

# **Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá**

Elaborado por:

Giovanni Alexander Méndez Cifuentes

Hibeth Milena Rodríguez Herrera

Cindy Lizeth Carvajal Gaitán

Universidad Ean

Especialización en Gerencia de Proyectos

Seminario de Investigación de Posgrado

Bogotá

2022

## Contenido

Resumen.....	6
Introducción.....	7
Problema de Investigación.....	8
Objetivos.....	11
Objetivo general.....	11
Objetivos específicos.....	11
Justificación.....	12
Marco Teórico.....	13
Marco Legal internacional para los RAEE.....	14
Marco Legal para el manejo de RAEE en Colombia.....	16
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.....	21
Tecnología biomédica.....	22
Impacto en salud.....	26
Gestión de los RAEEs en Colombia.....	27
Modelos de recuperación de RAEEs.....	29
Metodología.....	31
Primer Nivel.....	31
Enfoque, alcance y diseño de la investigación.....	31
Definición de Variables.....	33

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá	3
Población y muestra.....	34
Segundo Nivel.....	35
Técnicas de análisis de datos .....	36
Análisis de resultados .....	37
Proceso de gestión de RAEE local de equipos biomédicos.....	45
Proceso de Transporte y separación RAEE Equipos Biomédicos.....	54
Modelos de recuperación RAEE.....	55
Discusión de resultados .....	58
Conclusiones .....	64
Referencias.....	66

### Listado de Figuras

<b>Figura 1</b> Marco legal europeo.....	14
<b>Figura 2</b> Marco legal colombiano.....	18
<b>Figura 3</b> <i>Composición Material de los RAEE</i> .....	19
<b>Figura 4</b> Sustancias peligrosas en los RAEE.....	21
<b>Figura 5</b> Nuevas categorías de RAEE .....	22
<b>Figura 6</b> Importaciones de equipos biomédicos en Colombia.....	24
<b>Figura 7</b> Ciclo de vida de equipos biomédicos .....	24
<b>Figura 8</b> Flujo de actores en la gestión de RAEEs en Colombia .....	29
<b>Figura 9</b> Metodología de investigación .....	32
<b>Figura 10</b> Grafica sobre el porcentaje de instituciones de salud en Bogotá, por sectores .....	39
<b>Figura 11</b> Gráfica base de datos como muestra de instituciones de salud en Bogotá ...	40
<b>Figura 12</b> Grafica porcentual de equipos biomédicos de 26 instituciones en Salud en Bogotá.....	41
<b>Figura 13</b> Gráfica donde se evidencia los años de instalación de los equipos biomédicos de 26 instituciones de salud.....	42
<b>Figura 14</b> Proceso Gestión RAEE Biomédico.....	46
<b>Figura 15</b> Diagrama de flujo del proceso para el reciclaje de RAEE .....	54
<b>Figura 16</b> Proceso de disposición de RAEE en Bogotá.....	59
<b>Figura 17</b> Modelo Híbrido para la recuperación de RAEE de tipo biomédico .....	63

**Listado de Tablas**

<b>Tabla 1</b>	Clasificación de equipos biomédicos.....	23
<b>Tabla 2</b>	Modelos de Recuperación de RAEES .....	30
<b>Tabla 3</b>	Definición de variables .....	33
<b>Tabla 4</b>	Instrumentos para recolección de datos .....	35
<b>Tabla 5</b>	Instrumentos de investigación .....	36
<b>Tabla 6</b>	Equipos biomédicos, partes recuperables y componentes .....	43
<b>Tabla 7</b>	Lista de gestores Respel Bogotá.....	47
<b>Tabla 8</b>	Tablas sobre métodos de recuperación ventajas e impacto ambiental.....	55
<b>Tabla 9</b>	Tabla de Proveedores de recuperación de RAEES internacionales.....	60

### **Resumen**

Esta investigación se realizó con el fin de generar un modelo híbrido y eficiente que contribuya con la recuperación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá. Con el fin de minimizar el impacto negativo que tienen estos en el medio ambiente y apoyar la economía circular en la ciudad, al explorar otros campos económicos como lo son la minería urbana, que ha demostrado en otros países ser de provecho al recaudar dinero a través de la recuperación de metales preciosos y otros componentes generados por los RAEE.

La investigación se desarrolló a través de una metodología descriptiva con una hipótesis y recolección de datos e información sobre el estado del arte; para luego ser comparada y analizada bajo ciertos parámetros escogidos; según los lineamientos colombianos e internacionales, para así llegar a la generación de un modelo innovador, junto con sus conclusiones.

**Palabras claves:** RAEE, AEE, Biomédicos, Residuos, Modelos

## **Introducción**

De acuerdo con los avances tecnológicos que se han desarrollado en los diferentes campos de la medicina e ingeniería, es vital para la sociedad el desarrollo de la tecnología biomédica, puesto que estos equipos son usados para el desarrollo científico, diagnóstico y tratamiento de enfermedades. Sin embargo, esta misma necesidad ha incentivado la adquisición continua y actualización periódica de los equipos.

Por tal razón, se crea la necesidad de un análisis de la gestión y recuperación de los RAEE biomédicos en la ciudad de Bogotá, identificando el flujo actual del proceso, involucrados, marco legal y métodos, con el fin de proponer un modelo que promueva la economía circular y disminuir el impacto ambiental.

### **Problema de Investigación**

Tanto a nivel mundial como en Colombia, en la actualidad, se ha aumentado el uso de la tecnología en el diario vivir, abriendo espacios a nuevas tecnologías que faciliten la vida de las personas y mejoren los procesos en todas las áreas de la sociedad, generando a su vez y como consecuencia una cantidad exorbitante de residuos que se deben controlar.

Partiendo de esta premisa, en Bogotá capital colombiana, conformada por 7,9 millones de habitantes, genera un aproximado de 6.500 toneladas de residuos diarios de los cuales el 20 % puede ser reciclable pero solo es aprovechado un 3,97 %, a diferencia de los estándares mundiales, que suscitan se debería aprovechar el 60 %, (Contreras Caparroso y Rodríguez Peñaranda, 2016).

Desde el sector de la salud los desperdicios corresponden al 4,25 % anual en cuanto a residuos hospitalarios en general, que corresponde a una estimación de 814.802 toneladas aproximadamente entre el 2020 y 2024, (Rico Barrera, 2022). Esto demuestra la necesidad de hacer un análisis frente a la recuperación, almacenamiento y reutilización de estos residuos para determinar medidas que mejoren su control y compromiso ambiental.

Para dar solución a esta problemática, se debe realizar una revisión bibliográfica de los métodos de clasificación de los residuos hospitalarios generados, para determinar el proceso de segregación de materiales en cuanto a los equipos médicos y su gestión de manejo local, teniendo en cuenta los aspectos legales y políticos del país.

Adicionalmente, revisar los tipos de modelos de recuperación de esta categoría de residuos, con el fin de determinar y proponer un modelo óptimo para la ciudad de Bogotá.

Cuando se habla de clasificación de residuos hospitalarios se establecen:

- Peligrosos

## Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

- No peligrosos
- Especiales
- Biomédico (electrónicos y eléctricos)

Actualmente, las instituciones prestadoras de salud viven una constante búsqueda de sostenibilidad; así que la clasificación está dirigida de acuerdo con el ámbito ecológico aplicando las ‘5 R’, (Reciclar, Reducir, Reutilizar, Recuperar, Reparar), de las cuales las más aplicadas y conocidas por la comunidad en general son reducir, reutilizar y reciclar.

Partiendo de esta categorización se tener presente nuevos conceptos como lo son ‘repensar e investigar’, asociadas a hábitos de consumo y reincorporación de nuevos productos (Waldo Merino et al., 2022); aun así, las estrategias ambientales están aplicándose a una fabricación inteligente usando las ‘10 R’: Reordenar, Reformular, Reducir, Reutilizar, Refabricar, Reciclar, Revalorizar energéticamente, Rediseñar, Recompensar y Renovar (Pan et al., 2022).

Por otra parte, los métodos para el tratamiento y recuperación de RAEEES, se basan en la limpieza y asepsia, separación tanto física como electroestática y magnética, desembalaje, reducción de tamaño a través de tratamientos hidrometalúrgicos, pirometalúrgicos, electrometalúrgico y conversión bioquímica (Uceda Herrera, 2022); aprovechando dichos residuos o reutilizando las materias primas, productos de segundo uso, con una extracción de metales preciosos para la industria (Aristizábal-Álzate et al., 2021).

En el caso del tipo biomédico no hay un tratamiento en específico, ya que, están compuestos por piezas electrónicas, cobre, metal y plástico, buscando solventar esta

## Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

problemática con la revisión de modelos existentes de recuperación de RAEEES para así proponer un modelo que optimice la gestión actual y futura para este tipo de residuos.

Partiendo de esta premisa las estrategias sostenibles ambientales que estén alineadas a la economía circular pueden generar lineamientos que aporten significativamente a las empresas, los fabricantes, los hospitales y clínicas que requieran fortalecer el manejo de estos, una vez pierdan su vida útil.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Desarrollar un modelo sostenible de Recuperación de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, de tipo biomédico minimizando el impacto negativo de consumo y apoyando la economía circular en la ciudad de Bogotá.

### **Objetivos específicos**

- Identificar los modelos actuales que se usan para la recuperación de RAEE de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá.
- Identificar todos los componentes que pueden llegar a tener una segunda vida y así minimizar el consumo de materias primas para la generación de nuevos productos.
- Analizar las ventajas y desventajas de los métodos empleados para la recuperación de RAEE de tipo biomédico.
- Generar estrategias que permitan el manejo y la recuperación de RAEE de tipo biomédico que apoyen la economía circular además de la minería urbana.
- Proponer un modelo para el manejo y recuperación de RAEE proveniente de equipamientos médicos.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

### **Justificación**

Al desarrollar un modelo sostenible para RAEE, específicamente los equipos médicos con la implementación y reutilización de los materiales presentes, no solo minimiza el consumo de materias primas principales, sino también genera un impacto positivo en el medio ambiente. Amplificando positivamente el estilo y calidad de vida de las personas que ayudan a realizar la labor de desmantelamiento de equipos de forma manual.

Para que este modelo sostenible sea exitoso en la ciudad, se debe iniciar con una comparación de los modelos actuales que se manejen a lo largo del país y encontrar una metodología funcional para la ciudad de Bogotá.

Iniciando por las buenas prácticas que se describen en los lineamientos técnicos para el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, como se plantea en la “Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010); así mismo, las cifras de equipos médicos que cumplen su ciclo de vida y que son dados de baja, siguiendo el protocolo que se activa con estos.

### **Marco Teórico**

El antecedente de este trabajo se remonta desde la mala gestión y aprovechamiento que tiene la basura electrónica, ya que de acuerdo con (Páez, 2021) se estima que si las RAEE se agrupan por el peso de un hipopótamo (1.8 Ton), tendríamos 7,2 millones de hipopótamos, lo cual corresponde a todo un año de basura electrónica del Continente Americano.

Esta cifra que es realmente alarmante por todo el impacto ambiental que tiene ya que los RAEE al estar a la intemperie producen líquidos contaminantes siendo estos capases de contaminar grandes superficies de agua, tierra y aire, además esta mala gestión no solo contamina el medio ambiente, trae problemas de salud al ser humano y también a aquellos que están relacionados con el reciclaje informal como por ejemplo en países como Ghana, ya que su grupo de fuerza laboral corresponde en su mayoría niños y mujeres, produciendo en ellas abortos espontáneos, partos prematuros, problemas de reducción de peso y tamaño de los bebés. (Quiñones, 2019)

Otro punto importante es que toda esta basura electrónica puede contener metales importantes tales como cadmio, oro, cobre, níquel, entre otros y materiales como el plástico que pueden ser reprocesados de nuevo ayudando no solo a disminuir el consumo masivo de materias primas, sino que ayudaría a generar nuevos empleos capacitados en lo que se denomina la minería urbana. Esto no solo aplicaría para equipos que se pueden denominar de uso doméstico o industrial, sino también para equipos de alta complejidad como lo son los equipos biomédicos, ya que estos equipos después de darse de baja pueden ser

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

reaprovechados y así generar materias primas de segunda mano para usar de nuevo, pero no se les da la relevancia necesaria como los de uso doméstico.

