dependencia de la extracción de recursos naturales. Al reciclar y reutilizar los materiales presentes en los RAEE, se reduce la cantidad de residuos que se envían a los vertederos o se incineran, lo que ayuda a disminuir la contaminación ambiental y los impactos negativos en la salud humana.

La minería urbana puede crear oportunidades de empleo en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto como la recolección, desmontaje, clasificación y procesamiento de los RAEE. Además, la recuperación de materiales valiosos puede generar ingresos económicos para las empresas y los emprendedores que participan en este sector como las chatarrerías.

Esta alternativa de investigación está orientada a estudiar la viabilidad de un proyecto de minería urbana para la recuperación de minerales y metales no ferrosos a partir de residuos eléctricos y electrónicos, como aportación a la economía circular. El trabajo ha sido desarrollado bajo una metodología de investigación documental, que ha implicado la profusa revisión de documentos escritos y audiovisuales (Normas, leyes regulaciones y tratados) sobre el tema en Europa y en España, con un mínimo componente de investigación de campo para conocer los volúmenes de RAEE generados y recogidos por período. Los resultados obtenidos a partir de la información recabada y evaluada permiten asumir la viabilidad de la puesta en marcha de una planta para la gestión integral de los RAEE, con impacto positivo en dos áreas, la medioambiental, con la recuperación de metales y minerales potencialmente peligrosos evitando su efecto sobre la naturaleza, y la económica, con la obtención de metales y minerales escasos en la naturaleza que pueden ser reutilizados en la industria como materia prima. En síntesis, una actividad que puede ser desarrollada con apego a los postulados de la economía circular.

Se estima, , que el modelo económico actual que opera bajo las premisas de “tomar, hacer, tirar” a partir de la disposición de grandes volúmenes de materias primas y energía a bajo coste, aunado al uso de medios muy baratos para deshacerse de lo que ya no tiene interés en el circuito de producción y consumo, no es funcional (Ellen Macarthur Foundation, s. f.).

Estos sistemas maximizan el número de ciclos consecutivos y/o el tiempo empleado en cada ciclo, aumentando así la vida útil de los productos y optimizando la reutilización. Además promueven que los nutrientes biológicos vuelvan a entrar en la biosfera de forma segura para que la descomposición resulte en materias más valiosas para un nuevo ciclo. En el ciclo biológico los productos se diseñan deliberadamente para ser consumidos o metabolizados por la economía y de esta manera generar el valor del nuevo recurso.

Para esta metodología de aprovechamiento de los RAEE se requiere de diferentes tipos de maquinarias, por lo tanto, es importante conocer el precio de todas las unidades que se requieren para extraer los componentes de los RAEE que pueden aprovecharse. En la tabla 10 se reflejan los precios de la maquinaria necesaria para el proceso. La primera columna menciona los diferentes equipos, la segunda los precios, y la tercera la fuente.

Tabla 10

Inversión de maquinaria para la metodología de aprovechamiento Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana

Equipos (maquinaria)	Costo (\$cop)	Fabricante
Desmontadora (<i>crack-o-mate</i>) E12 (incluye cinta inclinada + filtro de mangas	13.290.447,20	Recovery SA
Pre-triturador de 2 ejes WJ 200E (1300) (incluye Cinta	3.980.834,16	Recovery SA

inclinada + filtro de mangas)		
Triturador mono-rotor 142 (Incluye cinta inclinada + filtro de mangas)	3.988.341	Recovery SA
Separador de metales Fe/noFe (Incluye cinta transportadora, separador tipo overband)	4.209.916	Recovery SA
Equipo de reciclado de cable (compuesto por pre-triturador, triturador, sistema neumático, mesa densimétrica, filtro de mangas)	1.329.447	Recovery SA
Separador corrientes de Eddy (focault)	1.994.178	Regulatorcetrisa
Mesa de separación densimétrica (KDM 750)	1.551.021	Darktek vibración
Cinta transportadora plana (15 +10) zona clasificación, salida trituradora	1.107.872	Cintasa
Total	31.452.116	Scop

Fuente: Materias primas secundarias procedentes de RAEE, Giménez San Andrés, G. (2016). P.

Actualmente en Colombia el precio de metales no ferrosos como el aluminio presenta un valor de 4.800\$ por cada kilogramo, el valor del es de 35.800 \$COP por cada kilogramo, por lo tanto si se requiere implementar esta alternativa es importante realizar un estudio de mercado para conocer la factibilidad.

Al evaluar los impactos ambientales causados por el desmantelamiento de los RAEE o al realizar la disposición final en un relleno sanitario, se realizó la comparación en la tabla 11.

Tabla 11

Diferencias del Impacto ambiental del aprovechamiento de los RAEE mediante la metodología de Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana y la disposición final de los RAEE en un relleno sanitario

Impactos ambientales de los diferentes manejos que se le da a los RAEE		
Factor	Disposición de los RAEE en un relleno sanitario	Procesamiento de los RAEE con el proceso hidrometalúrgico
Agua	La liberación de iones de plomo a causa de las aguas subterráneas ácidas que suele haber en los vertederos, podrían traer efectos nocivos	
	Acidificación de los cuerpos de agua superficiales	
Suelo	La lixiviación de las sustancias peligrosas: el mercurio de los paneles de circuitos impresos, el PCB de los condensadores,	

	los difeniletros polibrominados (PBDE) y el cadmio de los plásticos pueden disolverse en el suelo y las aguas subterráneas	
	Acumulación de sustancias químicas en el suelo	
Aire	La vaporización del mercurio puede producir incendios incontrolados en los vertederos, provocando la emisión al aire de dioxinas y furanos extremadamente tóxicos	Generación de ruido por la vibración de las máquinas para la separación de los componentes
Socio - Económico		Generación de empleo para la población local
Salud humana		Posibles daños en el sistema nervioso, endocrino y cardiovascular.

Fuente: Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de aparatos eléctricos y electrónicos, Vargas Muñoz, M. (2017). P. 68

Teniendo en cuenta la tabla 11, los impactos que se generan en el proceso de desmantelamiento de los RAEE son de menor magnitud a comparación de los que se generan en la disposición final que se le puede dar a los RAEE en un relleno sanitario. Sin embargo si se tiene en cuenta esta alternativa de aprovechamiento de los RAEE, para disminuir los impactos negativos en salud humana y el ruido que se genera por la maquinaria

Tecnología y Metodología para el Reciclaje de Televisores de Tubos de Rayos Catódicos.

El tubo de rayos catódicos (CRT) ha sido la tecnología dominante durante más de 70 años debido a su madurez tecnológica, confiabilidad y bajos costos de fabricación (Lairaksa, 2013). Pero como ha ocurrido con otras tecnologías, estas están siendo sustituidas por otras con más y mejores prestaciones, como se ve con la sustitución de las pantallas tipo CRT por tecnología de pantalla por cristal líquido plano (Singh, 2016).

La desaparición de la televisión de rayos catódicos (CRT-TV) es consecuencia de un salto tecnológico y constituye un fenómeno global.

Una vez que los televisores CRT llegan al final de su ciclo de vida, se convierten en un grave problema ambiental los televisores CRT en sí no son atractivos para el reciclaje porque son voluminosos, costosos de transportar y no se degradan fácilmente (Mueller et al. events, 2012). Se ha estudiado el reciclaje de RAEE y otros dispositivos electrónicos en países en desarrollo por parte del sector informal (Estrada-Ayub & Kahhat, 2014), donde se encuentra que estos procesos no eran llevado a cabo en condiciones seguras para la salud humana y el medio ambiente.

Recuperar elementos valiosos de los RAEE, como televisores y tubos de rayos catódicos, puede tener un costo variable que depende de factores como la tecnología utilizada, la escala de la operación y las condiciones del mercado para los materiales recuperados. Asimismo, la regulación ambiental y las prácticas de gestión de residuos en una región específica también afectan los costos.

Es decir, cuando el proceso de reciclaje lo lleva a cabo el sector informal, los materiales valiosos como cobre, hierro, aluminio y diversos metales, además de materiales sin valor económico, son colocados en vertederos (Xu, 2012). Que, contienen una serie de sustancias tóxicas como plomo, bario y cadmio que pueden ser perjudiciales para la salud humana al ser procesadas en el proceso de reciclaje (Lecler, 2015). Los residuos por su contenido de plomo

deben ser dispuestos en un relleno sanitario de seguridad, debido al riesgo de que el plomo se escape, causando graves daños al medio ambiente y a la salud humana (Williams, 2008).

Recuperación de materias primas secundarias procedentes de los RAEE.

Actualmente el reciclaje de desechos electrónicos está dominado por técnicas metalúrgicas. El proceso metalúrgico se basa en operaciones básicas muy similares a las utilizadas en la hidrometalurgia, operaciones de liberación, otras separaciones y finalmente refinación. Sin embargo, en este caso, la liberación del metal no se produce por lixiviación sino por fusión a alta temperatura. En los procesos metalúrgicos se utilizan equipos como hornos de fusión, hornos de reverbero, altos hornos o hornos de fusión ISA, entre otros (Jaramillo, 2018).

Las propiedades de los RAEE distinguen cuatro grandes grupos de materiales: metales, divididos en 2 grupos, metales ferrosos y no ferrosos (incluidos los metales preciosos), vidrio, plásticos y otros. Según la caracterización general de los RAEE a la que ha accedido el Centro Europeo para la Gestión y los Recursos Naturales, el hierro es el metal que se encuentra en mayor proporción y supone casi la mitad del peso total de los RAEE. El plástico es el segundo componente más común y representa casi el 21 % del peso total. Los metales no ferrosos, incluidos los metales preciosos, representan el 13% del peso total de los RAEE, de los cuales el cobre representa el 7%. Con el tiempo, los metales siguieron siendo el componente material dominante, pero los materiales peligrosos y tóxicos disminuyeron (Ongondo, 2011).

Diseño de un plan estratégico para la recuperación de RAEE (celulares y tarjetas de circuitos impresos) en la ciudad de Mar del Plata.

Impacto ambiental persistente determinadas sustancias químicas contenidas en RAEE se han encontrado en los flujos de residuos de algunos sectores. Entre ellos, algunos grupos químicos son tóxicos y difíciles de descomponer en el medio ambiente como: éteres de bifenilo polibromados (PBDE), ampliamente utilizados como retardantes de llama bromados para evitar que los plásticos de las placas base o chasis se incendien; Además de los ftalatos, que se utilizan como suavizantes de plásticos (plastificantes), algunos disolventes clorados y metales pesados se obtienen de la síntesis de compuestos complejos o aleaciones (Laterza, Juan Pablo, 2019).

En total, el observatorio global de desechos electrónicos, mencionó que en 2019, el planeta generó 53,6 millones de toneladas (Mt) de desechos eléctricos y electrónicos, de los cuales solo el 17,4% está registrado oficialmente como recolectado y reciclado adecuadamente (Forti et al. otros, 2020).

Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos.

La minería urbana permite la extracción de metales valiosos presentes en los residuos, como oro, plata, cobre y aluminio. Estos metales pueden ser recuperados y reintroducidos en la cadena de producción, reduciendo la dependencia de la extracción de recursos naturales. Al recuperar metales de los residuos, se reduce la necesidad de extraer nuevos recursos naturales. Esto contribuye a la conservación de los ecosistemas y a la mitigación de los impactos ambientales asociados con la extracción de minerales, se evita su acumulación en vertederos y su potencial liberación al medio ambiente, esto contribuye a la reducción de la contaminación del suelo, agua y aire.

Esta solución potencial a la minería inversa puede generar valor al recuperar una parte significativa de minerales y polímeros que pueden ser utilizados posteriormente como insumos para nuevos dispositivos electrónicos, lo que reduce el impacto ambiental causado por estos materiales desechados. Esta recuperación tiene un efecto económico positivo evidente, tanto en los materiales que se pueden recuperar y reutilizar, como en la generación de empleo.

El crecimiento constante y exponencial de la población y su concentración cada vez mayor en áreas urbanas tiene un efecto directo en el aumento de la generación de residuos (Fernández, 2013). A esto se suma otro factor que empeora la situación, que es el tipo de desarrollo de una sociedad que progresa gracias a un modelo de consumo no sostenible.

La cantidad de basura electrónica en el mundo ha experimentado un crecimiento extremadamente preocupante. En el año 2010, se registraron 33,8 millones de toneladas de basura electrónica, mientras que en el año 2018 esta cifra aumentó a 49,8 millones de toneladas, lo que representa casi un 50% de crecimiento en un período de 9 años (Chiralde, 2019).

Recuperación de oro de desechos electrónicos utilizando nano papeles independientes de celulosa y marcos orgánicos covalentes iónicos.

Los nano papeles independientes de celulosa y los marcos orgánicos covalentes iónicos funcionan como materiales absorbentes que pueden capturar y retener partículas de oro que se encuentran en los desechos electrónicos. Estos materiales tienen una gran capacidad para absorber y seleccionar el oro, lo que facilita su recuperación de manera eficaz.

Estos actúan como materiales absorbentes que pueden atrapar y retener partículas de oro presentes en los desechos electrónicos. Estos materiales tienen una alta capacidad de adsorción y selectividad para el oro, lo que permite su recuperación de manera efectiva. Esta técnica de recuperación de oro de desechos electrónicos ayuda al medio ambiente al reducir la necesidad de extraer nuevos recursos naturales y al evitar la acumulación de residuos contaminantes.

El cambio climático, los factores que influyen en la variación del consumo de productos de acuerdo con necesidades emergentes y la innovación en tecnologías industriales han llevado a que en la última década las actividades económicas tengan una nueva tendencia de distribución. Esto ha permitido que ciertos sectores que antes parecían inactivos surjan y logren abarcar una parte importante del mercado. La industria pesquera es parte de esta tendencia, debido a la diferenciación en la técnica de recolección y procesamiento de materias primas. Estas materias primas no tienen un uso exclusivamente alimentario, sino que gran parte de ellas se distribuye como insumo para productos médicos, farmacológicos y ambientales.

Recuperación de metales provenientes de placa de circuito impreso (PCB) de residuos electrónicos por microorganismos y plantas.

La recuperación de metales de las placas de circuito impreso (PCB) de residuos electrónicos mediante el uso de microorganismos y plantas es un área de investigación en la biotecnología ambiental. Esta técnica busca aprovechar las propiedades de ciertos microorganismos y plantas para extraer y recuperar metales valiosos presentes en los PCB.

Los estudios científicos han demostrado que algunos microorganismos, como bacterias y hongos, pueden solubilizar y acumular metales presentes en los PCB. Estos microorganismos liberan enzimas o compuestos químicos que disuelven los metales y los convierten en formas más fácilmente extraíbles. Además, ciertas plantas conocidas como plantas hiperacumuladoras tienen la capacidad de absorber y acumular metales en sus tejidos.

La utilización de microorganismos y plantas para la recuperación de metales de los PCB presenta varias ventajas. En primer lugar, es una técnica más respetuosa con el medio ambiente en comparación con los métodos convencionales de extracción de metales, que suelen implicar el uso de sustancias químicas tóxicas. Además, esta técnica puede ser más económica y eficiente en términos de costos y energía.

Por otro lado, también es posible identificar qué tipos de RAEE son los más comunes y, en consecuencia, buscar la manera de reutilizar los componentes electrónicos valiosos para remanufacturar y brindar una solución a esta problemática que se ha vuelto tan común en la actualidad. La remanufactura de dispositivos electrónicos es un proceso que implica desensamblar y restaurar los productos usados o desechados a un estado nuevo, lo que reduce la cantidad de desechos electrónicos que terminan en vertederos. Algunos de los RAEE más comunes que pueden ser reutilizados incluyen teléfonos celulares, computadoras y otros equipos electrónicos. Al adoptar un enfoque de "economía circular" en el aprovechamiento de RAEE, se aprovecha al máximo los recursos disponibles y reduce su impacto ambiental en los procesos productivos.

La perspectiva de la minería urbana como medio para el aprovechamiento de residuos. Este enfoque se centra en la extracción y recuperación de objetos de valor contenidos en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, facilitando así una menor dependencia de nuevas materias primas. Estos métodos incluyen técnicas de demolición, trituración y separación que pueden extraer eficientemente materiales valiosos como cobre, aluminio, hierro y otros materiales que pueden implementarse como materias primas dentro de los procesos productivos.

2.3. Priorizar alternativas para el aprovechamiento de los RAEE mediante la metodología "matrices para tamizar ideas de Sánchez (2003)" en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto

Inicialmente, con lo mencionado en el segundo objetivo se consultaron un total cincuenta (50) artículos de investigación relacionados con metodologías para el aprovechamiento de los RAEE, los cuales fueron recopilados como evidencia en una matriz realizada en una hoja de Excel denominada “Revisión Sistemática de la Información de metodologías para el aprovechamiento de los RAEE”, a partir del estudio de esta literatura, y teniendo en cuenta alternativas que se mencionan frecuentemente y son sumamente recomendadas para el manejo de los RAEE, a razón de esto, estas opciones fueron detalladas y explicadas en la tabla 3, donde se las describió de acuerdo con: tipo de técnica empleada, objetivo de la técnica, metodología y fuente de información. Luego de que se organizaron estas 10 propuestas se procedió a seleccionar tan solo 5 de ellas utilizando un procedimiento denominado “Matrices para Tamizar Ideas” de Sánchez (2003), con el fin de identificar y filtrar las ideas más adecuadas en cuanto a atractividad y viabilidad considerando la información, condiciones y características, que se encontraron en el primer objetivo sobre el manejo de los RAEE en las chatarrerías del casco urbano del municipio de San Juan de Pasto.

Teniendo en cuenta lo anterior se establecieron los siguientes criterios enfocados en la parte de aprovechamiento, reutilización, ambiental, ingresos y comercialización, de viabilidad y atractividad los cuales se encuentran las tablas 12 y 13, de acuerdo con la alternativas en obtención de metales preciosos y metales provenientes de los RAEE mediante tratamientos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos , en cuanto a promedio de atractividad y viabilidad arrojó valor total de 53 lo cual refleja que el puntaje es de calificación dudosa sin embargo, en general, una calificación dudosa en una matriz de calificación puede deberse a varios factores, como la falta de información completa o precisa, la subjetividad en la evaluación de los factores, la falta de claridad en los criterios de evaluación o la falta de consenso entre los evaluadores. En cualquier caso, es importante tener en cuenta que una calificación dudosa no necesariamente significa que el objeto evaluado sea de baja calidad o no cumpla con los requisitos, sino que

puede ser necesario revisar los criterios de evaluación y la metodología utilizada para obtener una calificación más precisa y objetiva.

Para el desarrollo de este objetivo se tienen en cuenta las alternativas de aprovechamiento seleccionadas en el objetivo dos siendo cincuenta metodologías identificadas en la revisión bibliográfica. Una vez seleccionadas las metodologías a continuación se realiza la aplicación la matriz para tamizar ideas de Sánchez, obtenido los siguientes resultados

De los 50 artículos seleccionados, se tuvo en cuenta 10 artículos tal como se observa en la Tabla 6. El proceso de selección de opciones adecuadas según el método "Matrices para tamizar ideas" se presenta en las tablas 7, 8 y 9. Las alternativas recolectadas fueron evaluadas utilizando los criterios de atractividad (tabla 12) y viabilidad (tabla 13). Se asignó un peso (A) a cada criterio, con una suma total de 10. Los valores de los pesos se determinaron considerando su importancia en la implementación de cualquier método de aprovechamiento. Para evaluar el nivel de cumplimiento de cada alternativa en relación con cada criterio, se utilizó una escala de calificación de 1 a 10, donde 1 representa el menor cumplimiento y 10 el mayor cumplimiento. Las siguientes matrices se emplearon para llevar a cabo esta evaluación.

Tabla 12

Definición de los criterios con su respectivo peso (A) para la evaluación de la atractividad

Criterios de atractividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto													
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población													
No existe exposición de componentes peligrosos durante su													

procesamiento												
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados												
Suma total		Atractividad total										

Tabla 13

Definición de los criterios con su respectivo peso (D) para la evaluación de la viabilidad

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías													
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos electricos y electronicos													
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.													
Requiere pocos conocimientos													

técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.												
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)												
Suma total		Viabilidad total										

Después de calcular el resultado de la multiplicación de los valores de A y B en la tabla 14 "Atractividad Total" (AT) y "Viabilidad Total" (VT), se procedió a completar la tabla 14 para evaluar y clasificar las diferentes opciones de aprovechamiento. Para ello, se presentaron los puntajes de atractividad y viabilidad en los ejes vertical y horizontal, respectivamente. En ambos ejes, la puntuación oscila entre 10 y 100. Si los valores se acercan más a 10, las propuestas para la gestión de los RAEE son consideradas dudosas, pobres o de baja calidad. Por otro lado, si se acercan más a 100, estas iniciativas son consideradas buenas o muy buenas. La tabla número 9 proporciona una mejor visualización de la clasificación de las alternativas.

Tabla 14

Procedimiento para clasificar cada alternativa de acuerdo con su viabilidad y atractividad total

	10	60	80	100
Atractividad Total	Dudosa	Buena	Muy buena	80
	Pobre	Dudosa	Buena	60
	Mala	Pobre	Dudosa	10
	Viabilidad Total			

En este momento, se lograron los resultados que mejor se adaptaron a las necesidades, previamente establecidas. Para hacer la presentación de la información más eficiente, se decidió crear la tabla 15. En esta tabla se encuentran las 10 metodologías junto con su puntaje de

atractividad total (AT) y viabilidad total (VT), así como su clasificación correspondiente. Se han asignado dos tipos de calificaciones: 1) las alternativas marcadas en verde, que se consideran "**Buenas**", y 2) las opciones resaltadas en rojo, que se consideran "**Dudosas**". A continuación, se presenta la siguiente información.

