

**Informe final de Avance Impacto ambiental en la disposición final de dispositivos de  
almacenamiento y generación de energías renovables**

Elaborado por:

Iván Ricardo Reyes

Diego Alberto Herrera

Universidad Ean

Especialización en gerencia de proyectos

Seminario de Investigación

Bogotá

29/09/2023

## Resumen

Esta investigación evaluó el impacto ambiental de los desechos de equipos usados en la generación de energía renovable, y las recomendaciones de su disposición final. Se evaluaron las posibles fuentes de energía, las regulaciones en materia de fomento de la producción de energía de fuentes renovables, y la disposición final de los elementos. Se identificaron dos grupos mayoritariamente aportantes a los residuos peligrosos, paneles solares fotovoltaicos, y baterías. La disposición final recomendada fue el uso de economía circular para mantener los elementos dentro de un ciclo útil, y procesos para neutralización de desechos no reusables. Se concluye que en caso de no hacerse una disposición adecuada de los residuos reactivos pueden causar afectaciones al ambiente, acidificación de suelos, afectación de la cadena alimenticia y afectaciones a la salud humana.

Palabras claves: Impacto ambiental, desechos energías renovables, regulación desechos peligrosos, generación energía renovable, FNCER, RESPEL, RAEE. Normatividad colombiana.

## Problema de Investigación

Uno de los anhelos del ser humano es el aprovechamiento de energías que produzcan una menor cantidad de desechos al medio ambiente con lo que se ha venido acrecentando una carrera por lograr la mayor cantidad de dispositivos que puedan eficazmente convertir en energía eléctrica otros tipos de energía ya sea del aire, radiación solar, del agua, o térmica del suelo, entre otros. Siempre hay una parte de estas nuevas tecnologías emergentes que es positivo y otro lado negativo, que muchas de las veces se desconocen o bien se omite y que puede llegar

a producir un efecto de bola de nieve que produce un nuevo problema del cual no se tenía conocimiento.

Como parte del auge actual por el uso de tecnología más amigables con el ambiente se han ofrecido energías alternativas y denominadas energías “verdes”, generalmente provenientes de fuentes renovables de energía, sin embargo, todos los equipos para la producción de estos tipos de energía contienen materiales que, en todo su ciclo, desde la extracción hasta la disposición final puede generar impactos ambientales negativos.

Por lo anterior, el problema identificado es validar cual es el impacto ambiental en el final del ciclo de vida de los dispositivos usados en la generación eléctrica de estas nuevas tecnologías alternativas también denominadas no convencionales, y si pudieran llegar a producir un efecto nocivo en la sociedad.

### **Antecedentes del problema.**

Debido a las condiciones actuales de producción industrial, hábitos de consumo, densidad poblacional entre otros factores, las condiciones medio ambientales se han visto impactadas directamente afectando el entorno, algunos de estos impactos son el uso excesivo de plásticos, la emisión descontrolada de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero los cuales afectan directamente el ciclo natural de las condiciones climáticas, aumentando negativamente el aumento de temperatura en la superficie terrestre. Este efecto anteriormente mencionado se conoce como efecto invernadero, y su consecuencia inmediata es el cambio climático.

Este panorama muestra una conducta inadecuada de producción y consumo que ha propiciado el aumento de 1.2°C en los últimos 50 años, y el último cambio drástico de temperatura de 5°C tardó 20.000 años (IPCC, 2023). De acuerdo con el Global Carbon Project (GCP, 2020) y la investigación del World Bank and Maddison Project and Database (MP, 2020), las emisiones acumuladas de dióxido de carbono superan los 1.6 trillones de toneladas para el 2021.

De acuerdo con la Comisión Brundtland de la ONU y en función de los objetivos trazados por la organización Global Footprint Network la cual definió como objetivo de todas las naciones cumplir el criterio One-planet prosperity. Este índice consiste en definir hábitos de consumo responsables teniendo como objetivo principal el desarrollo humano, este último medido con el índice de desarrollo humano de la ONU cuyos valores ideales estarán entre 0,7 y 1 para todas las personas, sin consumir los recursos naturales determinados como valor deseable por cada año, también denominado “cantidad de planetas” por año para la totalidad de la población mundial.

Como parte de la solución mundial concertada por los gobiernos, entidades no gubernamentales y otros involucrados se han trazado objetivos de reducción de emisiones contaminantes, algunos de estos acuerdos incluyen el protocolo de Kioto, la enmienda de Doha, y el acuerdo de París COP21 (ONU, 2023). Una de las principales causantes de este efecto invernadero es la actual forma de producción de energía a partir de combustibles fósiles, el cambio de este tipo de forma de producción a energías más limpias se ha denominado transición energética a fuentes renovables.