Si bien la inversión de los equipos biomédicos es alta lo cual no permite actualizar o cambiar un equipo de estos cada dos meses como si ocurre con teléfono celular, de todas formas al cumplir el ciclo de vida dichos equipos biomédicos se deben dar de baja y este proceso implica llamar a un gestor ambiental certificado que dispondrá del equipo por un valor monetario, pero ¿qué ocurriría si en vez de gastar dinero se pudiese recuperar a través de la minería urbana y la disposición correcta de materiales, los hospitales y demás entidades prestadoras de salud? podrían generar ahorros e ingresos por aquellas máquinas que ya no sirven (Infosalud, 2018).

### **Marco Legal internacional para los RAEE**

Debido a los efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana ocasionados por residuos como los generados por los RAEE, fue necesario generar una legislación a nivel mundial que promueva e impulse sistemas de gestión que permitan el desarrollo para la disposición de los RAEE. El desarrollo de esta normatividad legal está permitiendo transformar la percepción en la producción teniendo en cuenta la responsabilidad que tienen los productores con el medio ambiente el cual se traduce a beneficios hacia la comunidad y el planeta.

Debido al rápido desarrollo de las tecnologías, los gobiernos debieron generar una reglamentación internacional aplicable para este tipo de residuos, dentro de estos convenios están: Convenio de Basilea el cual reglamenta el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y su eliminación; el protocolo de Montreal el cual se encarga de

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá  
proteger la capa de ozono; el Convenio de Estocolmo que regula los contaminantes orgánicos; Convenio de Minamta que regula los productos generados a partir del mercurio y la Directiva del Parlamento Europeo. Estos conglomerados de normas han orientado la legislación para le región de América Latina.

Este tipo de legislaciones marcan la normatividad para la sustitución de sustancias peligrosas en la producción y en la Responsabilidad Extendida que tiene los Productores (REP) que promueve la recuperación y reutilización de los materiales contaminantes, esta normatividad debe ser integrada como respuesta a las políticas y el modelo de negocio que tiene los productores; este modelo debe integrarse a todo el modelo que producción que inicia desde el diseño, la cadena de producción hasta el tratamiento de los residuos generados.

De igual manera, la REP les indica a los productores que deben identificar con etiquetas los componentes de los AEE lo que permite sensibilizar sobre los impactos negativos de la mala manipulación y disposición inadecuada de los RAEE (Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del consejo, 2012).

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Figura 1**

## Marco legal europeo

<b>Internacional</b>	<b>Directiva RAEE EU del parlamento europeo 2012.</b>	El objetivo de la directiva es proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención o la reducción de los impactos adversos en virtud de la generación y gestión de los RAEE.
	<b>Convenio de Basilea.</b>	Controla los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y su eliminación.
	<b>Protocolo de Montreal</b>	Tiene como objetivo proteger la capa de ozono mediante el control del consumo y la producción de las sustancias agotadoras de la capa de ozono (SAO).
	<b>Convenio de Estocolmo</b>	Es el instrumento internacional que regula los contaminantes orgánicos persistentes (COP).
	<b>Convenio de Minamta.</b>	Medidas sobre los productos generados a base de mercurio.

*Nota:* Realizado por los autores.

### Marco Legal para el manejo de RAEE en Colombia

Colombia se ha preocupado por generar una gestión ambiental activa la cual se inicia desde la constitución política donde se enmarcan leyes para el aprovechamiento, conservación y protección del medio ambiente. En el año de 1993 fue necesario crear el Ministerio del Medio Ambiente, quien es el encargado de regular, establecer, supervisar, fiscalizar y evaluar la Política Ambiental Nacional, promoviendo la investigación, recuperación, conservación, preservación, protección, ordenamiento, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales existentes en el territorio nacional, a fin de asegurar el desarrollo sostenible y garantizar el derecho de todos los ciudadanos, de las generaciones presentes y futuras a vivir en un ambiente saludable y disfrutar de los bienes y servicios brindados por los ecosistemas.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

El Congreso de la República promulgó la Ley 1672 del 2013 con la cual estableció el marco legal y los lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), de igual manera el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible formuló y publicó la Política Nacional para la Gestión Integral de los RAEE, la cual contó con la participación de diversos sectores que están inmersos en todo el ciclo de vida de los EAA. El documento generado presenta las estrategias y acciones concretas que promueven e implementan la ejecución de estrategias encaminadas a la prevención, la sensibilización, la educación, la implementación de sistemas de recolección y gestión ambientalmente segura y la creación de infraestructura para el aprovechamiento de los RAEE.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Figura 2

Marco legal colombiano

<b>Normatividad para el manejo de Residuos de Aparatos eléctricos y electrónicos RAEE</b>		
<b>COLOMBIA</b>	<b>Reglamentación</b>	<b>Alcance</b>
	<b>CONSTITUCIÓN POLITICA</b>	En la cual se determina los principios relacionados con el manejo aprovechamiento, conservación y protección del medio ambiente, Artículos 49, 79, 80 y 82
	<b>Ley 253 de 1996</b>	Establece los lineamientos sobre los movimientos transfronterizos de materiales y residuos peligrosos.
	<b>Ley 430 de 1998</b>	Normatividad referente a los desechos Peligrosos.
	<b>Resolución 4002/2007</b>	Adopta el manual de requisitos de almacenamiento y acondicionamiento de dispositivos médicos. Menciona la destrucción de éstos.
	<b>Acuerdo 322 del 2008</b>	Toda entidad debe incluir estrategias de gestión en la disposición de aparatos eléctricos y electrónicos, fundamentada en el ciclo de vida del producto el cual depende del fabricante, productor y distribuidores.
	<b>Resoluciones 1511, 1512, 1297, de 2010 y 0372 de 2009</b>	Regulan la implementación de los sistemas de recolección para la gestión ambiental de computadores pilas, acumuladores, bombillas y bateris de plomo.
	<b>Lineamientos técnicos para el manejo de AEE de MinAmbiente 2010</b>	Orienta manejo de RAEE y gestión de autoridades ambientales.
	<b>Ley 1672 de 2013</b>	Establece el marco legal y lineamientos para la gestión integral de RAEE
	<b>Decreto 284 de 2018</b>	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, como la obligación de los productores AEE y los gestores RAEE
	<b>Resolución 076 del 2019</b>	Establece los terminos de referencia para los estudios de impacto ambiental de instalaciones de gestión RAEE
<b>Instructivo para el manejo de RAEE de Alcaldía Mayor de Bogotá 2013</b>	Aplica a la capital colombiana los lineamientos técnicos emitidos por el Ministerio de Ambiente.	

Nota: Realizado por los autores.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

### Impacto ambiental

Los RAEE son el tipo de residuos con mayor crecimiento a nivel mundial; Colombia es uno de los pocos países de Latinoamérica que cuenta con una política ambiental y un marco legal regulatorio, para afrontar la problemática del crecimiento acelerado de la generación de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), que puede generar una problemática ambiental por la mala disposición y manipulación. Estos residuos pueden llegar a afectar la vida humana y el medio ambiente ya que la composición es diversa, llegando a contener más de 200 compuestos diferentes de los cuales hay varios elementos que son muy peligrosos para la salud humana. Generalmente en los residuos RAEE podemos encontrar elementos como hierro y acero que representan el 50 % de su composición, el plástico representa un 21 %, de igual manera está presente el vidrio, tarjetas de circuito impreso, cerámica, caucho y otros materiales.

### Figura 3

*Composición Material de los RAEE*

COMPOSICION MATERIAL DE LOS RAEE	
MATERIALES	COMPOSICION
Hierro y acero	50,0%
Plásticos de combustión no retardada	15,3%
Cobre	7,0%
Vidrio	5,4%
Plásticos de combustión retardada	5,3%
Aluminio	4,7%
Placas de Circuito Impreso	3,1%
Cerámica	2,0%
Otros materiales no ferrosos	1,0%
Goma	0,9%

*Nota:* Composición materiales de los RAEEs, Política Nacional | Gestión Integral de Residuos de Aparatos Electrónicos (minambiente.gov.co)

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Entre los materiales peligrosos que componen a los AEE está el plomo, mercurio, compuestos bromados y el arsénico los cuales son sustancias tóxicas para el ser humano y en general para los seres vivos.

La presencia de estos elementos en el medio ambiente produce estragos, afectando ecosistemas completos y alterando sus funciones, ya que las plantas pueden absorber con mucha facilidad elementos como el arsénico lo cual puede provocar contaminación de alimentos de encontrarse cerca de estos. El plomo es otro elemento que es altamente peligroso ya que puede ser absorbido en los cultivos a través del suelo.

Estos elementos llegan al medio ambiente cuando se realiza la extracción inapropiada de los materiales aprovechables de los RAEE como es la quema en ambientes abiertos para sacar metales como el cobre de los cables, el calentamiento de tarjetas de circuito electrónico para desoldar chips o circuitos integrados, todas estas acciones pueden conducir a exposiciones indirectas de las personas que habitan o permanecen en los alrededores de los sitios de manipulación, si estos no se hacen en espacios controlados pueden liberar sustancias peligrosas que pueden contaminar el suelo, aire y el agua (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s. f.).

## Figura 4

### *Sustancias peligrosas en los RAEE*

SUSTANCIAS PELIGROSAS EN LOS RAEE	
SUSTANCIA	LOCALIZACION EN LOS RAEE
Compuestos Halogenos	
<b>Bifelinos policlorados (PCB)</b>	<b>Condensadores, transformadores e interruptores de potencia</b>
Tetrabromo Bisfenol A	Retardantes de llama para plasticos (Componentes Termoplásticos de cable)
Pilobromobifenilos (PBB)	TBBA es actualmente el retardante de llama mas ampliamente utilizado en las tarjas de circuito
Eteres de difenilo polibromado (PBDE)	impreso y en las carcasas
<b>Clorofluorocarbonos (CFC)</b>	<b>Unidad de refrigeración y espuma de aislamiento</b>
Policloruro de vinilo (PVC)	Aislamiento de cables
<b>Metales pesados y otros metales</b>	
Arsénico	Pequeñas Cantidades en forma de arseniuro de galio en diodos emisores de luz (LED)
Bario	Captadores (getters) en tubos de rayos catódicos (TRC)
Berilio	Fuentes de potencia que contienen rectificadores controlados de silicio y lentes de rayos x
Cadmio	Baterías recargables de Nicd, película fluorescente (Pantallas de TRC) tintas de impresión y toner, maquinas fotocopadoras (Impresión Tambor)
Cromo VI	Cintas dce datos y discos flexibles.
Plomo	Pantallas de TRC. Barerías y tarjetas de circuito impreso.
Litio	Baterías de Litio.
Mercurio	Lamparas Fluorescentes que proporcionan iluminación en LCD, En algunas pilas alcalinas y el mercurio como contacto de interruptores.
Niquel	Baterías recargables de NiCd o NiMH y cañon de electrones en los TRC
<b>Tierras raras (Itrio, Europio)</b>	<b>Capa fluorescente (Pantallas de los TRC).</b>
Selenio	Maquinas de fotocopadoras antiguas (fototambores).
Sulfuro de zinc	Interior de las pantallas de tubos de rayos catódicos, mezclado con metales de tierras raras.
Otros:	
Polvo de toner	Cartuchos de tóner para impresión laser y copiadoras
Sustancias radioactivas	
Americio	Equipos médicos, detectores de fuego y elementos activos de detectores de humo.

*Nota:* Sustancias peligrosas en los RAEE. Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (EMPA), mencionado por MinAmbiente (2020).

### **Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos**

Los aparatos eléctricos y electrónicos son todos aquellos aparatos que para funcionar debidamente necesitan de corriente eléctrica o campos electromagnéticos.

Los aparatos que al final de su vida útil pueden constituir residuos de aparatos eléctricos o electrónicos, las cuales tenían una clasificación hasta el 14 de agosto del 2018, a partir de esta fecha se genera una nueva clasificación la cual se puede mirar en la imagen 1.

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

## Figura 5

*Nuevas categorías de RAEE*



*Nota:* Tomado de Raee Andalucía (2018).

Dentro de esta clasificación de los RAEE están los aparatos médicos dentro de los que están los aparatos de radioterapia, cardiología, diálisis, medicina nuclear, ventiladores, pulmonares, analizadores, aparatos de laboratorio y otros aparatos.

### Tecnología biomédica

Los equipos biomédicos son un conjunto de sistemas eléctricos, electrónicos o hidráulicos con un software especializado aplicando conocimientos científicos, dependiendo de su uso y fabricante, lo cual permite el diagnóstico, prevención, tratamiento o rehabilitación de enfermedades.

En Colombia la tecnología biomédica se clasifica según el riesgo y uso, de acuerdo con lineamientos de funcionamiento y requisitos de seguridad según el decreto 4725 del 2005 (Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos [INVIMA], 2013).