Tabla 15

Información resumida de los resultados a partir de la evaluación y clasificación de las alternativas para el aprovechamiento de RAEE

Alternativas	Atractivida d Total (AT)	Viabilidad Total (VT)	Calificación	Puntajes Totales (PT)
Obtención de metales preciosos y metales provenientes de los RAEE mediante tratamientos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos	54	56	Dudosa	55
Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana	57	66	Buena	61,5
Recuperación del oro mediante el método de disolución en mezcla ácida	53	70	Buena	61,5
Técnica de pellets auto reductores sirve para la extracción del plomo del vidrio	46	49	Dudosa	47,5
Recuperación de metales mediante el proceso de Hidrometalurgia.	67	77	Buena	72
Recuperación de metales en los materiales particulados de RAEE.	54	65	Dudosa	59,5
Proceso hidrometalúrgico para la recuperación de cobre a partir de las tarjetas de circuitos integrados los	70	64	Buena	67

RAEE				
Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos	75	64	Buena	69,5
Recuperación de oro de desechos electrónicos utilizando nano papeles independientes de celulosa y marcos orgánicos covalentes iónicos	60	42	Dudosa	51
Recuperación de metales provenientes de placa de circuito impreso (PCB) de residuos electrónicos por microorganismos y plantas.	65	49	Dudosa	57

De acuerdo con los datos presentados, se puede observar que de las 10 alternativas sobre aprovechamiento de los RAEE, fueron 5 opciones, las cuales cumplen con los criterios establecidos, ya que tanto su atractividad como su viabilidad se clasifican como "Buena", como por ejemplo, (Valoración de los RAEE a través de la minería urbana, Recuperación del oro mediante el método de disolución en mezcla ácida, Recuperación de metales mediante el proceso de Hidrometalurgia, Proceso hidrometalúrgico para la recuperación de cobre a partir de las tarjetas de circuitos integrados, Minería urbana como estrategia para fomentar la economía circular en la gestión de estos) Después, con el objetivo de determinar las opciones más ideales basadas en los 5 resultados mencionados, se eligieron las 2 estrategias más apropiadas para el Municipio de San Juan de Pasto, en donde, se calculó un promedio entre la VT y la AT para cada metodología, por tal motivo, en la tabla 15 se indica las celdas que contienen las 2 técnicas con los puntajes más altos se han resaltado en color naranja, las cuales corresponden a: Recuperación de metales mediante el proceso de Hidrometalurgia con 72 puntos y Minería urbana como estrategia para fomentar la economía circular mediante la recuperación convencional de metales ferrosos y no ferrosos con 69,5 puntos, siendo este último el mejor procedimiento para el aprovechamiento de los RAEE.

Finalmente, las dos alternativas se eligieron porque son las que se pueden implementar mejor en el contexto de la ciudad. El objetivo es permitir que las chatarrerías puedan adoptar algunas de estas metodologías para el aprovechamiento de los RAEE. Según la encuesta realizada en el primer objetivo, se cree que estas dos alternativas pueden ser de fácil implementación para el casco urbano de la ciudad. Al reciclar y reutilizar los materiales presentes en los RAEE, se reduce la cantidad de residuos que se envían a los vertederos o se incineran, lo que ayuda a disminuir la contaminación ambiental y los impactos negativos en la salud humana.

Se descartaron las otras 5 estrategias para el aprovechamiento de los RAEE debido a que sus características adquieren una connotación “Dudosa” estas son: (Obtención de metales preciosos y metales provenientes de los RAEE mediante tratamientos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos, Técnica de pellets auto reductores sirve para la extracción del plomo del vidrio de CRT, Recuperación de metales en los materiales particulados de RAEE, Recuperación de oro de desechos electrónicos utilizando nano papeles independientes de celulosa y marcos orgánicos covalentes iónicos, Recuperación de metales provenientes de placa de circuito impreso (PCB) de residuos electrónicos por microorganismos y plantas).

Seguidamente, de acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, es indispensable explicar a profundidad en qué consisten las dos metodologías más adecuadas que fueron especialmente seleccionadas para contribuir en la solución del aprovechamiento de los RAEE, en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto, por ende estas son Recuperación de materias primas secundarias de RAEE de categoría 3 y Minería urbana como herramienta para una economía circular en el aprovechamiento de estos residuos. En relación a esto, es importante considerar aspectos como los pasos necesarios para llevar a cabo su implementación, las variables de control y algunas recomendaciones.

Primera alternativa: Recuperación de metales mediante el proceso de Hidrometalurgia.

La mayoría de los procesos industriales de reciclaje y recuperación de metales consisten en métodos físicos e hidrometalúrgicos, por lo tanto se empieza realizando la separación de componentes de los RAEE mediante procesos como la clasificación, la trituración y la utilización de campos magnéticos, con el fin de extraer metales ferrosos, plásticos y vidrio.

Luego, se procede a un proceso de lixiviación de los componentes triturados (Díaz, 2018) para extraer metales no ferrosos.

Como se mencionó anteriormente, el contenido de metales preciosos en los desechos electrónicos representa la partida mayoritaria en materia de valor de los mismos. El procesamiento hidrometalúrgico implica realizar una serie de lixiviaciones ácidas o cáusticas en material sólido como primer paso. Posteriormente, las soluciones resultantes se someten a diferentes procedimientos de separación, purificación, como la precipitación de impurezas, la extracción por solvente, la absorción e intercambio iónico, con el objetivo de aislar y concentrar los metales de interés. Por último, estas soluciones son tratadas mediante técnicas como la electro-refinación, la reducción química o la cristalización para lograr la recuperación de los metales (Zhang, 2013).

La minería urbana se considera una estrategia superior de gestión de residuos para la economía circular en muchos aspectos diferentes. Desde una perspectiva de costos, los estudios muestran que la minería urbana puede ser hasta un 50% más barata que la minería tradicional.

En términos de impacto ambiental, en comparación con otras alternativas, la minería urbana reduce significativamente la necesidad de nueva minería, reduciendo en un 60% la degradación del suelo y la contaminación del agua asociadas con la minería convencional.

Además, las tasas de recuperación de metales preciosos alcanzan hasta el 90%, superando con creces las cifras logradas con métodos de gestión de residuos más tradicionales.

Estos beneficios económicos, ambientales y de recuperación de recursos hacen de la minería urbana una opción más fuerte y sostenible en la transición hacia una economía circular.

Paso 1. Desensamblaje de los RAEE.

Los RAEE se desensamblan manualmente, con el fin de separar los residuos peligrosos y las partes que pudieran interferir en el proceso hidrometalúrgico. Especialmente las partes a separar son: carcasas metálicas o plásticas, baterías y pantallas LCD. Los componentes que se encuentren

soldados se los puede dejar en su mismo estado en tal caso de que no se requiera, dado a que al no ser necesario el proceso requerirá de menos pasos manuales posibles.

Paso 2. Reducción en tamaño de los componentes de los RAEE.

Para el proceso hidrometalúrgico se debe de aumentar la superficie específica de las partículas con el fin de facilitar la disolución del cobre, el paladio y el oro, por lo cual se disminuye el tamaño del material mediante trituración y posterior molienda. Para ello se requiere de una máquina trituradora de mandíbulas y posteriormente de un molino de discos o de bolas.

Paso 3. Extracción de los componentes solubles mediante lixiviación.

La lixiviación de metales preciosos implica extraer un componente soluble de un sólido mediante el uso de un solvente, lo cual constituye la primera etapa del proceso hidrometalúrgico. Los agentes de lixiviación más comunes utilizados en la recuperación de metales preciosos incluyen cianuro, haluro, tiourea y tiosulfato. En el procesamiento de RAEE mediante hidrometalurgia, se emplean diferentes solventes ácidos o básicos, como cianuro de sodio (NaCN), tiourea ((NH₂)₂CS), tiosulfato (S₂O₃²⁻), ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H₂SO₄) y ácido nítrico (HNO₃).

En el proceso hidrometalúrgico convencional, se suele llevar a cabo la lixiviación utilizando cianuro, con el fin de realizar una separación entre las fases sólida y líquida. El líquido o filtrado obtenido en la etapa anterior contiene una concentración elevada de cobre, el cual se recupera mediante tratamientos químicos, como la cementación, coagulación, precipitación, y otros procesos similares."

En la industria minera generalmente se ha empleado el cianuro como agente para extraer oro. El proceso de disolución del oro en una solución de cianuro es principalmente de naturaleza electroquímica. La influencia del pH en la velocidad de disolución de metales preciosos como el oro, la plata, el paladio, el cobre y el platino, Para que ocurra la máxima disolución de oro, plata, paladio, cobre y platino en una solución de cianuro se logra cuando el pH se encuentra en el rango de 10 a 10.5 (Zhang, 2013).

Paso 4. Filtración y neutralización.

Una vez concluida la etapa de lixiviación en cianuro, la solución es filtrada mediante un kitasato y una bomba de aire. La fase líquida se almacena y por otra parte los sólidos son llevados a una nueva solución acuosa y neutralizados con hidróxido de sodio u óxido de calcio, con el fin de obtener un pH de 10.5 a 11, óptimo para iniciar el proceso de cianuración.

El proceso para la recuperación de metales mediante la hidrometalurgia, se puede afirmar que este procedimiento es el más rápido y eficiente que hay a escala industrial, y es más limpio y amigable con el ambiente si se compara con otras metodologías usadas para este fin (Erust, 2015). En la Figura 15 se representa la metodología para la recuperación de metales base y preciosos de los componentes de los RAEE.

La gran variedad de RAEE y la gran diversidad de materiales que los componen, dificulta el hecho de establecer una caracterización generalizada, no solo dentro de una misma categoría o subcategoría, sino que incluso cuando se trata de aparatos que ofrecen la misma función, ya que la cantidad y tipos de materiales empleados por los distintos fabricantes varía. La mayoría de artículos sobre caracterización de RAEE distinguen cuatro grupos principales de materiales presentes: metales, que se dividen en 2 grupos, férricos y no férricos (incluye los metales preciosos), vidrio, plástico y otros. Según la caracterización general de RAEE aproximada por el centro europeo de recursos y gestión de recursos, el hierro es el metal que se encuentra en mayor proporción y supone casi la mitad del peso total de los RAEE. Los plásticos son el segundo componente más abundante, representando cerca del 21% del peso total. Los metales no ferrosos, incluyendo metales preciosos, representan un 13% del peso total de los RAEE, del cual el cobre representa el 7%. Con el paso del tiempo, los metales se han mantenido como la fracción de materiales dominantes, sin embargo los materiales peligrosos y tóxicos han ido disminuyendo (Ongondo, 2011).