La transición mencionada se ha convertido en la bandera de múltiples organizaciones alrededor del mundo, incluidas empresas privadas, gobiernos, organizaciones sociales entre otros.

La transición energética vista desde el punto particular de Colombia como país impulsor de nuevas estrategias energéticas, implica hacer un cambio en las formas de producción actuales de energía eléctrica, combustibles, entre otros. (MinMinas, 2021).

En este orden de ideas la transición energética de Colombia, como país implica hacer uso de fuentes de energía renovables, implicando realizar instalaciones para la producción eléctrica como el uso de granjas solares, granjas de producción eólica, generación geotérmica, generación de nuevas fuentes de combustibles como hidrogeno verde e hidrogeno azul.

La composición de la infraestructura para la generación de energía a partir de fuentes renovables en términos generales se compone de 2 elementos principales, el elemento de conversión o producción de energía, tales como paneles solares, turbinas eólicas, turbinas de vapor, entre otros, y los elementos de almacenamiento de esta energía, generalmente baterías o celdas de carga.

### **Descripción del problema**

En un estudio reciente se demostró que dentro de los elementos que componen los dispositivos que generan y almacenan energía a partir de fuentes renovables, se encuentran principalmente componentes metálicos y en segundo lugar componentes que mediante una

reacción química puede almacenar energía durante largos periodos de tiempo (Jiménez, Martínez 2019).

Por otro lado, se podría resumir que se encuentran dos grandes grupos de desechos, el grupo uno compuesto por la disposición de materiales metálicos, Sin embargo, para este tipo de desechos y dado que son directamente reutilizables ya existen canales de disposición y reúso de este material (Aristizábal, González, Vargas 2021) por lo que el tema central de la investigación se enfocará en los desechos del grupo dos, los cuales hipotéticamente consistirán en su mayoría en elementos químicos.

Si no se realiza una adecuada disposición de estos componentes pueden generar efectos negativos en el ambiente y en las personas tales como la contaminación por litio, cadmio o níquel (Benítez 2017), de donde puede producir afectaciones a la salud como cáncer, lesiones pulmonares, fallas respiratorias, efectos sobre la piel además de temas de contaminación de las fuentes hídricas y ambientales. Es común en ciertos países con baja regulación ambiental o bajo seguimiento a la disposición de baterías ver este tipo de desechos en rellenos sanitarios mezclados con desechos de todo tipo, generando un potencial impacto negativo por contaminación del aire, fuentes hídricas, acidificación de suelos, entre otros. Las principales fuentes de baterías desechadas provendrán de vehículos eléctricos, parques solares, campos eólicos, campos de generación geotérmica, y en general del uso extensivo de este tipo de dispositivos.

Para el contexto nacional colombiano no se encuentra identificada o cuantificada la cantidad de residuos potencialmente generados por estos elementos, tampoco se ha realizado valoración alguna de carácter nacional o local respecto a las consecuencias e impacto ambiental de estos

residuos, por lo que la idea de “energía limpia” crea una idea distorsionada en el consumidor. Por esta razón la actual investigación presentara un panorama actual y una proyección en función de la capacidad eléctrica proyectada al año 2050, fecha elegida en el plan nacional de generación carbono cero (IEA, 2023).

Durante la búsqueda documental para evaluación de impacto ambiental de las fuentes de energía renovable no se encontró estudio particular sobre el tema en el contexto colombiano, y la el mapeo de otros estudios dependía de condiciones exógenas, tales como nivel de avance tecnológico para el procesamiento de materiales, regulaciones locales para el manejo, almacenamiento y disposición de residuos de esta naturaleza, por lo tanto, no se evidencio estudios o valoraciones de impacto de entidades académicas o gubernamentales sobre el impacto ambiental de los residuos como efecto de la generación por medio de energías renovables, encortando este tema pertinente de investigación.

En una perspectiva de corto plazo como la trazada por los actuales gobiernos nacionales, departamentales, y municipales de hacer la instalación de cerca de 1.2GW generados por energías renovables surgen las preguntas, ¿se tiene la capacidad de procesar o disponer adecuadamente los desechos una vez cumpla el ciclo de vida una infraestructura de generación de energía renovable?, ¿Es el almacenamiento de baterías y desechos químicos una prioridad actual en la regulación de nuevas instalaciones?, ¿está orientada la ley para la conducir adecuadamente los residuos de estas nuevas fuentes de energía?.