Se clasifican de la siguiente forma:

**Tabla 1***Clasificación de equipos biomédicos*

Clasificación	Riesgo
Clase I	Dispositivo médico de bajo riesgo.
Clase IIA	Dispositivo médico de riesgo moderado.
Clase IIB	Dispositivo médico de alto riesgo
Clase III	Dispositivo médico de muy alto riesgo.

*Nota:* Fuente propia

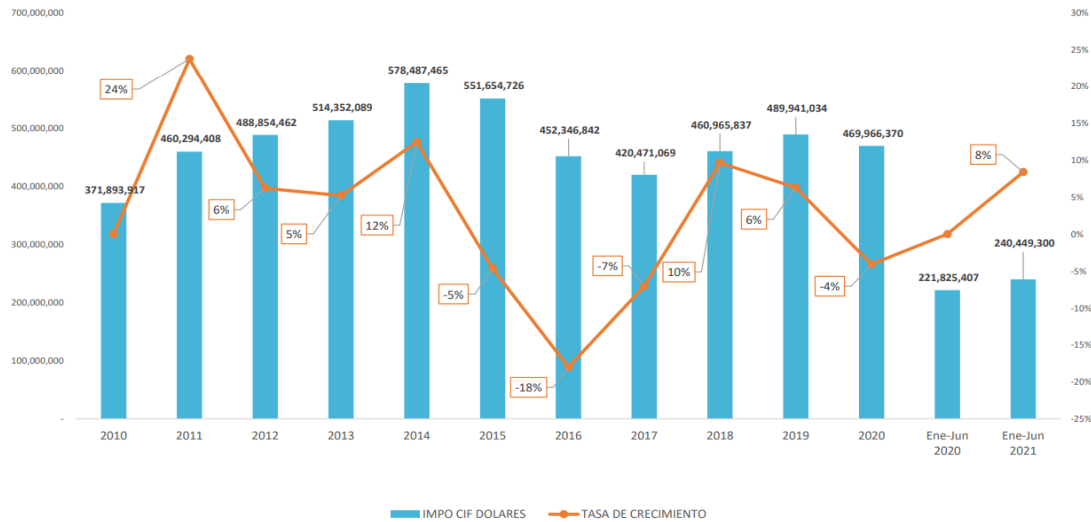
Con el crecimiento exponencial y necesidad de nueva tecnología para el ámbito médico, para contrarrestar el apoyo para el diagnóstico o tratamiento de patologías, en las instituciones prestadoras de salud es necesario el cambio oportuno o actualización de la tecnología médica.

La importación de equipos biomédicos en Colombia tuvo un crecimiento del 8 % USD para el 2021 (Asociación Nacional de Industriales Andi [ANDI], 2021) y se espera un crecimiento anual de 5.3% USD hasta el 2024 (SICEX Promoting Global Trade, 2021).

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Figura 6**

*Importaciones de equipos biomédicos en Colombia*



*Nota:* Comparación de importaciones de equipos biomédicos a través de los años, informe realizado por la ANDI de enero a junio 2021 (ANDI, 2021).

Teniendo en cuenta lo anterior, la gestión y ciclo de vida de la misma tecnología se basa en las siguientes fases:

**Figura 7**

*Ciclo de vida de equipos biomédicos*



*Nota:* Ciclo que describe las fases de post mercado de los equipos biomédicos (INVIMA, 2010).

Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Planeación:** Se determina las necesidades para la adquisición de la tecnología, fines y proyección de uso según los estudios o procedimientos para la cual se adquiere

**Selección:** Elección de tecnología biomédica acorde a los requerimientos.

**Adquisición:** Es la disponibilidad de recursos para la compra de la tecnología.

**Instalación:** Es la puesta en marcha del equipo biomédico según lineamientos y especificaciones de su fabricante.

**Uso clínico:** Uso y funcionamiento del equipo biomédico durante su vida útil.

**Mantenimiento:** Es la rutina de inspección de funcionamiento o protocolo de acuerdo con el fabricante del equipo biomédico, este puede ser mantenimiento preventivo, correctivo o predictivo.

**Disposición final:** Es la fase que corresponde al término de la vida útil del equipo biomédico, dependiendo de diferentes aspectos cualitativos y cuantitativos.

Entre estos se encuentra que la tecnología no cumple con los estándares clínicos y científicos, así que se discontinúa su uso, fallos constantes de funcionamiento, fin de soporte de repuestos y a nivel contable el equipo ya tiene una depreciación en cero, obsolescencia, por lo anterior se determina dar de baja el equipo realizando el desmantelamiento y destrucción de este (INVIMA, 2013).

En esta fase la institución prestadora de salud determina si el equipo biomédico se puede entregar en donación para educación o desechar a través del proveedor o propiamente la institución a través de un gestor autorizado (Hernández Duque, 2015).

Por lo anterior se determina que el proceso para el desmantelamiento del equipo biomédico hace parte de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos RAEES, los cuales son productos que incluyen diferentes partes como tarjetas o módulos electrónicos,

Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá que están compuestos por metales (férreos y no férreos), cubiertas de plástico, tubos de rayos catódicos, cables, cobre, baterías, pantallas LCD (Liquid Cristal Display), motores, fluidos etc. Lo cual si no se tiene una buena gestión estos pueden indirectamente tener un impacto negativo en la salud de las personas (Murillo Mosquera, 2015).

Los elementos que se pueden identificar en los RAEES cuando se hace su proceso de separación, desmantelamiento y reciclaje se evidencia la presencia de elementos y liberación de emisiones tóxicas como: Plomo, Mercurio, Berilio, Arsénico, Cadmio, Selenio, Cromo Hexavalente, Sustancias Halogenadas, Clorofluorocarbonos, Bifenilos Policlorados, entre otros.

### **Impacto en salud**

El impacto para la salud, con los RAEES de tipo biomédico, está determinado por dichos compuestos que pueden estar presentes en las placas de circuito impreso PCB y discos duros, como el óxido de Berilio, Cromo, Bromo dependiendo de la cantidad y métodos de extracción pueden causar trastornos pulmonares, sistema inmunológico, cáncer, alteraciones cutáneas y oculares.

También pueden estar en los componentes electrónicos como relés, lámparas fluorescente y pantallas LCD allí suelen encontrarse pequeñas cantidades de Mercurio y Arsénico (Velázquez Carrión, 2016), pero si se tiene una exposición prolongada a este tipo de elementos puede afectar la piel, daño cerebral, pulmones, riñones, ojos y el aparato digestivo (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

En las baterías de equipos portátiles como ecógrafos y rayos x portátiles, hay presencia de manganeso, cadmio, níquel o mercurio lo cual si no se realiza una disposición especial puede afectar y contaminar fuentes de agua o alimentos, lo cual puede generar afecciones en vías respiratorias, digestivas, inmunológicas y neurológicas.

Igualmente, en los procesos de incineración de plástico y recuperación de los RAEES pueden formarse dioxinas y furanos, son compuestos tóxicos lo que puede causar problemas reproductivos y de desarrollo y hormonas (García-Silvera et al., 2019).

### **Gestión de los RAEES en Colombia**

En Colombia a través del Ministerio del Medio Ambiente se establecen lineamientos técnicos para el Manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEES), los cuales se dividen de la siguiente forma.

**Recolección:** Sistema de recolección eficaz el cual debe estar organizado para la recepción y recaudación de los residuos.

**Transporte y Logística:** Es la cadena de transporte de RAEES dependiendo del tipo de residuo, o proceso de desensamble o reciclaje.

**Almacenamiento:** Puntos específicos para la recepción de RAEES, con una infraestructura especial para el manejo de estos.

**Reusó:** Proceso que sugiere el prolongamiento de la vida útil de los residuos para que vuelvan nuevamente a introducirse como productos o materias primas a través del reciclaje.

**Clasificación y evaluación:** es el proceso de categorización de los RAEES, como tipo, modelo y estado, con el fin de determinar que materiales se pueden recuperar de estos residuos.

Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Reciclaje:** Es el proceso de revisión de materiales recuperables, lo cual se realiza de manera manual o mecánica.

**Descontaminación:** En esta etapa de separación de los componentes peligrosos que pueden estar presentes en los RAEEES, aquí se puede determinar si se hace uso de métodos de incineración controlada o refinación.

**Desensamble:** Se basa en separar los componentes realizando un desembalaje desde lo más grande a lo más pequeño, es proceso se llama desensamble parcial y completo, en este último se hace la clasificación de plásticos, metales, metales no ferrosos, aluminio, cobre etc. (Murillo Mosquera, 2015).

**Disposición final:** Son los residuos resultantes no aprovechables.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

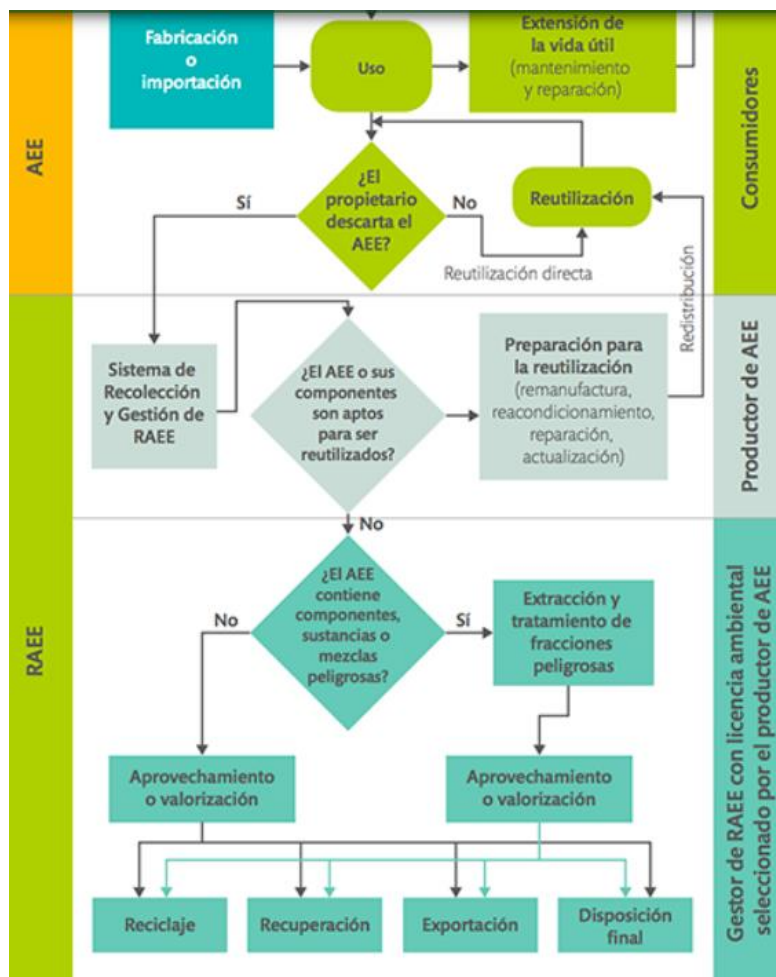
### Modelos de recuperación de RAEEs

Para la gestión y recuperación de RAEEs, se establecen dos parámetros para tener en cuenta, ya que depende del flujo del proceso y el tratamiento que se le da a los mismos.

Actualmente el proceso establecido es el siguiente.

### Figura 8

*Flujo de actores en la gestión de RAEEs en Colombia*



*Nota:* Flujo del proceso actual de la gestión de RAEEs (Ministerio de Medio ambiente en Colombia, s. f.).

Aun así, existen simulaciones de modelos de multicriterio (Redondo, 2018) que demuestran que realizando cambios en el mismo flujo la gestión de los residuos se puede

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

optimizar, generando estrategias que apoyen la economía circular, educación ambiental y responsabilidad extendida del productor o fabricante.

Por otro lado, con el crecimiento de la tecnología de procesamiento de materiales, genera modelos de recuperación para los RAEEs, para la extracción de metales y generación de materias primas.