Algunos de los componentes de los RAEE, como las pilas, baterías o cartuchos y tóners, entre otros, se consideran peligrosos por las sustancias que los componen. Los metales pesados, clorofluorocarburos, litio, mercurio, amianto y materiales ignífugos, como los pirorretardantes bromados, entre otros, tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente y la salud humana, es

por eso que resulta de gran importancia conocer la caracterización de los RAEE para poder llevar a cabo el tratamiento más adecuado.

En cuanto a los materiales y equipos necesarios, cada técnica requiere diferentes materiales y equipos específicos, como hornos, reactores, soluciones químicas, etc. Las ventajas económicas y ambientales de cada técnica también pueden variar dependiendo de las condiciones locales y de los recursos disponibles. En general, la recuperación de metales y minerales a partir de residuos eléctricos y electrónicos puede tener ventajas económicas y ambientales significativas, como la obtención de materiales valiosos que pueden ser reutilizados en la industria y la reducción de la cantidad de residuos que se envían a los vertederos, lo que puede contribuir a la sostenibilidad.

Los RAEE una vez llegan a la instalación de tratamiento son sometidos a un análisis visual para identificar y separar aquellos que no se pueden tratar en la instalación, el resto sufren un proceso de desmontaje manual donde se separan los componentes y sustancias peligrosas y/o tóxicas, y los componentes y piezas con un elevado potencial de valorización, para posteriormente ser sometidos a un tratamiento especializado, es decir, se separan todos los componentes, materiales y sustancias. Se considera importante mencionar que en algunos casos al inicio del pre-proceso, antes de realizar la descontaminación los RAEE, estos pueden ser sometidos a un proceso de desmontaje mecánico, que tiene por objetivo romper las carcasas de este modo agilizar el proceso manual de extracción de componentes valiosos y sustancias peligrosas. En los casos en que se lleva a cabo esta técnica, existe el riesgo de que se liberen sustancias peligrosas que puedan contaminar al resto del flujo, es por este motivo que cuando existe este riesgo se da prioridad al proceso manual de desmontaje y descontaminación. Por otra parte también se debe destacar que en el proceso de desmontaje mecánico se pueden fragmentar los circuitos impresos, situación no deseada cuando el objetivo es recuperar el máximo de metales preciosos contenidos en estos y con la mayor concentración.

El resto del flujo sufre un proceso de triturado para conseguir reducir el tamaño y de este modo facilitar el resto de operaciones que vienen a continuación. Cabe destacar que a veces previamente al proceso de triturado se puede optar por un proceso de pre-triturado, sin embargo cuando el proceso de desmontaje es mecánico, o cuando los equipos a tratar son de tamaño

reducido, con una sola etapa de triturado puede ser suficiente. Las piezas de tamaño más reducido obtenidas a la salida del triturador reciben el nombre de scraps. A continuación, se realiza un proceso de separación mecánica de scraps con alto contenido en metales férricos, típicamente a través de separadores magnéticos, y posteriormente se realiza otro proceso de separación con separadores de corriente de Eddy o Foucault. Para lograr una mayor separación y clasificación de los scraps, la corriente de metales no férricos y la corriente de no metales se introducen en un equipo de separación densimétrica que permite una segregación más afinada de los distintos metales y no metales.

Los scraps metálicos y componentes con elevado potencial de valorización, principalmente las tarjetas de circuitos impresos, se someten a un tratamiento adicional que consiste en la aplicación de tecnologías propias de la industria metalúrgica, principalmente técnicas pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas, electrometalúrgicas y biometalúrgicas con el objetivo de poder recuperar y refinar los metales para que puedan volver a ser utilizados. Estos metales y minerales pueden ser utilizados en la fabricación de nuevos productos electrónicos, así como en otras industrias, como la automotriz, la construcción, entre otras. Además, la recuperación de estos materiales puede contribuir a la reducción de la extracción de recursos naturales y a la disminución de la cantidad de residuos que se envían a los vertederos, lo que puede tener beneficios ambientales significativos.

Segunda alternativa. Minería urbana como herramienta para una economía circular mediante la recuperación convencional de metales ferrosos y no ferrosos.

La minería urbana es una práctica económica que aporta al desarrollo de una economía circular, esta práctica está encaminada a reducir el impacto de la minería inversa y mitigar la disminución de los recursos obtenidos a través de las actividades mineras para su conversión en materias primas primarias las cuales se usan en la fabricación de diversos productos, de tal manera que se busca realizar la recuperación de los metales y minerales de los componentes que conforman a los RAEE. Para llevar a cabo este proceso de recuperación la metodología consiste en diferentes procesos físicos, hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos los cuales consisten en un pretratamiento, lavado, trituración, separación e incineración.

Paso 1. Pretratamiento. Desensamblaje de componentes de los RAEE.

Inicialmente se hace la recepción de equipos a las personas naturales, empresas, así como de la empresa de recolección y aseo del casco urbano del municipio de San Juan de Pasto. Posteriormente estos residuos serán recibidos, pesados mediante una pesa o báscula para luego ser clasificados de acuerdo al tamaño y a la categorización de acuerdo a la tabla 4.

Es importante destacar que el sitio donde se llevará a cabo el almacenamiento de los RAEE para que sea adecuado debe contar con las siguientes condiciones:

- Debe tener una cubierta para la protección contra la intemperie con el fin de evitar que agentes contaminantes de los RAEE puedan causar daños en el ambiente por efectos del clima.
- Los pisos del lugar de almacenamiento deben ser impermeables con el fin de evitar filtraciones de los agentes contaminantes de los RAEE en el suelo.
- Los RAEE deben ser colocados en plataformas elevadas, como estibas, con el propósito de facilitar el almacenamiento, la carga y transporte para los siguientes procesos.

Paso 2. Desmantelamiento manual de los RAEE.

Los RAEE de grandes dimensiones son sometidos a un proceso de reducción de sus componentes, por lo tanto pasan por una mesa de rodillos para realizar el respectivo desmantelamiento. Para los de pequeñas dimensiones se los desmantela en mesas diferentes a la mesa de rodillos; finalmente se reagrupan con los aparatos de mayor tamaño en la cinta transportadora. Cabe destacar que dentro del proceso de desmantelamiento se realiza la extracción de los residuos tóxicos y se reagrupan con los aparatos de mayor tamaño en la cinta transportadora.

Figura 8

Mesa de rodillos



Fuente: CINTAZA [<https://n9.cl/dpo8w>]

Dentro de este proceso los operarios deberán emplear herramientas como alicates, destornilladores, entre otras, para desmontar los componentes de los RAEE. Así mismo, se requiere la extracción de las carcasas de los equipos con el fin de evitar atascamientos en las trituradoras (MAVDS, 2010). En la separación de los componentes para extraer plásticos, metales ferrosos y no ferrosos, y vidrio. En el caso del vidrio se separa de los demás componentes y se procesa en la trituradora de vidrio. Cabe de mencionar que en este paso se puede encontrar con componentes tóxicos por lo tanto se los extraerá de los RAEE, y se depositará en tanques y contenedores de almacenamiento que sean adecuados para la disposición de estos residuos peligrosos.

Los métodos a usarse pueden ser; corte, fractura, presión y desensamble mecánico con herramientas (alicates, destornilladores, etc.). Se consideran 4 fases; primera, desensamble de la cáscara o cubierta; segunda, extracción de materias primas reciclables y materiales aprovechables (plásticos, metales no ferrosos y ferrosos, componentes electrónicos, eléctricos y electromecánicos); tercera, con uso de tecnología específica para la extracción de materiales de valor (oro, níquel, cobre, hierro, aluminio e imanes permanentes); y cuarta, separación de materiales no peligrosos y no aprovechables (MAVDS, 2010).

Los RAEE pertenecientes a la categoría de equipos de informática y telecomunicaciones, como televisores, pantallas y tecnología LCD, los operarios deberán realizar la extracción de

elementos tóxicos, como los tubos fluorescentes, con el objetivo de prevenir posibles accidentes al manipular vidrios que contienen cristal líquido. De esta manera, únicamente se procederá a procesar los materiales plásticos, cables, piezas metálicas y tarjetas de circuito impreso. En el caso de los televisores con tecnología TRC (Tubos de Rayos Catódicos), se retira el vidrio frontal y se procesa en la trituradora de vidrio. Una vez completada esta fase, los componentes se dirigirán a una cinta transportadora que los conducirá hacia la máquina trituradora (MAVDS, 2010).

Paso 3. Trituración de los RAEE.

Los componentes extraídos de los RAEE pasan a una máquina trituradora para obtener una mezcla de fragmentos de metales y plásticos, para posteriormente pasarlos por una primera máquina de separación de componentes (MAVDS, 2010).

Los componentes recuperados son procesados en una máquina trituradora con el fin de obtener una combinación de fragmentos de metal y plástico de pequeño tamaño. Posteriormente, esta mezcla se somete a una primera máquina de separación de componentes.

Figura 9

Máquina trituradora de materiales



Fuente: RAMONERRE [<https://n9.cl/qvem6>]

Paso 4. Separación de componentes por banda magnética.

En esta fase del proceso, se lleva a cabo la separación de los metales ferrosos de los componentes previamente triturados de los RAEE. Esto se logra mediante la atracción que los metales ferrosos muestran frente a un campo magnético, permitiendo así que el operario los recoja y los deposite en un contenedor designado. Estos metales ferrosos se recibirán finalmente

en un área designada como productos finales. En lo que respecta a los metales no ferrosos y a los materiales no metálicos, siguen su recorrido en una cinta transportadora hacia el separador Foucault. (MAVDS, 2010).

Figura 10

Banda Magnética industrial



Fuente: BUNTING [<https://n9.cl/oppgp>]

Paso 5. Separación de metales ferrosos y no ferrosos por separador Foucault.

Los materiales son sometidos a una máquina de separador Foucault, el cual realiza la separación de los metales no ferrosos como lo es el aluminio, cobre, latón, así mismo, los no metales como plásticos y cauchos, (MAVDS, 2010). según lo descrito en un proceso que implica un rotor giratorio a alta velocidad. Este rotor genera una corriente eléctrica inductora, lo que a su vez produce un campo magnético que resulta en la expulsión de los metales no ferrosos.

Figura 11

Separador Foucault



Fuente: SOLLAU [<https://n9.cl/7xpdw>]

Paso 6. Separación de no metales por separador vibrante.

Se realiza la separación del cobre y el aluminio mediante un separador vibrante y al mismo tiempo, se emplea otro separador vibrante en paralelo para separar los componentes no metálicos, como el plástico, cauchos y otros materiales, (MAVDS, 2010).