**Tabla 2**

### *Modelos de Recuperación de RAEEs*

Modelos	Características
Biohidrometalúrgicos	Se basa en el uso de subproductos resultantes que generan los microorganismos en los procesos de oxidación y lixiviación (separación de sustancias en una matriz sólida) de los metales.
Hidrometalúrgicos	El proceso de lixiviación con ácido sulfúrico, para posteriormente seguir con una separación sólido-líquido. Se hace uso del material recuperado mediante tratamientos químicos (cementación, coagulación, precipitación, etc.)
Pirometalúrgicos	Fundición. Aplicación de calor para la extracción del metal, altamente contaminante.
Electrometalúrgicos	Método que combina electricidad con reacciones químicas para la extracción.
Bioliexiviación	Método que usa bacterias para la extracción de metal. (Niño Abella Johana, 2021).
Electroquímica	Método que permite recuperar metales con un mínimo uso de reactivos y productos químicos, muy bajas emisiones de contaminantes al medio ambiente.
Mecánica/manual	Clasificación de materiales o componentes de manera manual, categorizando residuos peligrosos y no peligrosos

*Nota:* Tabla con modelos de recuperación existentes para los RAEEs (Aristizábal-Alzate et al., 2021).

## **Metodología**

### **Primer Nivel**

#### ***Enfoque, alcance y diseño de la investigación***

Este trabajo es de carácter descriptivo cualitativo de acuerdo con lo que expone Rodríguez Moguel (2005) lo cual comprende la recolección de datos, su análisis e interpretación y conclusiones permitiendo identificar qué el modelo puede ser propuesto o hibridado para un mejor funcionamiento en cuanto a la recuperación de las RAEES biomédicas.

Dentro del alcance de la investigación se estudiarán los equipos de imágenes diagnósticas como tomógrafos, resonadores, angiógrafos, equipos portátiles de RX, equipos telecomendados de RX, ecógrafos, arcos en C y mamógrafos ubicados en la ciudad de Bogotá.

Se identificarán sus ciclos de vida, se analizará cuál es el proceso después de su disposición final, como son los métodos de recolección, segregación de componentes y cómo a partir de ese momento empieza su transformación, con el fin de proponer un modelo de recuperación de este tipo de residuos.

## Modelo de recuperación de RAES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Figura 9**

### Metodología de investigación



*Nota:* En este mapa mental se estructura el proceso que se realizó como metodología de investigación para el reaprovechamiento de las RAES biomédicas, fuente propia.

***Definición de Variables***

Para el presente estudios se establecen las siguientes variables:

**Tabla 3***Definición de variables*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
VIDA UTIL EQUIPO BIOMEDICO	Es el tiempo establecido de operación para el equipo biomédico. Para poder garantizar la vida útil se debe realizar mantenimientos preventivos, personal de usuario capacitado, personal de servicio técnico capacitado, cumplimiento de especificaciones técnicas.	Porcentaje de equipos biomédicos de imágenes diagnosticas que se encuentran próximos al término de su vida útil en la ciudad de Bogotá.
TIPOS DE RAEE HOSPITALARIOS	Son residuos eléctricos y electrónicos que se generan en las instituciones prestadoras de salud	Porcentaje de residuos hospitalarios tipo RAEE a nivel Bogotá
TRASPORTE	Método para trasladar los RAEE tipo Biomédico al centro de acopio de acuerdo con el gestor seleccionado	Verificación del proceso de recolección y trasporte en Bogotá para este tipo de residuos RAEE Biomédicos
SEPARACIÓN	Se basa en separar los componentes realizando un desembalaje desde lo más grande a lo más pequeño, es proceso se llama desensamble parcial y completo, en este último se hace la clasificación de plásticos, metales, metales no ferrosos, aluminio, cobre etc. (Murillo Mosquera, 2015).	Verificación de separación de los componentes de los RAEE tipo Biomédico

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
RECUPERACIÓN	Es el proceso de recuperar los materiales de los RAEE Biomédicos de los cuales están compuestos y que son escasos	Comparación de los diferentes métodos de recuperación de los RAEE

*Nota:* Definición de variables para el estudio de las RAEEs de equipos biomédicos en la ciudad de Bogotá. Fuente propia.

### ***Población y muestra***

Para la investigación se toma como muestra los hospitales y clínicas del sector privado y público que están en operación en las 20 localidades de la ciudad de Bogotá, esta selección cuenta con los equipos biomédicos que tiene las características requeridas para gestionar la investigación.

Al profundizar acerca de la vida útil de los equipos biomédicos que poseen cada una de estas instituciones, para así determinar en qué momento se tendrá que dar de baja y el manejo que se le dará a estos residuos. Se tomarán como referencia 26 Instituciones de salud con 91 equipos biomédicos los cuales son las tecnologías más comunes en el área de la salud para diagnóstico y tratamiento oportuno, además de que la mayoría son equipos de grandes dimensiones que generan más residuos eléctricos y electrónicos.

Esta gestión se hace con base a que las entidades prestadoras de los servicios de salud tienen que estar a la vanguardia de la prestación del servicio lo que los obliga a estar actualizados con la tecnología que utilizan.

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Segundo Nivel***Selección de métodos o instrumentos para recolección de información*

De acuerdo al desarrollo y propósito del estudio, para la recolección de información se usara como instrumento un análisis documental con datos secundarios y revisión de registros sobre la gestión, separación y recuperación de los residuos tipo RAEE de equipos biomédicos que se generan en la ciudad de Bogotá, a través de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de salud y Protección Social y Artículos científicos, determinando así el modelo de aprovechamiento, con el fin de medir las variables y hallando una solución a la problemática sobre su manejo.

**Tabla 4***Instrumentos para recolección de datos*

Instrumento	Descripción	Propósito de uso	¿Cómo se va a aplicar?	¿A quién se va a aplicar?
Revisión de registros	Documentos escritos sobre un tema de interés	Tomar como referencia estudios previos sobre métodos de recuperación de RAEES, aplicado a los equipos biomédicos	Revisión de documentación relacionada con la gestión de RAEES de tipo biomédico	Revisión de los métodos de recuperación para la gestión de RAEES de tipo biomédico, con el fin del generar una propuesta para el manejo de estos.
Datos secundarios	Información existente en entidades externas	Tomar como referencia información útil para el análisis del manejo de residuos en la ciudad de Bogotá	Revisión de información existente, tomándola como base de datos para generar estadísticas sobre la gestión de RAEES de tipo biomédico.	Análisis de los métodos de recuperación para la gestión de RAEES de tipo biomédico, con el fin del generar una propuesta para el manejo de estos.

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

*Nota:* Tabla con métodos e instrumentos para recolección de datos relacionados con los RAEE tipo biomédico. Fuente propia.

### ***Técnicas de análisis de datos***

El proceso de investigación es la búsqueda de una explicación que se produce para dar una solución a un problema existente lo cual genera la necesidad de un análisis de información o datos a través de herramientas analíticas con el fin de llegar a unas conclusiones determinadas (EPIDAT, 2014), estas dependen del tipo de variables las cuales pueden ser cualitativas y cuantitativas. Con base a lo anterior se establece que las técnicas a usar son análisis cuantitativo y cualitativo de los datos relacionados con los RAEES de tipo biomédico.

En la siguiente tabla se ilustran los instrumentos y las técnicas de análisis a usar:

**Tabla 5**

#### *Instrumentos de investigación*

Instrumento	Técnica de análisis	Descripción
Datos secundarios relacionados con la gestión de RAEES de tipo biomédico	Análisis cuantitativo / estadístico	Estadística descriptiva
Registros históricos y documentos de organizaciones relacionadas con el manejo de RAEES en Colombia	Análisis cualitativo / Análisis estadístico	Estadística descriptiva

*Nota:* Definición de instrumentos y técnicas de análisis de datos relacionados con los RAEES de equipos biomédicos. Fuente propia

## Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

A través del estudio se analizarán las diversas variables encontradas en los diferentes estudios previos y datos obtenidos de entes del estado tales como el Ministerio de salud y Protección Social y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en dónde se identifican la cantidad de instituciones de salud y equipos biomédicos de diagnóstico por imagen para la ciudad de Bogotá estableciendo un porcentaje o estimación de RAEEES de estos, relacionando dichas variables con el transporte y separación de acuerdo a los actores involucrados en el mismo tomando como referencia los siguientes equipos biomédicos (Tomógrafos, Resonadores, Angiógrafos, Equipos portátiles de RX, Equipos Telecomendados de RX, Ecógrafo, Arcos en C y Mamógrafos).

Por lo anterior, se determinan los componentes que son aprovechables, estableciendo comparativos entre los métodos existentes de recuperación que nos permita proponer un modelo híbrido o nuevo que sea sostenible, óptimo y apoye la economía circular y la minería urbana a través del aprovechamiento de los minerales que se pueden encontrar en los diferentes componentes electrónicos.

### **Análisis de resultados**

De acuerdo con la información recopilada en los datos abiertos del Ministerio de salud y Protección Social, se identifica que la ciudad de Bogotá cuenta con 546 Instituciones de salud, las cuales se dividen por nivel de complejidad, es decir la cobertura de los servicios que se ofrecen, recursos físicos y humanos, procedimientos y tecnología.

- Nivel I: Atención primaria, programas de prevención y promoción en salud.
- Nivel II: Consultas médicas, hospitalización, atención en especialidades básicas.

### Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

- Nivel III: Atención especializada, con recursos e infraestructura óptimos para procedimientos de alta complejidad.
- Nivel IV: Atención especializada, con recursos e infraestructura óptimos para procedimientos de alta complejidad, además de que cuentan con investigación clínica y universitaria (Red Colombiana contra el ataque cerebrovascular, 2021).

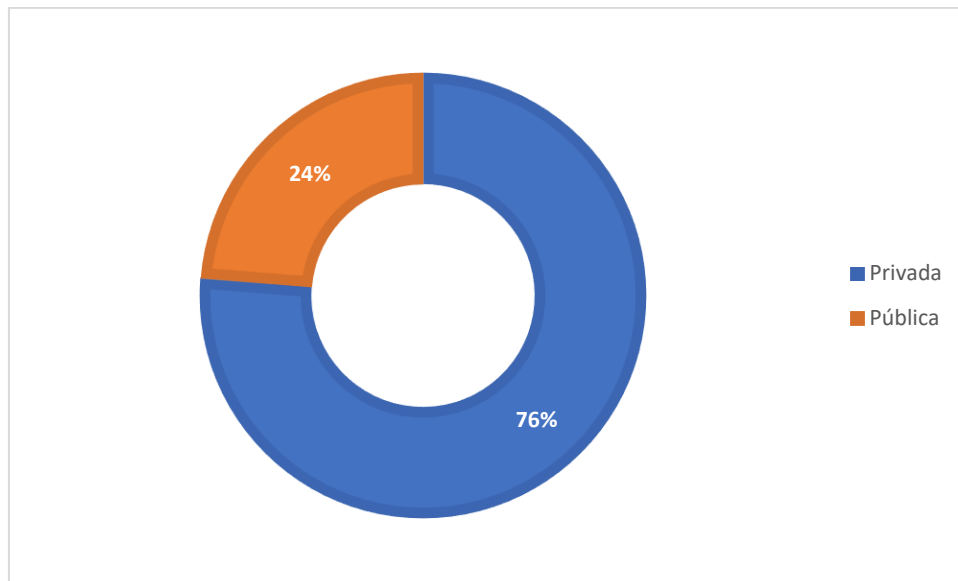
Por otro lado, el tipo de entidad, el cual depende del financiamiento y recursos para su operación, estas pueden ser privadas o públicas. Se identifica que al 2022 el 76% corresponden al sector privado y 24% al sector público.

El crecimiento exponencial en la atención en salud en la ciudad Bogotá, indica que hay una fuerte demanda en la adquisición de equipos biomédicos en general lo cual ha tenido un crecimiento del 8% en relación con los años anteriores, según datos de la ANDI a nivel Colombia (2021).

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Figura 10**

*Grafica sobre el porcentaje de instituciones de salud en Bogotá, por sectores*



*Nota:* Se evidencia el porcentaje de instituciones de salud, divididas entre sectores privado y público. Fuente propia.