Figura 12

Separador vibrante



Fuente: Direct Industry [<https://n9.cl/o4dn0k>]

Paso 7. Trituración de vidrio.

Mediante una trituradora para granular, se tritura todo el vidrio que pueda extraerse de los procesos anteriores.

Figura 13

Trituradora para granular vidrio



Fuente: Ciclotec [<https://n9.cl/7wu42k>]

Paso 8. Reciclaje de cables de los RAEE.

Los cables obtenidos en el desmantelamiento de los RAEE son introducidos en un equipo reciclador de cables. Este equipo consta de una tolva de entrada al pre-triturador, del que se obtienen fragmentos de cable que se transportan hasta el triturador, que permite obtener partículas de tamaño reducido, de cobre y plástico. y se obtienen por separado virutas de cobre, y fracciones de plástico, principalmente PVC y polietileno que se emplean en el recubrimiento del cable como material aislante.

Figura 14

Triturador de cables



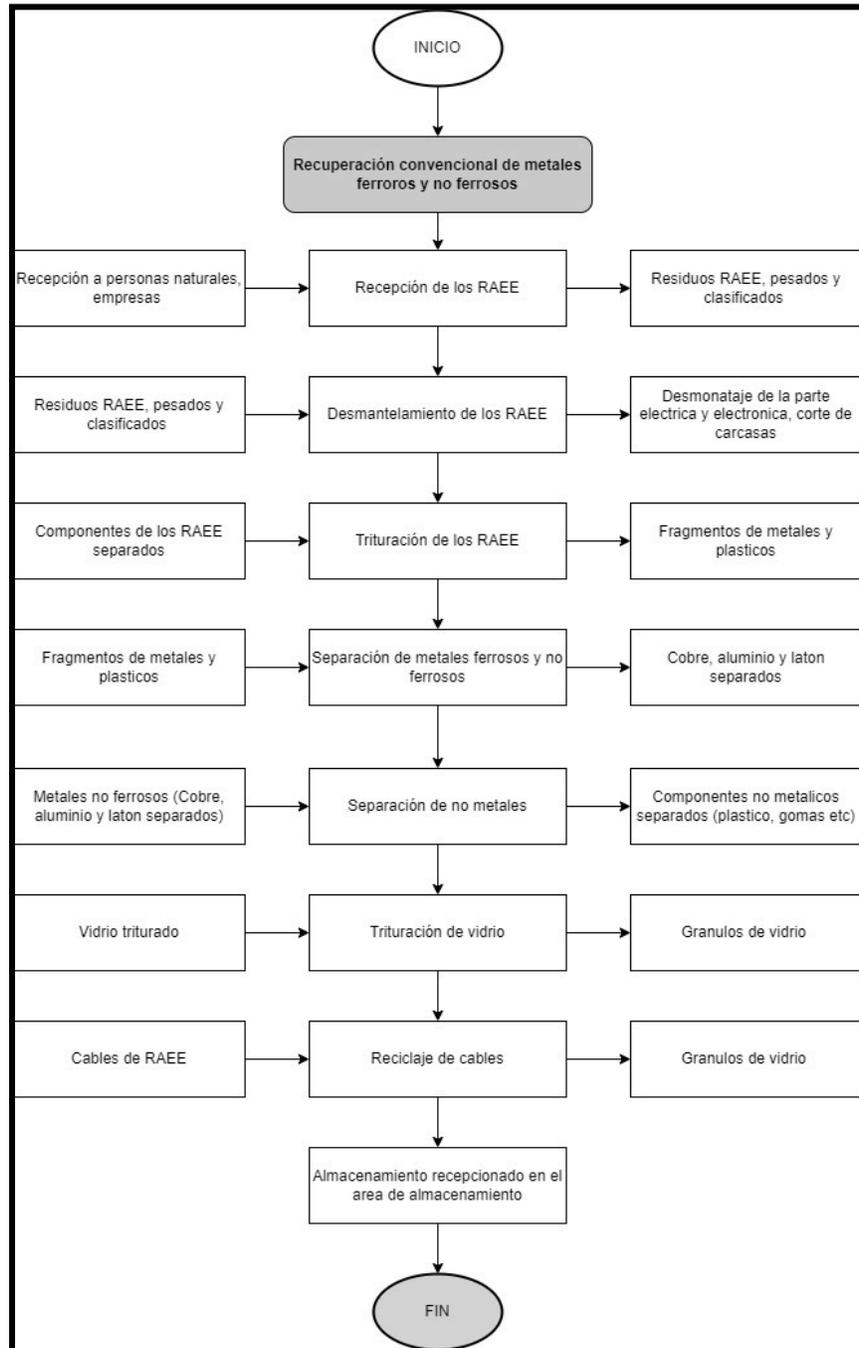
Fuente: SOKKERMILL [<https://n9.cl/21senq>]

Paso 9. Material recepcionado en el área de almacenamiento.

Todo el material obtenido anteriormente al estar separado en metales ferrosos, metales no ferrosos, vidrio, y plástico este será recepcionado en un área de almacenamiento mediante contenedores para luego que se lo pueda comercializar a empresas que requieran de estos materiales como materias primas para los procesos productivos (MAVDS, 2010).

Figura 15

Recuperación convencional



3. Conclusiones

Los (RAEE) en el área urbana de San Juan de Pasto representó una oportunidad para implementar procesos de reciclaje y reutilización, lo que requiere aumentar la inversión estatal, promover la cooperación entre entidades gubernamentales, instituciones educativas y chatarrerías, e involucrar a todos los actores interesados en el manejo sostenible de los RAEE. Estas acciones son fundamentales para lograr una gestión eficiente y responsable de los residuos electrónicos, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y económica en la región.

La investigación sobre el uso de (RAEE) en el área urbana de San Juan de Pasto ha arrojado resultados significativos, destacando la necesidad de implementar estrategias efectivas para el manejo de estos residuos. Se determinó la viabilidad de diversos métodos de procesamiento de RAEE, incluida la extracción de metales preciosos mediante tratamiento hidrometalúrgico.

Asimismo, se enfatiza la importancia de la participación de todas las partes interesadas en la gestión efectiva de los RAEE y la necesidad de desarrollar un plan de gestión de residuos para minimizar los riesgos ambientales y de salud. Estos resultados proporcionan una base sólida para implementar medidas de gestión sostenible de RAEE en contextos locales y resaltan la importancia de la inversión pública y el fomento de redes de colaboración para abordar el desafío de manera integral.

En el marco del objetivo 1 de la investigación, se realizó una caracterización completa de los (RAEE) generados en el área metropolitana de San Juan de Pasto, poniendo especial énfasis en la cantidad y tipo de estos residuos. a los puntos de acopio, especialmente en las chatarrerías e INNOVA S.A.S. Aunque la participación en los depósitos de chatarra fue limitada, la información recopilada se consideró representativa y proporcionó una visión general importante de la naturaleza y el volumen de RAEE presentes en San Juan de Pasto.

Este análisis detallado sienta las bases para comprender la escala del desafío de la gestión de RAEE en áreas urbanas, proporcionando información crítica para el desarrollo de estrategias efectivas para la gestión y el uso de estos residuos.

Con base en la revisión de la literatura del Objetivo 2, se determinó que la técnica más investigada para la utilización de (RAEE) es la hidrometalurgia, que implica la separación de metales mediante reacciones en el ambiente acuático. Por otro lado, la técnica más frecuente se identifica como la minería urbana, que busca recuperar materiales preciosos de RAEE presentes en entornos urbanos.

La mayoría de las técnicas analizadas encuentran desafíos relacionados con la diversidad de materiales contenidos en los RAEE, así como con la gestión de componentes tóxicos y la necesidad de minimizar el impacto ambiental durante el proceso de uso.

El aprovechamiento de residuos RAEE es de suma importancia debido a que estos residuos contienen materiales valiosos por lo que no solo ayuda a reducir la necesidad de extraer nuevos recursos naturales, sino que también genera ingresos y novedosas alternativas que han sido implementadas para la extracción de metales presentes en los componentes de los RAEE, lo que contribuye al desarrollo económico. Por lo tanto, es fundamental investigar y aplicar soluciones sostenibles para el manejo adecuado de los RAEE, como la implementación de procesos de recuperación y reciclaje de los componentes presentes en los RAEE, de tal manera que se promueva una educación pública sobre la importancia de la gestión responsable de estos residuos.

Al realizar una búsqueda de información secundaria se tiene en cuenta que a nivel nacional e internacional se han formulado y desarrollado diferentes tecnologías de aprovechamiento de RAEE, las cuales están encaminadas a disminuir el impacto ambiental generado por el crecimiento exponencial de los RAEE a nivel global. Estas tecnologías pueden ser adaptadas para la gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en el contexto local.

El aprovechamiento de los componentes de los RAEE como lo son los metales ferrosos y no ferrosos son importantes en los procesos industriales dado a que representa una opción factible y novedosa, ya que agrega valor y reutiliza los desechos. Esto posibilita la obtención de materias primas esenciales para la actividad humana, como una variedad de metales, a través del proceso de reciclaje, sin requerir la explotación de recursos naturales. El enfoque de las alternativas encontradas para recuperar metales a partir de RAEE consiste principalmente en aplicar

inicialmente un método de procesos físicos para la separación de los componentes de los RAEE, y posteriormente un proceso hidrometalúrgico para la extracción de metales.

Cabe destacar que no todos los componentes presentes en los RAEE contienen metales valiosos o son económicamente rentables de extraer. Algunos componentes pueden contener plásticos, vidrios u otros materiales no metálicos que tienen poco valor en el mercado de la chatarra. Estos componentes suelen ser desechados o se les da un tratamiento de disposición adecuada.

En la recopilación de información primaria sobre los RAEE, en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto, se encontró que los comerciantes dedicados a la compra y venta de chatarra reportan cantidades mensuales promedio de 2 a 3 toneladas de residuos, sin embargo, este dato es un aproximado dado a que al momento de recepcionarlos no llevan un registro de las cantidades y clases de RAEE que reciben; además se evidencia que no hay una disposición adecuada y muy poco aprovechamiento de los componentes presentes en los RAEE, debido a que el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto adolece de un plan de gestión de estos residuos.

Todas las alternativas de aprovechamiento investigadas durante la recopilación de información secundaria, todas tienen un enfoque de economía circular, dado a que mediante procesos de desmontaje, y desmantelamiento lo que se busca es extraer metales y componentes que pueden ser aprovechados como materias primas para la elaboración de nuevos productos los cuales requieren de este tipo de materiales.

4. Recomendaciones

Mediante estas alternativas de aprovechamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos pueden servir de apoyo para que las entidades gubernamentales formulen un plan de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de tal manera que en el municipio se busque minimizar y mitigar los riesgos a la salud humana y ambiental.

Sería recomendable aumentar la inversión estatal en este ámbito y fomentar la creación de redes de cooperación, donde entre el Estado, las instituciones educativas y las chatarrerías.

Para una gestión efectiva de los (RAEE), es crucial contar con la participación de todos los actores involucrados en cada etapa del ciclo de vida. Esto implica identificar a los participantes relevantes y establecer parámetros que permitan alcanzar los objetivos establecidos, definiendo acciones específicas y asignando responsabilidades claras a cada uno de los involucrados. De esta manera, se logrará una gestión integral y coordinada de los RAEE, promoviendo la reducción de impactos ambientales y garantizando la seguridad en todo el proceso.

Se recomienda a los responsables de las áreas específicas de las empresas especializadas de manejo de los desechos electrónicos definir condiciones, ambientes, operaciones, procesos y características adecuadas para la recuperación y tratamientos de los metales preciosos encontrados en los RAEE.

Las alternativas seleccionadas para el aprovechamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos pueden servir como punto de partida para la generación y formulación de proyectos e ideas de negocio enfocadas en este ámbito. Al identificar y explorar estas alternativas, se pueden descubrir oportunidades innovadoras para el manejo sostenible de los RAEE, fomentando la economía circular, la reutilización, el reciclaje y la valorización de los materiales presentes en estos residuos.

Se solicita a todas las empresas gestoras suministrar a la administración municipal la información detallada y precisa sobre las cantidades exactas de residuos de aparatos eléctricos y

electrónicos generados, así como su disposición final. Se les insta a tomar en cuenta todos los datos relevantes para asegurar la exactitud y completitud de la información proporcionada.

Referencias bibliográficas

- Alcaldía de Pasto (2016). Anexo 1 Caracterización territorial y metodología. Recuperado el 23 de mayo de 2023, de https://www.pasto.gov.co/index.php/acuerdos/acuerdos-2020?download=16988:anexo_no_1_caracterizacion_territorial_y_metodologia
- Angélica, L., & Reyes, L. S. (n.d.). Redalyc.org. Retrieved October 5, 2022,
- Arteaga, F. (05 de marzo de 2017). *¿Cómo se maneja la basura electrónica en Colombia? Obtenido de EL NUEVO SIGLO*
- A. Akcil; C. Erust; C. Sekhar Gahan; M. Ozgun; M. Sahin; A. Tuncuk, “Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixivants – A review,” *Waste Manag.*, vol. 45, pp. 258– 271, Nov. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.017>
- Baldé, Wang, Kuehr, & Huisman, 2015. THE GLOBAL E-WASTE MONITOR - United Nations University
- Cui, J., & Zhang, L. (2008). Metallurgical recovery of metals from electronic waste: a review. Obtenido <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389408002161?via%3Dihub>
- CONPES 3874 [Departamento Nacional de Planeación]. Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos. 21 de Noviembre de 2016 <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Decreto N° 284 . del Hoja No. 4 de 10. Continuación del Decreto "Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos. y Electrónicos.

RAEE Y se dictan otras disposiciones

Decreto 1076 de 2015 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por medio del cual se Expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. 26 de Mayo de 2015

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>

Decreto 1713 de 2012 [Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible]. Por medio del cual se modifica el artículo 10 del Decreto 971 de 2011. 15 de Agosto de 2012

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=49443>

Dicelis, C. y Rodríguez, C (2016). DISEÑO DEL PROGRAMA PARA LA PROMOCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS - RAEE EN EL MUNICIPIO DE CABRERA CUNDINAMARCA. Revista UDEC, 39 (1), 79 – 102

El Heraldo. (2015, diciembre 02). América Latina genera 9 % basura electrónica mundial, la mayoría proviene de Brasil y México.

El DANE, en Pasto. (s. f.). Recuperado 27 de septiembre de 2022.

Fernández Protomastro, G. (2014). Buenas prácticas para la gestión sostenible de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos - RAEE. Buenos Aires: Grupo Uno.

Guerrero, G. D. (2003). Técnicas participativas para la Planeación. México DF: Gabriel de las Nieves Sanchez Guerrero <https://acortar.link/dkbzH4>

Kitsara, I. (junio de 2014). OMPI Revista. Obtenido de WIPO.

L. A. Diaz; T. E. Lister, “Economic evaluation of an electrochemical process for the recovery of metals from electronic waste,” Waste Manag., vol. 74, pp. 384–392, Apr. 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.050>

LOPEZ, HELBES. 2007. Política para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos generados en Colombia. Universidad industrial de Santander, escuela de ingeniería química, Bogotá D.C. disponible en <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7602/2/124206.pdf>

Li, J. (2017). Recycling materials from waste electrical and electronic equipment. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11(5), 14. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-1001-z>

Li, J., Duan, H., & Yuan, W. (2009). Case study of a Suzhou pilot project on the suitable treatment technology for scrap computers in China. En *Sustainable Systems and Technology*, IEEE International Symposium on (Vol. 0, p. 5). <https://doi.org/10.1109/ISSST.2009.5156714>

Ley 1672 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. 19 de Julio de 2013
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/ley-1672-2013.pdf>

MAVDS. (2010). Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Retrieved from Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia: <http://www.residuoselectronicos.net/wp>

Marshall, R. E., & Farahbakhsh, K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33(4), 988– 1003. doi:10.1016/j.wasman.2012.12.023

Mazzeo, N. 2012. Manual para la sensibilidad comunitaria y educación ambiental: gestión integral de residuos sólidos urbanos. San Martín. Argentina.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2010). Resolución 1297 de 2010. Por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de pilas y/o acumuladores en Colombia [PDF].

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-1297-de-2010.pdf>

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*. Bogotá.

Ministerio De Ambiente, F., Sostenible, D., Camacho Lozano, A. E., Hernández, C. A., Diagram. Gov.co. Recuperado el 9 de marzo de 2023, de https://archivo.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/assets/RAEE_baja.pdf

Naciones Unidas. (04 de mayo de 2015). *La basura electrónica es un problema cada día mayor, según el PNUMA*. Obtenido de Noticias ONU. (N.d.). Edu.Co. Retrieved October 5, 2022.

Pasto, A. (2015). Actualización del plan de gestión integral de residuos sólidos.

https://www.pasto.gov.co/index.php/transparencia/planes-ambientales?download=14838:actualizacion_plan_de_gestion_integral_de_residuos_solidos_pgirs_2015_2027_v3 (PGIRS)

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2020). Directiva 2012/19/UE del parlamento europeo y del consejo, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Recuperado el Marzo de 2018, de eur-lex.europa.eu: <https://eurlex.europa.eu/legal>

Pascuas Rengifo, Y., Correa Cruz, L., & Marlés Betancourt, C. (2018). Residuos electrónicos: análisis de las implicaciones socioambientales y alternativas frente al metabolismo urbano. *Ciencia, docencia y tecnología*, (56), 242-252.

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-17162018000100011

Pérez, E. A. (16 de enero de 2017). P & M. Obtenido de Revista pym.

Plan Nacional de Desarrollo (PNUD, 2009). Balance de resultados 2019. Recuperado el 23 de mayo de 2023, de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Sinergia/Documentos/Balance_de_Resultados_2019_PND_2018_2022.pdf

Plan Nacional de Desarrollo (PND, 2010). Plan Desarrollo Nacional Tomo 1. Recuperado el 23 de mayo de 2023, de https://colaboracion.dnp.gov.co/cdt/pnd/pnd_tomo_1.pdf

Postand y Baund. “Solid waste management and recycling;actors,partnerships and policies in Hyderabad, India and Nairobi, Kenya”. USA, 2004 Vista de Factores socioeconómicos que influyen en la inadecuada gestión integral de residuos sólidos en el distrito de María (untrm.edu.pe)

Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (19 de Noviembre de 2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre del 2008. Estrasburgo. Obtenido de Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado de España: <http://www.boe.es/doue/2008/312/L00003-00030.pdf>

Resolución 1297 de 2010 [Ministerio de Ambiente, Vivienda y desarrollo territorial]. Por la cual Se establecen Sistema de recolección selectiva y gestión ambiental de Pilas y/o acumuladores y se adoptan otras disposiciones. 8 de Julio de 2010 <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-1297-de-2010.pdf>

Resolución 1512 de 2010 [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por el cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de los residuos de computadoras y/o periféricos y se dictan otras disposiciones. 5 de Agosto de 2010 <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Resolucion-1512-de-2010.pdf>

- Ríos Hernández, A. (2009). *Gestión integral de los residuos sólidos urbanos* (Doctoral dissertation).
<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3066/GESTIONINTEGRAL.pdf?se>
- Ríos Obando, J. F. (2017). *Gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en el municipio de Armenia, Quindío. Libre Empresa, 14(1), 167–187.*
- Rodríguez, L. A., González, N., Reyes, L. S., & Torres, A. F. (2013). Sistema de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Enfoque de dinámica de sistemas. *Sistemas & Telemática, 11(24), 39-53.* <https://www.redalyc.org/pdf/4115/411534392003.pdf>
- Sas, R. (s. f.). *Resolución 76 de 2019 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -Colombia.*
[www.redjurista.com.](http://www.redjurista.com)
https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_76_de_2019_ministerio_de_ambiente_y_desarrollo_sostenible.aspx
- Silva, U. (2010). *Gestión de residuos electrónicos en América Latina.* Santiago de Chile, Chile: LOM Ediciones. Recuperado de:
http://www.webresol.org/cartilha14/gestion_de_residuos_en_america_latina.pdf
- Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa). (2016). *Ewasteguide.info.* Recuperado el 8 de Abril de 2016, de:
<http://www.ewasteguide.info/node/4074>
- United Nations Environmental Programme. (2014). *E-waste Volume I: Inventory Assessment Manual.* International Environmental Technology Centre . Osaka/Shiga: autor. Recuperado el 09 de 2023, de http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/EWasteManual_Vol1.pdf
- UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, Convenio de Basilea, CREAS Centro Regional Basilea para América del Sur, UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, OMS, Organización Mundial de la Salud, ONUDI,

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial, OMPI, Organización Mundial de la Propiedad Intelectual y CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2015) Gestión sostenible de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en América Latina. [En línea] Disponible en:

http://www.unclearn.org/sites/default/files/inventory/raee_gestion_integral_y Eliminacion-395429-normal-s.pdf [Fecha de consulta: 12 de mayo del 2017]

Valderrama López, C. F., Díaz, L. J., & Vargas, J. O. (2018). Análisis de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES). Estudio de caso en la ciudad de Neiva. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(1), 131-140.

<https://doi.org/10.22490/21456453.2295>

Venegas, M. E., Navarro Carreño, A. R., & Alfaro Carrasco, E. P. (n.d.). Org.Ar. Retrieved October 5, 2022,

Villegas Arias, G. C. (2008). Organizaciones en red: factores críticos de diseño. *Contaduría y administración*, (225), 9-38.