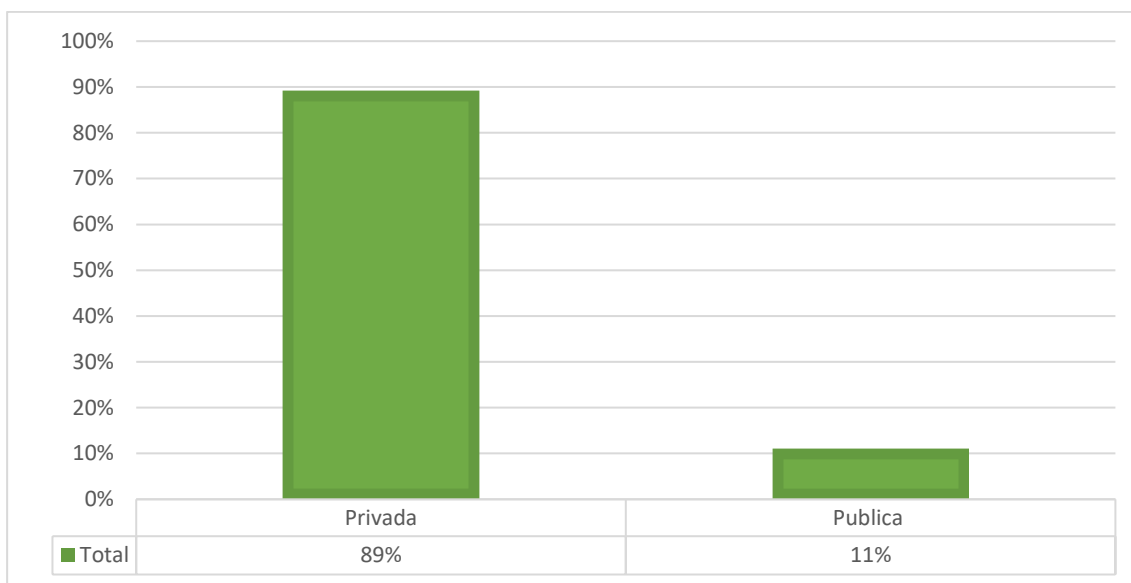
Según la base de datos suministrada por un proveedor de equipos biomédicos el cual reserva su autoría debido a la delicada información comercial que se maneja frente a otros proveedores en el mercado. Se toman como muestra los equipos más comunes y que generan mayores residuos de tipo eléctrico y electrónico debido a sus dimensiones y componentes; de esta se toman 26 Instituciones de salud en Bogotá con 91 equipos biomédicos entre los cuales son Tomógrafos, Resonadores, Angiógrafos, Equipos portátiles de RX, Equipos Telecomendados de RX, Ecógrafos, Arcos en C y Mamógrafos.

Entre entidades públicas y privadas, se identifica que el 89% corresponde a equipos del sector privado y el 11% del sector público. Esto asociado a que Colombia es el tercer país de Latinoamérica, con una inversión 21.600 millones, en el sector de la salud (Invest In Colombia, 2021).

## Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Figura 11**

*Gráfica base de datos como muestra de instituciones de salud en Bogotá*



*Nota:* Muestra tomada de 26 instituciones de salud en Bogotá, divididas entre sectores privado y público. Fuente propia.

Adicionalmente, de los equipos biomédicos identificados en su mayoría corresponde a ecógrafos (23 %), los cuales son equipos portátiles de ultrasonido, que se usan en consultorios, urgencias y centros de imágenes diagnósticas, para estudios de obstetricia y tejidos blandos.

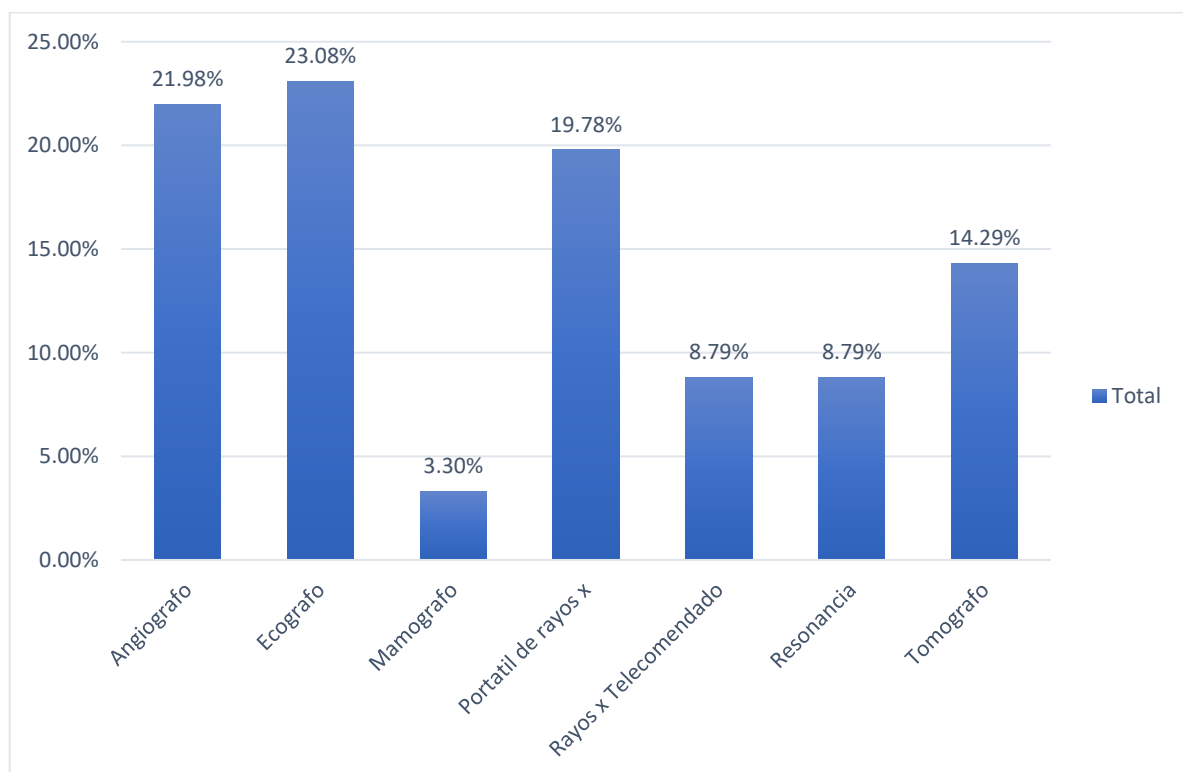
Estos son estudios de alta demanda debido a la atención de embarazadas y primer nivel para procedimientos menores no invasivos, además del costo de estos equipos biomédicos es menor en relación con equipos de imágenes diagnósticas de grandes dimensiones como angiógrafos, tomógrafos y resonancias, los cuales equivalen 20 veces el valor de los equipos portátiles.

Sin embargo, en segundo lugar el 22 % corresponde a los angiógrafos los cuales son equipos de un tamaño considerable, que se usan procedimientos de hemodinamia, es decir

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá para verificar la estructuras venosas y arteriales de manera invasiva, esto indica que en la ciudad de Bogotá este tipo de estudios tiene gran demanda en relación con enfermedades cardiovasculares las cuales son la primera causa de muerte en Colombia con un 51.988 muertes asociadas a estas en el 2021 (El Espectador, 2022).

**Figura 12**

*Grafica porcentual de equipos biomédicos de 26 instituciones en Salud en Bogotá*



*Nota:* Se evidencia el porcentaje de equipos biomédicos en 26 instituciones de salud, entre los sectores privado y público. Fuente propia.

Por otro lado, de la muestra tomada de los equipos biomédicos de las 26 instituciones en salud, se identifica que del 100 % de los equipos el 25 % corresponde a tecnología que tiene más de 10 años instalada, lo que indica que las instituciones deben realizar la disposición final de estos además de gestionar la reposición tecnológica a mediano plazo, es

## Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

decir actualizar su tecnología porque puede no brindar la mayor calidad o competencia en el mercado.

El 15 % de la muestra son equipos que tienen menos de un año de instalados, es decir que estos equipos de nueva tecnología, y el 60 % corresponde a equipos los cuales deben renovarse en un periodo de corto plazo, porque puede que la existencia de partes para su funcionamiento este nula, lo que puede acelerar el cambio oportuno de la misma.

### Figura 13

Gráfica donde se evidencia los años de instalación de los equipos biomédicos de 26 instituciones de salud



## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

*Nota:* Se evidencia la relación entre la fecha de instalación de los equipos biomédicos en 26 instituciones de salud en Bogotá, entre sectores privado y público, para determinar la vida útil de los mismo, para la revisión de su disposición final. Fuente propia.

### ***Elementos y materiales recuperables de los RAEE en los equipos biomédicos***

De acuerdo con la información encontrada, se realiza un análisis de los componentes más relevantes de los cuales se determina qué materiales, se pueden recuperar como los son metales ferrosos, no ferrosos, preciosos, plásticos y vidrio, para la creación de nuevos productos o reciclaje de estos.

**Tabla 6**

*Equipos biomédicos, partes recuperables y componentes*

Equipos biomédicos	Descripción básica Equipo biomédico	Partes recuperables	Posibles componentes recuperables
Tomógrafo	Equipo de energía ionizante con tubo de rayos x, que genera imágenes transversales del cuerpo.	Tubo de rayos X, tarjetas PCB, pantallas LCD o monitores, unidades generadoras de potencia (tanque de alta tensión, generador), cintas de datos (buses electrónicos), discos duros, vidrio de tubo de rayos X y pantallas, cubiertas plásticas.	Cadmio y zinc (Monitores) Semiconductores de las tarjetas electrónicas (Cu Cobre, Ni, Co, Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Al Aluminio, Fe Hierro) Tubo de rayos x (Bario, Silicio) Citas y discos (Cromo VI)
Angiógrafo	Equipo de hemodinamia para evaluación de estructuras venosas y arterias.		
Mamógrafo	Equipo de diagnóstico con tubo de rayos x, para las glándulas mamarias		

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Resonador magnético	Equipo de energía no ionizante, que tiene campo magnético generando una señal de radiofrecuencia para generar imagen.	Tarjetas PCB, pantallas LCD o monitores, unidades generadoras de potencia (tanque de alta tensión, generador), cintas de datos (buses electrónicos), discos duros, cubiertas plásticas, bobinas y magneto	Cadmio y zinc (Monitores) Semiconductores de las tarjetas electrónicas (Cu, Cobre, Ni, Co, Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Al, Aluminio, Fe Hierro) Citas y discos (Cromo VI) Hierro (Magneto) Bobinas de radiofrecuencia (cobre)
Portátiles de rayos x	Equipos portátiles de Rayos X, para la toma de placas y diagnóstico básico de lesiones.	Baterías, Tubo de rayos X, tarjetas PCB, pantallas LCD o monitores, cintas de datos (buses electrónicos), discos duros, Vidrio de tubo de rayos X y pantallas, Cubiertas plásticas.	Cadmio y zinc (Monitores) Semiconductores de las tarjetas electrónicas (Cu, Ni, Co, Au, Ag, Pt, Pd, Rh) Tubo de rayos x (Bario, Silicio) Citas y discos (Cromo VI) Baterías (Cadmio, Plomo, Litio, Níquel)
Equipos de rayos x telecomandados	Equipos de rayos x telecomandado, que permita realizar panorámicas y con mesa basculante a control remoto, permite realizar video.	Tubo de rayos X, tarjetas PCB, pantallas LCD o monitores, unidades generadoras de potencia (tanque de alta tensión, generador), cintas de datos (buses electrónicos), discos duros, Vidrio de tubo de rayos X y pantallas, Cubiertas plásticas.	Cadmio y zinc (Monitores) Semiconductores de las tarjetas electrónicas (Cu, Cobre, Ni, Co, Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Al, Aluminio, Fe Hierro) Tubo de rayos x (Bario, Silicio) Citas y discos (Cromo VI)
Ecógrafos	Equipo de energía no ionizante que usa ondas de	Tarjetas PCB, pantallas LCD, embobinados de fuentes de poder	Semiconductores de las tarjetas electrónicas (Cu, Cobre, Ni, Co, Au, Ag, Pt, Pd, Rh, Al)

---

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

ultrasonido para  
crear imágenes.

Aluminio, Fe Hierro)  
Fuentes de poder  
(Cobre)  
Cadmio y zinc  
(Monitores)

---

*Nota:* Equipos biomédicos tomados como muestra, donde se identifican partes recuperables y componentes. Adaptado de Gándara Pérez y Lubo Hoyos (2019).

### ***Proceso de gestión de RAEE local de equipos biomédicos***

Generalmente los RAEE se manejan por posconsumo, lo cual significa que el fabricante se hace cargo de su disposición final, aunque no en todos los casos ocurre, por lo que las empresas de salud se deben hacer cargo de la disposición final de los equipos llamando a empresas gestoras de recolección de residuos.

Estas empresas gestoras tienen procesos de recolección similares para los equipos biomédicos por ejemplo en la empresa gestora EcoCómputo solicita empacar y embalar los equipos de mayor volumen en lona o granel enzunchado y etiquetados correctamente de acuerdo con las disposiciones generales que aparecen en la NTC 1692:

Transporte de Mercancías Peligrosas Definiciones, Clasificación, Marcado, Etiquetado y Rotulado, dentro de las empresas gestoras aprobadas por la Secretaría Distrital de Ambiente se encontraron las siguientes especializadas en RAEE de tipo Biomédico.