Zegarra, M. D. P. Z. (2019, 24 marzo). *Libro residuos sólidos*. Recuperado 27 de septiembre de 2022,

Apéndices

Apéndice 1. Cronograma de actividades del proyecto de investigación

Objetivos	Actividades	Meses											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Caracterizar los diferentes residuos RAEE que se generan en el casco urbano de San Juan de Pasto, a través de información secundaria .	Búsqueda de información de base, sobre los gestores de residuos RAEE en el casco urbano del municipio de San Juan de Pasto incluyendo a chatarrerías, INNOVA S.A.S E.S.P.												
	Revisión de documentos como Plan de Desarrollo, PGIRS de la Ciudad de Pasto, para obtener información secundaria de la generación de Residuos RAEE en el casco urbano de San Juan de Pasto.												
	Cuantificar la cantidad de RAEE mediante la información obtenida.												
	Análisis de la información recolectada.												
Identificar las tendencias actuales para el aprovechamiento de residuos RAEE a través de información secundaria.	Mediante búsqueda de información secundaria determinar alternativas para el aprovechamiento que se le puede dar a componentes como tarjetas electrónicas, plásticos, materiales ferrosos y												

Apéndice 2. Presupuesto requerido para la investigación

Rubro	Justificación	Universidad Mariana		Contrapartida (recursos Propios)		Valor Total
		Efectivo	Especie	Efectivo	Especie	
Talento Humano						
Asesor, tres investigadores		\$1.500.000		\$600.000	\$2.100.000	
Equipos	3 Computadores				\$1.000.000	\$3.000.000
	Internet				\$960.000	\$960.000
	Impresora			\$500.000		\$500.000
Materiales	Hojas de papel			\$10.000		\$10.000
	Lapiceros			\$15.000		\$15.000
	Calculadora			\$75.000		\$75.000
	Libretas			\$15.000		\$15.000
Bibliografía	Artículos		\$600.000			\$600.000
	libros		\$60.000			\$60.000
Eventos académicos	Difusión de investigación			\$1.200.000		\$1.200.000
Salidas de campo	Viáticos			\$150.000		\$150.000
	Transporte			\$150.000		\$150.000
Imprevistos				800.000		\$800.000
TOTAL			\$2.160.000	\$2.915.000	\$2.560.000	\$9.635.000

Apéndice 3. Registro fotográfico de las visitas realizadas a las cafeterías del casco urbano del municipio de San Juan de Pasto



Apéndice 4. Encuesta aplicada a chatarrerías



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Objetivo de la Encuesta:

Recolectar información primaria sobre los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto, con el fin de determinar la cantidad de estos residuos, así como también sobre su disposición.

Fecha: _____

Nombre de la empresa: _____

Dirección de la Empresa: _____

Nombre del administrador(a) o representante legal de la empresa recolectora de chatarra:

¿A qué se dedica la empresa?

¿Usted conoce de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)?

Sí __

No __

¿Al punto de chatarrización qué tipo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos llegan al punto de acopio?

- Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)
- Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (Hornos microondas, computadores de escritorio, planchas, impresoras, monitores)
- Aparatos eléctricos y electrónicos pequeños (Celulares, periféricos, cables, baterías, computadores portátiles, tabletas)
- Otros.



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Si la respuesta fue "OTROS" menciónelos:

¿Cuál es el peso aproximado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que llegan al punto de recolección en el mes?

¿Cuál es el valor de pago por cada kilogramo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

¿Cómo es el acopio de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al depositarse en el punto de chatarrización?

¿Qué hace con los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Si los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos los vende, ¿qué tipo de entidades, empresas o personas los compran y para qué?



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



¿Cuál es la frecuencia semanal con la que llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización?

¿Cuándo llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización se les hace un proceso de desmantelamiento?

Sí ___

No ___

Si la respuesta es AFIRMATIVA describa el proceso de desmantelamiento.

¿Qué tipo de personas o entidades llevan a vender los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

- Empresas Públicas.
- Empresas Privadas.
- Personas dedicadas a la recolección.
- Instituciones educativas.
- Personas Particulares.

Anexos

Anexo A. Encuesta aplicada a la Empresa Chatarrería Rojas.



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Objetivo de la Encuesta:

Recolectar información primaria sobre los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto, con el fin de determinar la cantidad de estos residuos, así como también sobre su disposición.

Fecha: 28/02/2023

Nombre de la empresa: Chatarrería Rojas.

Dirección de la Empresa: Cir 8 Pº 12B-50 - Pílay

Nombre del administrador(a) o representante legal de la empresa recolectora de chatarra: Valeria Rojas.

¿A qué se dedica la empresa?

Reciclaje

¿Usted conoce de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)?

Si

No

¿Al punto de chatarrización qué tipo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos llegan al punto de acopio?

Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)

Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (Hornos microondas, computadores de escritorio, planchas, impresoras, monitores)

Aparatos eléctricos y electrónicos pequeños (Celulares, periféricos, cables, baterías, computadores portátiles, tabletas)

Otros.

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Si la respuesta fue "OTROS" menciónelos:

Tarjetas Electrónicas -memorias RAM - Teléfonos celulares.

¿Cuál es el peso aproximado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que llegan al punto de recolección en el mes?

20 a 30 kgs Apudmt

¿Cuál es el valor de pago por cada kilogramo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Memorias = 80 mil wt. Tgt madre = 15 mil wt. Celular = 30 mil wt.

¿Cómo es el acopio de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al depositarse en el punto de chatarrización?

Se recibe el material y se procede a desarmar separando la chatarra electrónica de la que es el Plástico y metal que tienen el mismo proceso de reciclaje.

¿Qué hace con los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Se desarman se guardan y en cierta cantidad reunida se venden.

Si los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos los vende, ¿qué tipo de entidades, empresas o personas los compran y para qué?

cooperativa - proceso y aprovechamiento del coltan.

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



¿Cuál es la frecuencia semanal con la que llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización?

diariamente.

¿Cuándo llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización se les hace un proceso de desmantelamiento?

Si ✓

No

Si la respuesta es AFIRMATIVA describa el proceso de desmantelamiento.

Se separan tarjetas y dispositivos de lo que es el plástico y metal que tienen un proceso distinto de reciclaje se usan tornillos y tuercas

¿Qué tipo de personas o entidades llevan a vender los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

- Empresas Públicas.
- Empresas Privadas.
- Personas dedicadas a la recolección.
- Instituciones educativas.
- Personas Particulares.

Anexo B. Encuesta Depósito y Bodega del Sur.



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Objetivo de la Encuesta:

Recolectar información primaria sobre los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto, con el fin de determinar la cantidad de estos residuos, así como también sobre su disposición.

Fecha: 24/02/23

Nombre de la empresa: Deposito y Bodega del Sur

Dirección de la Empresa: Calle 15 carrera 7B - 3 Div 1 B. el Bogrreso

Nombre del administrador(a) o representante legal de la empresa recolectora de chatarra: Yeimi andrea Fabian Capera

¿A qué se dedica la empresa?
A la recolección de materiales ferrosos y no ferrosos, para el acervo al medio ambiente.

¿Usted conoce de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)?

Si

No

¿Al punto de chatarrización qué tipo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos llegan al punto de acopio?

- Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)
- Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (Hornos microondas, computadores de escritorio, planchas, impresoras, monitores)
- Aparatos eléctricos y electrónicos pequeños (Celulares, periféricos, cables, baterías, computadores portátiles, tabletas)
- Otros.



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Si la respuesta fue "OTROS" menciónelos:

1

¿Cuál es el peso aproximado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que llegan al punto de recolección en el mes?

Aproximadamente de 20.000 a 30.000 al mes

¿Cuál es el valor de pago por cada kilogramo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Depende la calidad y categorial del producto.

¿Cómo es el acopio de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al depositarse en el punto de chatarrización?

Cuando los productos llegan al Deposito se realiza un proceso basico de Recepcion almacenamiento y seleccion del producto hasta la hora de envio.

¿Qué hace con los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Proceso basico de limpieza y separacion a distintos materiales.

Si los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos los vende, ¿qué tipo de entidades, empresas o personas los compran y para qué?

Entidades privadas las cuales algunas hacen su procedimiento de fabricacion u otra para exportacion.

Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



¿Cuál es la frecuencia semanal con la que llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización?

En Grande cantidad de 5.000 kg a 3000 kg

¿Cuándo llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización se les hace un proceso de desmantelamiento?

Si

No X

Si la respuesta es AFIRMATIVA describa el proceso de desmantelamiento.

¿Qué tipo de personas o entidades llevan a vender los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

- Empresas Públicas.
- Empresas Privadas.
- Personas dedicadas a la recolección.
- Instituciones educativas.
- Personas Particulares.

Anexo C. Encuesta aplicada al depósito Pereira.



Facultad de Ingeniería
Programa de ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Objetivo de la Encuesta:

Recolectar información primaria sobre los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto, con el fin de determinar la cantidad de estos residuos, así como también sobre su disposición.

Fecha: __11/05/2023_____

Nombre de la empresa: __COMERCIALIZADORA DEPOSITOS PEREIRA SAS_____

Dirección de la Empresa: _____CALLE 17 No 13-38_____

Nombre del administrador(a) o representante legal de la empresa recolectora de chatarra:

¿A qué se dedica la empresa?

_____COMERCIALIZACION DE METALES_____

¿Usted conoce de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)?

Si _X_

No __

¿Al punto de chatarrización qué tipo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos llegan al punto de acopio?

X Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)

X Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (Hornos microondas, computadores de escritorio, planchas, impresoras, monitores)

X Aparatos eléctricos y electrónicos pequeños (Celulares, periféricos, cables, baterías, computadores portátiles, tabletas)



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Objetivo de la Encuesta:

Recolectar información primaria sobre los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto, con el fin de determinar la cantidad de estos residuos, así como también sobre su disposición.

Fecha: __11/05/2023_____

Nombre de la empresa: __COMERCIALIZADORA DEPOSITOS PEREIRA SAS_____

Dirección de la Empresa: _____CALLE 17 No 13-38_____

Nombre del administrador(a) o representante legal de la empresa recolectora de chatarra:

¿A qué se dedica la empresa?

_____COMERCIALIZACION DE METALES_____

¿Usted conoce de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)?

Si _X_

No ___

¿Al punto de chatarrización qué tipo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos llegan al punto de acopio?

- Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)
- Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (Hornos microondas, computadores de escritorio, planchas, impresoras, monitores)
- Aparatos eléctricos y electrónicos pequeños (Celulares, periféricos, cables, baterías, computadores portátiles, tabletas)



Facultad de Ingeniería
Programa de ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



_SE CHATARRIZA EN LA
SIDERURGICA _____

¿Cuál es la frecuencia semanal con la que llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización?