**Figura 14***Proceso Gestión RAEE Biomédico*

*Nota:* Resumen del proceso de gestión de las RAEE a través de un gestor ambiental.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Tabla 7***Lista de gestores Respel Bogotá*

No	EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONO	ACTO ADMINISTRATIVO	EXPEDIENTE	ACTIVIDAD APROBADA	TIPO DE RESIDUO APROBADO
1	E WASTE SOLUTIONS S.A.S.	KR 33 N 12 B - 89	24781 61	RESOLUCIÓN No 02092 DEL 25/10/2015	SDA-07-2014-5107	Almacenamiento aprovechamiento	Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE, específicamente: grandes electrodomésticos (que no contengan sustancias agotadoras de la capa de ozono – saoz), pequeños electrodomésticos, equipos informáticos y de telecomunicación, aparatos eléctricos de consumo, herramientas eléctricas y electrónicas, juguetes equipos deportivos y de tiempo libre, equipos médicos no clasificados como residuos infecciosos, instrumentos de medida y de control y máquinas expendedoras de bebidas y comidas
2	ECOLSOS	Cra. 68c # 11 Sur - 48, Bogotá	17597 998			Recolección y transporte	Prestación de servicios relacionados con la gestión ecológica, técnica y ambiental (Recolección y transporte) de toda clase de residuos orgánicos, peligrosos (inflamables, corrosivos, tóxicos, reactivos o patológicos), provenientes de todos los sectores (Industrial, hospitalario, público o privado), en sus diferentes estados (Sólidos, líquidos, gaseosos, plasma



## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

No	EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONO	ACTO ADMINISTRATIVO	EXPEDIENTE	ACTIVIDAD APROBADA	TIPO DE RESIDUO APROBADO
							<p>Y9/A4060 Mezclas y emulsiones de desechos de aceite y agua o de hidrocarburos y agua. Y10/a3180 sustancias y artículos de desecho que contengan, oes ten contaminados, por bifenilos policlorados (PCB), erfelinos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB).</p> <p>Y11/A3190 Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento pirolítico.</p> <p>Y12/A4070 Desechos resultantes producción, preparación, y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices</p> <p>Y13/A3050 desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.</p> <p>Y16. Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos</p> <p>Y17. Desechos resultantes del tratamiento de superficies de metales y plásticos</p>

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

No	EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONO	ACTO ADMINISTRATIVO	EXPEDIENTE	ACTIVIDAD APROBADA	TIPO DE RESIDUO APROBADO
							Y22. Desechos que tengan como constituyentes: compuestos de cobre.
							Y23. Desechos que tengan como constituyentes: compuestos de zinc
							Y26/A1010/A1020 Desechos que tengan como constituyentes: cadmio y compuestos de cadmio.
							Y27/A1010/A1020 Desechos que tengan como constituyentes: antimonio y compuestos de antimonio
							Y29/A1010/A1030 Desechos que tengan como constituyentes: mercurio y compuestos de mercurio.
							Y31/A1010/A1020 Desechos que tengan como constituyentes: plomo y compuestos de plomo.
							Y35/A4090 soluciones básicas o bases en forma sólida
							Y39/A3070 Fenoles, compuestos fenólicos, con inclusión de clorofenoles <sup>2</sup> .
							Y40/A3080 Eteres
							Y41/A3150 Solventes orgánicos halogenados
							Y42/A3140 Disolventes orgánicos con exclusión de disolventes halogenados
							A1050 Lodos galvánicos

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

No	EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONO	ACTO ADMINISTRATIVO	EXPEDIENTE	ACTIVIDAD APROBADA	TIPO DE RESIDUO APROBADO
							A1060 Líquidos de desecho de metales
							A1070 Residuos de lixiviación del tratamiento del zinc, polvos y lodos como jarosita, hermatites, etc.
							A1080 Residuos de desechos de zinc que contengan plomo y cadmio
							A1110 Soluciones electrolíticas usadas de las operaciones de refinación y extracción electrolítica del cobre
							A1120. Lodos residuales, excluidos los fangos anódicos, de los sistemas de depuración electrolítica de las operaciones de refinación y extracción electrolítica del cobre
							A1130. Soluciones de ácidos para grabar usada que contengan cobre disuelto.
							A1140 Desechos de catalizadores de cloruro cúprico y cianuro de cobre.
							A1150 Cenizas de metales preciosos procedentes de la incineración de circuitos impresos
							A1160 Acumuladores de plomo de desecho, enteros o triturados

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

No	EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONO	ACTO ADMINISTRATIVO	EXPEDIENTE	ACTIVIDAD APROBADA	TIPO DE RESIDUO APROBADO
							A1170 Acumuladores de desecho sin seleccionar excluidas mezclas de acumuladores.
							A1180. Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de estos que contengan como componentes como acumuladores y otros baterías, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados, por ejemplo; cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado).
							A2010. Desechos de vidrio de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados
							A2030. Desechos de catalizadores
							A3010 Desechos resultantes de la producción o el tratamiento de coque de petróleo y asfalto
							A3030. Desechos que contengan estén integrados o estén contaminados por lodos de compuestos antidetonantes con plomo
							A3040. Desechos de líquidos térmicos (transferencia de calor)

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

No	EMPRESA	DIRECCIÓN	TELÉFONO	ACTO ADMINISTRATIVO	EXPEDIENTE	ACTIVIDAD APROBADA	TIPO DE RESIDUO APROBADO
							<p>A3060. Nitrocelulosa de desecho</p> <p>A4120. Desechos que contienen, consisten o están contaminados con peróxidos.</p> <p>A4130. Envases y contenedores de desechos</p> <p>A4160. Carbono activado consumido.</p> <p>Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE sometidos a trituración</p> <p>Pilas salinas y alcalinas sometidas a trituración</p> <p>Cartuchos de tóner sometidos a desensamble y extracción manual del polvo.</p>
4	<p>PROCESOS INDUSTRIALES REUTILIZABLES LTDA - PROUTILES LTDA</p>	<p>KR 92 N 64 C - 65 BG 25</p>	<p>48123 21 2600084</p>	<p>RESOLUCIÓN N NO 0025 DEL 16/01/2013</p>	<p>SDA-07-11-2111</p>	<p>Almacenamiento aprovechamiento</p>	<p>RAEE</p>

Nota: Tomado de la Secretaría Distrital de Ambiente (2022).

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

### ***Proceso de Transporte y separación RAEE Equipos Biomédicos***

Al final de la vida útil los equipos biomédicos son evaluados por un ingeniero especializado verificando su obsolescencia, con el fin de iniciar una separación desde la fuente, donde los accesorios, piezas mecánicas e incluso monitores que puedan ser reutilizados se puedan emplear después de un proceso de limpieza y desinfección; las partes que no pueden tener un segundo uso serán transportadas por los gestores ambientales y allí se hará su reciclaje.

El proceso de separación se puede realizar tanto manual como mecánicamente, se deberá clasificar cada una de las partes del equipo biomédico, separar aquellas partes que pueden ser peligrosas para el ambiente y realizar su debida disposición, así como llevar a trituración aquellas partes que no extenderán su vida (Permanyer Martínez, 2013).

En la siguiente figura se muestra un diagrama de flujo del proceso para el reciclaje de RAEE, el cual muestra seis tipos de separación de materiales y cómo se tratan según Pathak et. al., (2017).

**Figura 15**

*Diagrama de flujo del proceso para el reciclaje de RAEE*



*Nota:* Flujo del proceso de reciclaje de RAEE (Gándara Pérez y Lubo Hoyos, 2019).

### Modelos de recuperación RAEE

El reciclaje de los RAEE inicia con la separación y clasificación de todos los materiales reciclables, no reciclables y peligrosos, para un posterior aprovechamiento por industrias especializadas.

Para esto es necesario generar procesos de recuperación que no emitan sustancias tóxicas a la atmósfera, como los bromuros de llama retardante y evitar que se contaminen las fuentes de agua con los procesos subsecuentes de recuperación y extracción de los materiales metálicos de interés. Estos procesos se convierten en una alternativa viable, innovadora y rentable ya que permite dar un rehusó a las materias primas necesarias para la generación de nuevos equipos eléctricos y electrónicos sin la necesidad de explotar las fuentes naturales de estas.

### Tabla 8

*Tablas sobre métodos de recuperación ventajas e impacto ambiental*

Tipo	Proceso	Impacto Medio ambiente	Ventajas
Biohidrometalúrgicos	Utiliza ácido sulfúrico que es un Subproductos generados por acidófilas que son microorganismo, en este proceso de inicialmente se oxidan los metales y después se aplica el proceso de lixiviación para realizar la recuperación de los metales (Vargas Muñoz, 2017).	Por ser un proceso eco-innovador es un proceso más amigable con el medio ambiente y tiene un bajo impacto ya que no emite a la atmosfera elementos químicos tóxicos como dioxinas, furanos, metales volátiles Cl <sub>2</sub> , Br <sub>2</sub> , So <sub>2</sub> y Co <sub>2</sub> .	1. Extracción de metales valiosos como cobre y Arsenio mediante hongos. 2.Extracción de metales preciosos mediante el uso de bacterias cianogénicas. 3. Recuperación de metales como Hierro, manganeso, cinc, litio, cobalto, y níquel 4. Recuperación de metales preciosos como oro y plata. 5. Se alcanzan altos niveles de

Tipo	Proceso	Impacto Medio ambiente	Ventajas
Pirometalúrgicos	<p>Separación de metales de los demás componentes mediante procesos de alta temperatura por medio de los siguientes procesos:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1 Secado.</li> <li>2 Calcinación.</li> <li>3 Tostado.</li> <li>4 Fundición.</li> <li>5 Refino.</li> <li>5.1 Volatilización.</li> <li>5.2 Metalotermia.</li> <li>5.3 Electrólisis ígnea o de sales fundidas (Vargas Muñoz, 2017).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es un proceso poco amigable con el medio ambiente ya que genera gran cantidad de contaminantes para el aire por la formación de óxidos, dióxidos y furanos.</li> <li>2. La recuperación de hierro y aluminio no es fácil.</li> <li>3. Se generan emisiones de dioxinas y furanos (compuestos muy contaminantes y cancerígenos) que deben ser estrictamente controlados</li> <li>4. Baja pureza de los metales preciosos refinados, lo que requiere técnicas hidrometalúrgicas para incrementar la pureza.</li> </ol>	<p>recuperación de metales.</p> <p>La recuperación de Estaño (Sn), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Aluminio (Al) es muy baja por la combinación de materiales cerámicos y fibra de vidrio</p>
	<p>Es una técnica que disuelve metales en un medio acuoso, a través de bacterias las cuales se alimentan principalmente de arsénico y azufre, dos impurezas que hay que extraer para producir cobre.</p> <p>Este método tiene dos mecanismos de extracción que son directo e indirecto, el mecanismo directo se da por las reacciones químicas con el</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No genera vapor de azufre y arsénico, no hay emisión de gases ni de polvos.</li> <li>2. El mayor beneficio de esta nueva tecnología es que evita la producción de relaves, que son los desechos tóxicos.</li> <li>3. La generación de drenajes ácidos con contenidos significativos de ácido sulfúrico y metales pesados, producto de la actividad microbiana</li> </ol>	<p>Por medio de este método se puede recuperar cobre, zinc, plomo, arsénico, antimonio, níquel y cobalto</p>

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Tipo	Proceso	Impacto Medio ambiente	Ventajas
Electroquímica	contacto físico de microorganismos, el indirecto se da por reacciones químicas (Ramírez Cruz et al., 2005).	no controlada, constituye el principal impacto ambiental de la biolixiviación.	
	El proceso electroquímico es donde se oxidan los metales con electricidad y la posterior recuperación de metales disueltos (Pérez Lozano, 2019).	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El tratamiento electroquímico se puede utilizar en el tratamiento de residuos altamente tóxicos</li> <li>2. El proceso puede funcionar a temperatura ambiente y presión ambiental.</li> <li>3. Evita la emisión de gases, sulfuros y partículas metálicas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Es una tecnología respetuosa con el medioambiente porque solamente usa electricidad</li> <li>2. Desarrollo de procesos electroquímicos para el reciclado y la recuperación de metales (Pb, Zn, Ni...). El uso de los procesos electroquímicos permite obtener metales con una gran pureza y supone una alternativa más ecológica a la pirometalurgia clásica.</li> </ol>

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Tipo	Proceso	Impacto Medio ambiente	Ventajas
Electrometalúrgicos	Recuperación de metales pesados mediante la utilización de tecnología de intercambio iónico, y posterior recuperación mediante electrodeposición catódica (Pérez Lozano, 2019).	1, La eliminación de metales pesados en las aguas residuales generan gran toxicidad sino se hacen tratamientos previos y los procesos con otros agentes lixiviantes, requieren altos consumos, largos periodos de operación, además operar en condiciones muy corrosivas que requieren equipos de acero inoxidable que resistan tales condiciones. 2. Alta probabilidad de pérdidas de metales preciosos en las diferentes etapas de los procesos. 3. El proceso se desarrolla con una cinética de reacción lenta.	El beneficio de utilizar esta técnica es la reducción de la contaminación del aire al evitar la producción de gases, sulfuros y partículas metálicas.

*Nota:* Resumen sobre los métodos de recuperación de RAEEs existentes.

### Discusión de resultados

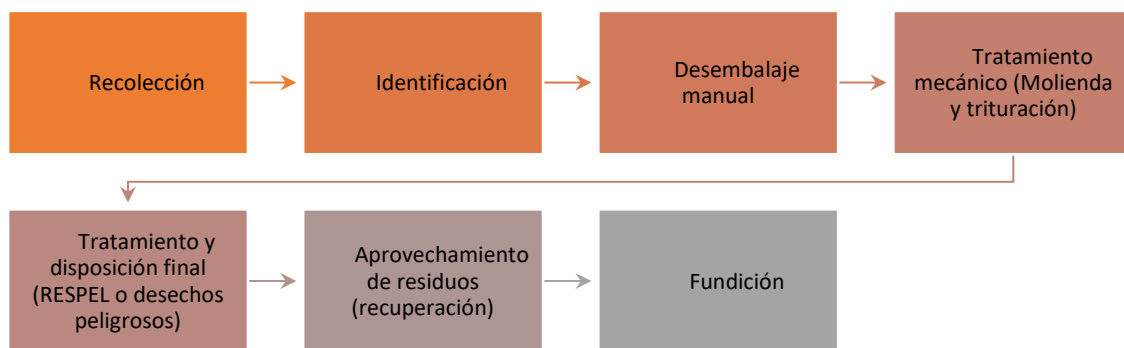
De acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente se identifican que la adquisición de nueva tecnología biomédica se encuentra en crecimiento debido a los desafíos diarios contra enfermedades para su diagnóstico y tratamiento, con lo que podemos concluir que es necesario y de vital importancia tener un proceso para la disposición final de los RAEE de tipo biomédico y su recuperación.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Se identifica que en la ciudad de Bogotá no hay establecido un procedimiento estándar para las instituciones de salud para la disposición final de los equipos, a pesar que se tiene claros los criterios para ello, no se cuenta con lineamientos locales para el manejo de los RAEE de tipo biomédico, por lo que cada Institución tiene una gestión propia junto con apoyo bien sea de los gestores ambientales, como de los proveedores de tecnología biomédica, los cuales son extranjeros y normalmente los componentes electrónicos y eléctricos se disponen fuera del país. En la revisión del proceso local de la gestión de RAEEs por parte de los gestores ambientales, se muestra en el siguiente diagrama:

**Figura 16**

### *Proceso de disposición de RAEE en Bogotá*



*Nota:* Proceso local de disposición de RAEE por parte de gestores ambientales autorizados.

Fuente Propia.

Cabe resaltar que el proceso de recuperación de las RAEE en Colombia llega a su etapa básica de Fundición, sin embargo, también existen otros métodos entre los cuales se encuentra la Refinación térmica y química, Incineración controlada, Bioxilación, puesto que no se cuenta la infraestructura suficiente, altos costos y recurso calificado para su operación. De acuerdo con la información encontrada se identifica una oportunidad de inversión para la implementación de centros de recuperación de RAEE de tipo biomédico

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

con el fin de generar empleo, recuperación de metales preciosos o materias primas para el diseño y creación de otros productos de manera local.

Debido a que actualmente, Colombia al ser un país importador de tecnología médica y no fabricante, los residuos generados son enviados para su recuperación y disposición en las casas matrices, las cuales normalmente están ubicadas en Europa, Canadá y USA, en donde se encuentran centros especializados que usan dichos métodos para reciclar este tipo de materiales.

A continuación, se muestran algunos de los centros especializados donde se aplican métodos de recuperación de RAEES.

**Tabla 9**

*Tabla de Proveedores de recuperación de RAEES internacionales*

Nombre	País	Descripción
Umicore www.unicore.com	Bélgica	Umicore es un grupo empresarial de tecnología de materiales. Sus actividades se centran en cuatro áreas de negocio: materiales avanzados, productos de metales preciosos y catalizadores, metales preciosos y servicios de especialidades de zinc y cobalto, entre otros metales.
Boliden www.boliden.se	Suecia	Boliden es una de las principales empresas europeas de metales. Los principales metales son el zinc y el cobre. Las operaciones se llevan a cabo en tres áreas de negocio: mercadeo, fundiciones y minas.
Norddeutsche Affinerie AG www.na-ag.com	Alemania	El Grupo de NA es el mayor productor de cobre en Europa y es el líder mundial en el reciclaje de cobre. Producen alrededor de 1 millón de toneladas de cátodos de cobre y más de 1.2 millones de toneladas de productos de cobre cada año.

## Modelo de recuperación de RAEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

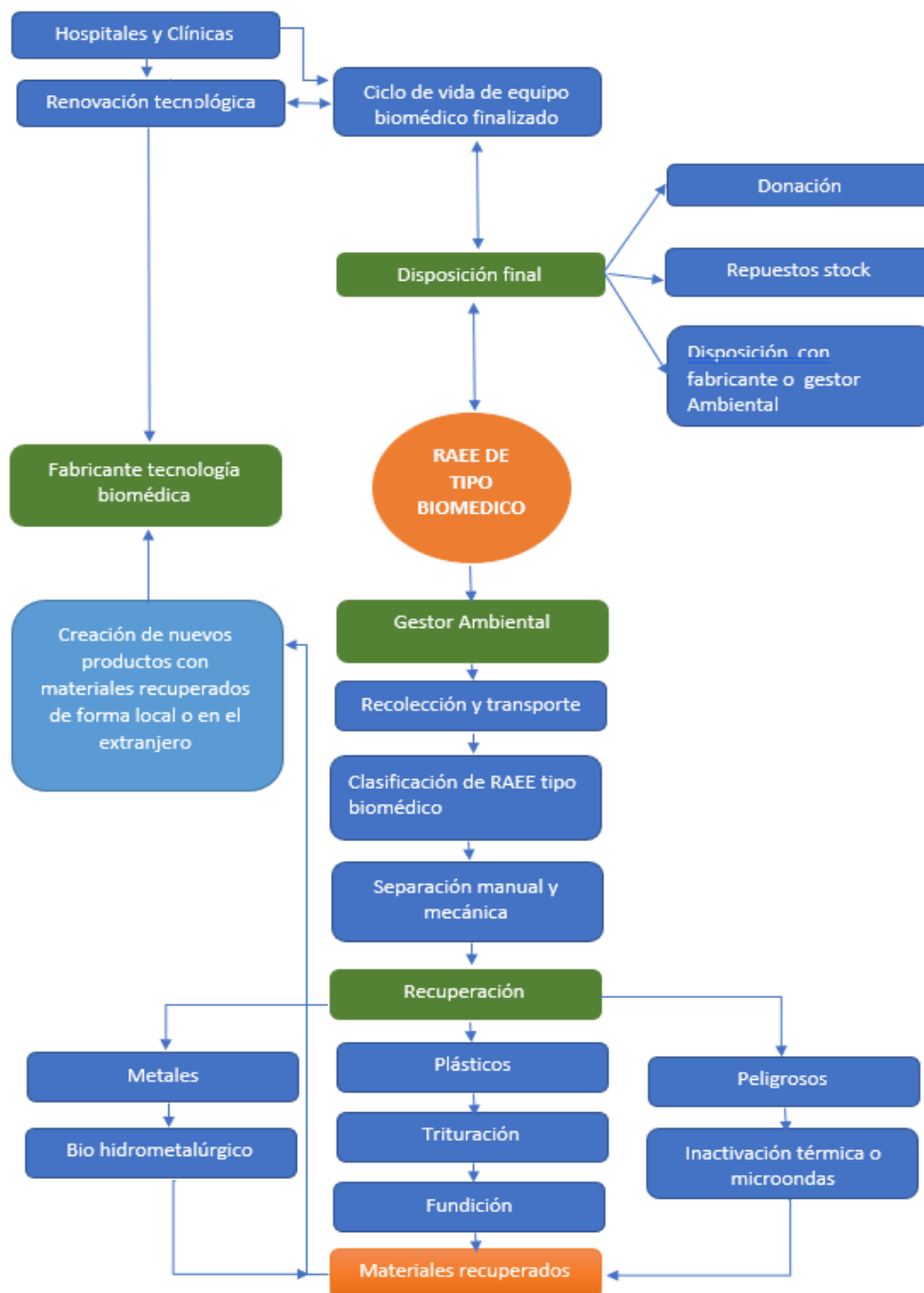
Nombre	País	Descripción
Noranda – Xstrata www.xstrata.com	Canadá	Xstrata es un grupo minero diversificado, cuyas empresas mantienen una significativa posición en siete importantes mercados internacionales de productos básicos: cobre, carbón para coque, carbón térmico, ferrocromo, níquel, vanadio y zinc; con un creciente grupo de platino, exposiciones adicionales de oro, cobalto, plomo y plata, e instalaciones de reciclaje.
SIPI Metals Corp www.sipimetals.com	USA	SIPI Metales Corp. es una refinadora de metales preciosos y fabricante de aleaciones de cobre. Su interés está en el refinado de metales preciosos de desechos generados en la electrónica, química, fotografía, y las industrias aeroespaciales
Colt Refining Inc.	USA	Colt Refining es una empresa que ofrece los servicios de refinación química y recuperación de metales preciosos.
WC Heraeus GMBH www.heraeus.com	Alemania	La actividad principal de WC Heraeus GMBH es la recuperación de metales preciosos como oro, plata, metales del grupo (MGP), paladio, iridio, osmio, rodio, rutenio), y de metales especiales (tales como tántalo y berilio).
ACURRED www.accurec.de	Alemania	Líder en innovación de procesos de reciclaje de baterías. Ha desarrollado, instalado y mejorado constantemente las mejores tecnologías de reciclaje de baterías de NiCd, NiMH, y de Li.
SNAM http://www.snam.com	Francia	Empresa filial del grupo empresarial Floridienne, Belga). Fundada en 1981, es una de las pocas empresas en el mundo con la tecnología para reciclar Co, Cd, Li, Ni, Al, Cu, Pt, Ti y Nd de baterías y otros residuos.

*Nota:* Proveedores de recuperación de RAEES internacionales (Sandoval Ferreira et al., 2018).

## Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

Por lo cual, se propone el siguiente modelo híbrido para la gestión de RAEEES de tipo biomédico, mediante métodos de recuperación como el biohidrometálico para los metales, bacterias para la degradación de plásticos. Esto implica el menor impacto ambiental para establecer una economía circular entre los proveedores de tecnología biomédica, recuperando materias primas para generar nuevos componentes electrónicos y eléctricos u otros productos, además de concientizar a los fabricantes y usuarios de promover y crear nuevas opciones en materiales que sean reutilizables o tengan una biodegradación a corto plazo.

## Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

**Figura 17***Modelo Híbrido para la recuperación de RAEE de tipo biomédico*

*Nota:* Modelo híbrido propuesto sobre el proceso de la recuperación de RAEE de tipo biomédico en Bogotá. Fuente propia.

### Conclusiones

- Según la revisión bibliográfica, en Colombia existen políticas que reglamentan y regulan el tratamiento y recuperación de los desechos producto de los residuos eléctricos y electrónicos RAEE; dentro del marco de estas los gestores tienen un proceso no único, donde se concentra en la recolección de residuos para luego ser transportados a lugares especializados donde se aplicaran técnicas manuales y semi industriales, para generar la separación de los componentes, sin embargo, estos no cuentan con métodos de recuperación, ya que la infraestructura no es suficiente para el desarrollo de los mismos y la cantidad de equipos biomédicos no llega hacer significativo respecto a otros residuos eléctricos y electrónicos, sin embargo se debe establecer en un proceso para su manejo desde las instituciones de salud y gestores ambientales alineados con las políticas ambientales del país.