___LLEGAN CON FRECUENCIA PUEDE SER DIARIO.

¿Cuándo llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización se les hace un proceso de desmantelamiento?

Si ___

No_X__

Si la respuesta es **AFIRMATIVA** describa el proceso de desmantelamiento.

¿Qué tipo de personas o entidades llevan a vender los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

- XEmpresas Públicas.
- XEmpresas Privadas.
- XPersonas dedicadas a la recolección.
- XInstituciones educativas.
- XPersonas Particulares.

Anexo D. Encuesta aplicada INNOVA S.A.S



Facultad de Ingeniería
Programa de ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Objetivo de la Encuesta:

Recolectar información primaria sobre los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados en el casco urbano del Municipio de San Juan de Pasto, con el fin de determinar la cantidad de estos residuos, así como también sobre su disposición.

Fecha: 11/05/2023

Nombre de la empresa: INNOVACIÓN AMBIENTAL – INNOVA S.A.S. E.S.P.

Dirección de la Empresa: Carrera 39 No. 13-32, Acopi, Yumbo.

Nombre del administrador(a) o representante legal de la empresa recolectora de chatarra:
Miguel Osejo: Gerente.

¿A qué se dedica la empresa?

INNOVA es una empresa de servicios públicos legalmente constituida y autorizada bajo licencia ambiental para el manejo y tratamiento adecuado de sustancias y mercancías peligrosas, excedentes industriales y residuos posconsumo: RAEE, Pilas, Baterías y Equipo de Iluminación.

¿Usted conoce de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)?

Si (X)

No__

¿Al punto de chatarrización qué tipo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos llegan al punto de acopio?

(X) Aparatos eléctricos y electrónicos de gran volumen (neveras, lavadoras, estufas)

(X) Aparatos eléctricos y electrónicos medianos (Hornos microondas, computadores de escritorio, planchas, impresoras, monitores)

(X) Aparatos eléctricos y electrónicos pequeños (Celulares, periféricos, cables, baterías, computadores portátiles, tabletas)

(X) Otros.



Facultad de Ingeniería
Programa de ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



Si la respuesta fue “OTROS” menciónelos:

Excedentes Industriales: Equipos y dispositivos biomédicos, equipos y máquinas de centrales eléctricas, equipos de metales pesados.

Equipos de iluminación: Todo tipo de tecnología de iluminación obsoleta.

Pilas, Baterías y Acumuladores: Todo tipo de pilas, baterías y acumuladores utilizados en movilidad eléctrica, en dispositivos y equipos electrónicos residencial e industrial y para el transporte convencional.

¿Cuál es el peso aproximado de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que llegan al punto de recolección en el mes?

[CONFIDENCIAL]

¿Cuál es el valor de pago por cada kilogramo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

[CONFIDENCIAL]

¿Cómo es el acopio de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al depositarse en el punto de chatarrización?

Una vez los residuos ingresan en nuestros centros de acopio existen estaciones de almacenamiento según su tipo. Para el centro de acopio de Pasto los residuos se almacenan en tres estaciones separadas: (1). Estación de almacenamiento de pilas, baterías y acumuladores. (2). Estación de almacenamiento de equipos de iluminación. (3) Estación de almacenamiento de RAEE. Estos residuos antes de su acopio y apilamiento deben estar completamente embalados y etiquetados como lo especifica la autoridad ambiental y la legislación.

¿Qué hace con los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

Es importante reconocer que el tratamiento (Clasificación, despiece, segregación, trituración, aprovechamiento y/o remanufactura) de los diferentes residuos eléctricos y electrónicos solo está autorizado para empresas que cuentan con licencia ambiental. Y que cualquier negocio que en su informalidad adelante esta actividad, sin previa licencia y permisos necesarios, puede ser sancionado y denunciado ante las autoridades competentes. Ya que su tratamiento es peligroso para la salud humana y el ambiente. [Decreto 4741 del 2005].

En INNOVA nos dedicamos a la economía circular y buscamos continuamente que todos los materiales productos de una gestión integral, puedan convertirse en materias primas listas para su circularidad en los ciclos productivos de grandes industrias.

Si los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos los vende, ¿qué tipo de entidades, empresas o personas los compran y para qué?

[CONFIDENCIAL]



Facultad de Ingeniería
Programa de ingeniería Ambiental
Universidad Mariana



¿Cuál es la frecuencia semanal con la que llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización?

- 4 Veces por semana

¿Cuándo llegan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos al punto de chatarrización se les hace un proceso de desmantelamiento?

Si

No (x)

¿Qué tipo de personas o entidades llevan a vender los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos?

- € Empresas Públicas.
- € Empresas Privadas.
- € Personas dedicadas a la recolección.
- € Instituciones educativas.
- € Personas Particulares.

ANEXOS

Anexo E. Matrices de evaluación y clasificación de las 10 alternativas para el aprovechamiento de RAEE en el casco urbano de San Juan de Pasto

Evaluación de la atraktividad de la alternativa: Obtención de metales preciosos y metales provenientes de los RAEE mediante tratamientos pirometalúrgicos

Criterios de atraktividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2								X			16
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	3				X							12
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	1		X									2
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	4						X					24
Suma total	10	Atraktividad total										54

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: Obtención de metales preciosos y metales provenientes de los RAEE mediante tratamientos pirometalúrgicos

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	1			X									3
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos electricos y electronicos	2					X							10
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	3									X			27
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	2			X									6
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	2					x							10
Suma total	10	Viabilidad total										56	

Evaluación de la atraktividad de la alternativa: Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana

Criterios de atraktividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2					x							10
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	2								x				14
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	3			x									9
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	3									x			24
Suma total	10	Atraktividad total										57	

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: Valoración de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos a través de la minería urbana

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	2						x						12
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	2							x					14
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	3							x					21
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	2								x				16
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	1			x									3
Suma total	10	Viabilidad total										66	

Evaluación de la atraktividad de la alternativa: Recuperación del oro mediante el método de disolución en mezcla ácida

Criterios de atraktividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2						x						12
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	3								x				21
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	2				x								8
Tiene la capacidad de elaborar uno o más productos derivados que pueden ser comercializados	3						x						12
Suma total	10	Atraktividad total										53	

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: Recuperación del oro mediante el método de disolución en mezcla ácida

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	2									x		18
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	2								x			16
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	2									x		18
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	2				x							8
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	2					x						10
Suma total	10	Viabilidad total										70

Evaluación de la atractividad de la alternativa: Minería Urbana como herramienta para una economía circular mediante la recuperación convencional de metales ferrosos y no ferrosos

Criterios de atractividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	3			x								9
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	3					x						15
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	2				x							8
Tiene la capacidad de elaborar uno o más productos derivados que pueden ser comercializados	2							x				14
Suma total	10	Atractividad total										46

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: Minería Urbana como herramienta para una economía circular mediante la recuperación convencional de metales ferrosos y no ferrosos

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	3				x								12
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	1							x					6
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	3									x			24
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	1								x				7
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	2							x					12
Suma total	10	Viabilidad total										49	

Evaluación de la atractividad de la alternativa: Recuperación de metales mediante el proceso de Hidrometalurgia

Criterios de atractividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2					x							10
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	3								x				24
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	3					x							15
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	2									x			18
Suma total	10	Atractividad total										67	

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: recuperación de metales mediante el proceso de Hidrometalurgia

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	2						x						12
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	2										x		18
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	3										x		27
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	2						x						12
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	1								x				8
Suma total	10	Viabilidad total										77	

Evaluación de la atraktividad de la alternativa: Recuperación de metales en los materiales particulados de RAEE

Criterios de atraktividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2			x									6
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	3								x				21
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	2					x							15
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	3						x						12
Suma total	10	Atraktividad total										54	

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: Recuperación de metales en los materiales particulados de RAEE

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	2					x							15
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	2								x				14
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	3							x					18
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	1									x			8
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	2					x							10
Suma total	10	Viabilidad total										65	

Evaluación de la atraktividad de la alternativa: proceso pirometalúrgico para la recuperación de cobre a partir de las tarjetas de circuitos integrados los RAEE

Criterios de atraktividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	4						x					24
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	2								x			16
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	2							x				14
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	2								x			16
Suma total	10	Atraktividad total										70

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: proceso pirometalúrgico para la recuperación de cobre a partir de las tarjetas de circuitos integrados los RAEE

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	3					x							15
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos electricos y electronicos	1									x			8
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	3									x			24
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	2										x		12
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	1					x							5
Suma total	10	Viabilidad total										64	

Evaluación de la atractividad de la alternativa: Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos

Criterios de atractividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2				x								8
Produce ingresos economicos significativos, asi como tambien empleo para la población	2						x						12
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	2						x						12
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	4							x					28
Suma total	10	Atractividad total										60	

Evaluación de la viabilidad de la alternativa Minería urbana como herramienta para una economía circular en la gestión de residuos

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	2						x						12
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	2								x				14
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	2										x		18
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	2						x						12
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	2								x				8
Suma total	10	Viabilidad total										64	

Evaluación de la atraktividad de la alternativa: Recuperación de oro de desechos electrónicos utilizando nano papeles independientes de celulosa y marcos orgánicos covalentes iónicos

Criterios de atraktividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2				x								8
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	2							x					12
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	2							x					12
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	4								x				28
Suma total	10	Atraktividad total										60	

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: Recuperación de oro de desechos electrónicos utilizando nano papeles independientes de celulosa y marcos orgánicos covalentes iónicos

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	2			x									6
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos electricos y electronicos	2				x								8
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	2						x						12
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	2			x									6
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	2					x							10
Suma total	10	Viabilidad total										42	

Evaluación de la atraktividad de la alternativa: Recuperación de metales mediante el proceso de Hidrometalurgia

Criterios de atraktividad	Peso (A)	Calificación (B)										(A*B)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ofrece la posibilidad de utilizar el producto final en un periodo relativamente corto	2					x							10
Produce ingresos económicos significativos, así como también empleo para la población	2									x			16
No existe exposición de componentes peligrosos durante su procesamiento	3					x							15
Tiene la capacidad de elaborar uno o mas productos derivados que pueden ser comercializados	3									x			24
Suma total	10	Atraktividad total										65	

Evaluación de la viabilidad de la alternativa: Recuperación de metales mediante el proceso de hidrometalurgia

Criterios de Viabilidad	Peso (C)	Calificación (D)										(C*D)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
La metodología para la reutilización de los RAEE es de fácil implementación en el contexto de las chatarrerías	3			x									9
Se aprovecha la mayoría de todos los componentes de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	2					x							10
Requiere de esfuerzo y conocimientos para el aprovechamiento de los RAEE.	2							x					14
Requiere pocos conocimientos técnicos para la realización o ejecución de esta alternativa.	1				x								4
Afectación al ambiente (suelo, aire, agua)	2						x						12
Suma total	10	Viabilidad total										49	