No obstante, en Colombia no hay una cultura social de reciclaje facilitando que esta actividad económica sea desarrollada por personas de manera informal, un modelo de gestión pública debería permitir incluir a las personas cuya actividad económica principal es la recolección de residuos, impulsando la inclusión social, económica y ambiental en la gestión adecuada de recuperación de los residuos minerales y metales producto de los RAEE.

- Según la información obtenida, las estrategias identificadas para promover la economía circular y la minería urbana se basan en la creación de políticas y procesos relacionados con la disposición final de los equipos biomédicos en las instituciones de salud y gestores ambientales, estandarizando el flujo continuo y

## Modelo de recuperación de RAEEES de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

reutilización de materias primas para la fabricación de nuevos productos, esto ligado a la investigación de materiales con una biodegradación de corto plazo.

- De acuerdo con la revisión de los métodos de recuperación, se identifica uno de los métodos más amigables con el ambiente es el método de Biohidrometalúrgica ya que genera agentes contaminantes para la atmósfera.
- El estado de arte, por su parte, propone un modelo de manejo y recuperación híbrido donde se toman partes del modelo actual y se sugiere la implementación de modelos internacionales ya que permite la recuperación de más materias primas, generando así mayores ganancias a la economía circular del país.
- Se identifica que los equipos biomédicos presentan componentes, recuperables y valiosos, como tubos de rayos, pantallas o monitores LCD y tarjetas electrónicas, entre los cuales se identifican metales que pueden ser usados como materias primas para la producción de más componentes electrónicos o reusados en la fabricación de otros productos, lo que implica generar una estrategia económica y así obtener ganancias sobre este tipo de residuos.

### Referencias

- Acuerdo 322 (2008, 24 de septiembre). Por el cual se ordena diseñar la Estrategia de Gestión Integral para los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos –RAEE.  
<https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/acuerdos/acuerdo-322-de-2008.aspx>
- ANDI. (2021). *Cámara de dispositivos médicos e insumos para la salud*.  
[https://www.andi.com.co/Uploads/LIBRO%20DE%20COMERCIO%20EXTERIOR%20Q2%202021\\_637677371267590579.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/LIBRO%20DE%20COMERCIO%20EXTERIOR%20Q2%202021_637677371267590579.pdf)
- Aristizábal-Alzate, C. E., González-Manosalvo, J. L., y Vargas, A. F. (2021). Revalorización de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en Colombia: una alternativa para la obtención de metales preciosos y metales para la industria. *TecnoLógicas*, 24(51), 1-20. <https://doi.org/10.22430/22565337.1740>
- Contreras Caparoso, C. S., y Rodríguez Peñaranda, A. M. (2016). *Análisis del reciclaje en la ciudad de Bogotá desde la perspectiva de dinámica de sistemas* [Trabajo de grado, Universidad de los Andes].  
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/53154/9239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Correa Páez, J. P. (2021, 21 de julio). Otra pandemia moderna: la basura eléctrica y electrónica. *Revista Pesquisa Javeriana*.  
<https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/desechos-electronicos-electricos-aparatos/>
- Decreto 284 (2018, 15 de febrero). 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.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85199>
- Decreto 4725 (2005, 26 de diciembre). Por el cual se reglamenta el régimen de registros sanitarios, permiso de comercialización y vigilancia sanitaria de los dispositivos médicos para uso humano.  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-4725-de-2005.pdf>
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo (2012, 4 de julio). *Sobre*

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

*residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (refundición)*. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=ES>

El Espectador (2022, 20 de septiembre). Las enfermedades cardíacas siguen aumentando en Colombia. <https://www.elespectador.com/salud/las-enfermedades-cardiacas-siguen-aumentando-en-colombia-noticias-hoy/>

EPIDAT. (2014). *Epidat 4: Ayuda de Análisis descriptivo*. [https://www.sergas.es/gal/documentacionTecnica/docs/SaudePublica/Apli/Epidat4/Ayuda/Ayuda\\_Epidat\\_4\\_Analisis\\_descriptivo\\_Octubre2014.pdf](https://www.sergas.es/gal/documentacionTecnica/docs/SaudePublica/Apli/Epidat4/Ayuda/Ayuda_Epidat_4_Analisis_descriptivo_Octubre2014.pdf)

Gándara Pérez, H. y. Lubo Hoyos, M. (2019). *Diagnóstico de la situación actual de la generación de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) presentes en las IPS de Barranquilla* [Trabajo de grado, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/4819>

García-Silvera, E. E., Meléndez-Mogollón, I. C., Barahona-Naranjo, R. I., y Álvarez-González, A. R. (2019). Impacto en la salud humana de los desechos provenientes en hospitales y posibles estrategias de manejo. *Revista Científica "Conecta Libertad"*, 3(2), 24–43. <https://revistaitsl.itslibertad.edu.ec/index.php/ITSL/article/view/81>

Hernández Duque, V. (2015). *Lineamientos para la disposición de equipos biomédicos luego del proceso de baja en instituciones prestadoras de servicios de salud de alta complejidad en Bogotá D.C.* [tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/15760>

Infosalus. (2018, 4 de junio). *La reutilización de equipos médicos puede ahorrar a un hospital entre 100.000 y 200.000 euros anuales*. <https://www.infosalus.com/asistencia/noticia-reutilizacion-equipos-medicos-puede-ahorrar-hospital-100000-200000-euros-anuales-20180604140833.html>

Invest In Colombia. (2021). *¿Por qué invertir en el sector de servicios de salud en Colombia?*. <https://investincolombia.com.co/es/sectores/servicios-de-salud-y-ciencias-de-la-vida/servicios-de-salud>

INVIMA. (2013). *ABC De Dispositivos Médicos*. Ministerio de Salud y Protección Social, INVIMA. <https://www.visitaodontologica.com/ARCHIVOS/ARCHIVOS->

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

[NORMAS/TECNOVIGILANCIA/ABC-Dispositivos-Medicos-INVIMA.pdf](#)

Ley 1672 (2013, 19 de julio). 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. *Diario Oficial* n.º 48856.

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53825#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20establecen,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones.>

Ley 253 (1996, 9 de enero). Por medio de la cual se aprueba el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, hecho en Basilea el 22 de marzo de 1989. *Diario Oficial* n.º. 42.688, 17 de enero de 1996.

[https://www.redjurista.com/Documents/ley\\_253\\_de\\_1996\\_congreso\\_de\\_la\\_republica.aspx#/](https://www.redjurista.com/Documents/ley_253_de_1996_congreso_de_la_republica.aspx#/)

Ley 430 (1998, 16 de enero). Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-0430-1998.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (s. f.). *Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos – RAEE*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/residuos-de-aparato-electricos-y-electronicos-raee/>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2020). *Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible : Hacia una cultura de consumo sostenible y transformación productiva*. [https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/polit\\_nal\\_produccion\\_consumo\\_sostenible.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/polit_nal_produccion_consumo_sostenible.pdf)

Merino, W., Quispe, I., Guentelicán, C., Herrero, S., Inostroza, S., Henríquez, G., Cárcamo, C., Rubilar, F., Mogrovejo, P., & Estrada, R. (2022). 5R y Sustentabilidad hospitalaria: Nuestro aporte en la emergencia climática. Parte I. Reducir, Reutilizar y Reciclar. *Revista chilena de anestesia*, 51(1), 10–16.

<https://doi.org/10.25237/revchilanestv5126111920>

Murillo Mosquera, J. P. (2015). *Guía metodológica para dar baja a los equipos biomédicos en una institución prestadora de servicios de salud de baja complejidad* [Trabajo de

- Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá grado, Universidad ECCI]. <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/207>
- OMS. (2017, 31 de marzo). *El mercurio y la salud*. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20al%20mercurio%20\(incluso,los%20pulmones%20ri%C3%B1ones%20y%20ojos](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20al%20mercurio%20(incluso,los%20pulmones%20ri%C3%B1ones%20y%20ojos).
- Pan, X. W.Y. Wong, C., Li, C. (2022). Circular economy practices in the waste electrical and electronic equipment (WEEE) industry: A systematic review and future research agendas. *Journal of Cleaner Production*, 365, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132671>
- Pathak, P., Srivastava, R. R., & Ojasvi. (2017). Assessment of legislation and practices for the sustainable management of waste electrical and electronic equipment in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.062>
- Pérez Lozano, V. M. (2019). *Tratamiento de aguas residuales*. Universidad de Alicante. <https://web.ua.es/es/leqa/documentos/oferta-tecnologica/tratamiento-de-aguas-residuales-mediante-tecnologia-electroquimica.pdf>
- Permanyer Martínez, O. (2013). *Situación e Impacto de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) Caso de Estudio: los Ordenadores* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Barcelona]. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19666/TFM%20Olga%20Permanyer.pdf>
- Quiñones, L. (2019, 17 de abril). *Los desechos electrónicos, una oportunidad de oro para el trabajo decente*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2019/04/1455621>
- Redondo, J. M., Ibarra-Vega, D., Monroy, L., y Bermúdez, J. (2018). Evaluación de estrategias para la gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. *DYNA*, 85(205), 319-327. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n205.62564>
- Resolución 076 (2019, 16 de enero). Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA, para el trámite de licencia ambiental de proyectos para la construcción y operación de instalaciones cuyo objeto sea el almacenamiento, tratamiento, y/o aprovechamiento (recuperación/reciclado) de residuos de aparatos eléctricos o electrónicos (RAEE).

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

<https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/resolucion-076-de-2019/>

Resolución 4002 (2007, 2 de noviembre). Por la cual se adopta el Manual de Requisitos de Capacidad de Almacenamiento y/o Acondicionamiento para Dispositivos Médicos. *Diario Oficial* n.º 46.806, 8 de noviembre de 2007.

[https://minalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/RESOLUCI%C3%93N%204002%20DE%202007.pdf](https://minalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCI%C3%93N%204002%20DE%202007.pdf)

Rae Andalucía (2018). *El Real Decreto establece 7 categorías de RAEE a partir del 15 de agosto de 2018*. <https://www.raeeandalucia.es/actualidad/real-decreto-establece-7-categorias-raee-partir-15-agosto-2018>

Ramírez Cruz, Y., Fernández Marisma, E. y Palacios Rodríguez, A. (2005). Recuperación de cobalto por extracción con ácidos orgánicos a partir del licor de desecho de la empresa Ernesto Che Guevara. *Revista Cubana de Química*, XVII(1), 32-39.

<https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543685020.pdf>

Rico Barrera, B. (2022, 24 de enero). *Cambiará la recolección de residuos hospitalarios en Bogotá*. CONSULTORSALUD. <https://consultorsalud.com/cambiara-recoleccion-residuos-hospitalarios-bog/>

Rodríguez Moguel, E. A. (2005). *Metodología de la Investigación*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Sandoval Ferreira, L. F. A., Figueroa Arregocés, G. S., y Alvarado Casadiego, C. A. (2018). *Realizar un análisis del potencial de reutilización de minerales en Colombia y definir estrategias orientadas a fomentar su aprovechamiento por parte de la industria en el país bajo el enfoque de economía circular contrato interadministrativo CI-049-2018*. Universidad Industrial De Santander.

<https://www.andi.com.co/Uploads/ Documento%20An%C3%A1lisis%20Internacional.pdf>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2022). *LISTA GESTORES RESPEL BOGOTÁ ACTUALIZADO 29-06-2022.docx (Versión 1.0)*. <https://goo.su/FiO85kv>

SICEX Promoting Global Trade. (2021). *SICEX Promoting Global Trade*.

<https://sicex.com/blog/importaciones-sector-equipos-medicos/>

Uceda Herrera. A. D. (2022). *Hidrometalurgia Química e Ingeniería*. Crea Ediciones

Gráficas EIRL. <https://iimp.org.pe/archivos/publicaciones/a621-20210824-062743->

Modelo de recuperación de RAEEs de tipo biomédico en la ciudad de Bogotá

[1552.pdf](#)

Vargas Muñoz, M. (2017). *Recuperación de cobre a partir de los residuos de tarjetas de circuitos integrados de aparatos eléctricos y electrónicos* [Trabajo de grado, Universidad EAFIT].

[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12231/VargasMu%C3%B1oz\\_Mariana\\_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12231/VargasMu%C3%B1oz_Mariana_2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Velazquez Carrión, A. M. (2016). *Investigación exploratoria sobre generación y gestión de residuos hospitalarios tipo RAEE en Bogotá D.C.* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD].

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/8444>