**Pregunta de investigación.**

¿Cuál es el impacto ambiental de los residuos generados por los dispositivos de producción y almacenamiento de energía renovable?

## **Objetivos**

### **Objetivo general.**

Evaluar el impacto de los residuos generados al final del ciclo de vida de los dispositivos de producción y almacenamiento de energías renovables.

### **Objetivos específicos.**

1. Identificar las posibles alternativas de generación eléctrica alterna denominadas energías renovables.
2. Definir los componentes y materiales de los que están hechos los elementos de generación y almacenamiento de energías renovables.
3. Conocer la regulación actual del gobierno nacional en cuanto a disposición final de desechos tecnológicos, y específicamente de la infraestructura de generación de energía renovable.
4. Discriminar los posibles impactos ambientales de los desechos generados por los principales componentes, mediante la evaluación de los antecedentes y lecciones aprendidas de generadores con mayor madurez en el uso de estas tecnologías.

### **Conveniencia de la Investigación**

Esta investigación proporcionara herramientas para promover debates en la academia, y otros ámbitos sociales visibilizando la importancia de evaluar como consumidores no solo la utilidad inmediata del uso de energía renovables, también la disposición final de los elementos contaminantes como parte de la decisión responsable del uso de estas tecnologías, basando su argumentación en hechos y datos.

En caso de evidenciarse efectos negativos como conclusión de la investigación, se puede promover la continuidad de posteriores investigaciones al respecto, como investigaciones para sugerir mejoramiento en aspectos legales orientados a mitigar estos efectos negativos. así mismo, permitirá a la sociedad tener conceptos generales que permitan consensuar colectivamente y exigir a las compañías prestadores de bienes y servicios una disposición responsable de los elementos al final de su ciclo útil.

De igual manera, pretende evaluar la legislación actual y las posibles medidas futuras que podrían orientar a las autoridades gubernamentales a la regulación de estas prácticas de disposición de residuos.

Como parte de las estrategias de prevención y mitigación de los efectos negativos se debe identificar y propagar las mejoras prácticas como consumidores de este tipo de productos, permitiendo así tomar decisiones informadas al momento de adquirir y disponer los productos eléctricos.

Finalmente se determinará que tan contaminante y que efectos podría tener la disposición inadecuada de estos residuos, y las posibles consecuencias en dado caso de identificarse efectos nocivos para el ambiente o la salud de la comunidad.

La metodología de esta investigación consiste en dos etapas, la primera una evaluación de estado actual o estado del arte respecto a las fuentes de energía renovables, sus residuos, legislación y mejores prácticas de disposición de residuos. La segunda etapa consistirá en el análisis, síntesis y verificación de la información desarrollando un concepto que finalmente tendrá unas conclusiones, con el ánimo de cumplir los objetivos trazados inicialmente, alineado al método de investigación promovido por la academia.

La metodología de investigación nos provee de elementos fundamentales como lo son la búsqueda de información científica, análisis de las fuentes, armonización de conceptos y desarrollo de ideas, elementos fundamentales para el desarrollo integral de un profesional en un ámbito social, laboral, y académico, y cuya aplicación se puede dar de manera análoga a la ejecución de un proyecto, desde su formulación, planeación, ejecución y control, competencias que aplica un especialista de proyectos en beneficio de un objetivo definido, por lo tanto la ejecución de la actual investigación se nutrirá de los conceptos disciplinares y fundamentales del ciclo de vida de un proyecto, desde su formulación hasta su conclusión.

### **Marco teórico**

En este punto de la historia es interesante ponerse a pensar que algo tan sencillo como lo fue el descubrimiento del fuego ha generado un impacto a nivel global y además hasta donde se ha llevado su aplicación, pasando de usos tan simples como lo pueden ser los culinarios a lugares

tan inexplorados como lo son la exploración del universo. Ese hecho de generar una combustión para ser aprovechada es la primera muestra de un concepto de generación de energía y aprovechamiento de esta. Ahora, pasando por otro tipo de tecnologías como lo fueron la canalización de la energía del agua y el viento en molinos, las bestias para ayudar en temas laborales y que solo hasta un par de siglos se empezó a tratar la primera máquina de vapor (siglo XVII) la cual dio cabida a la primera revolución industrial, dando así el concepto para que el aprovechamiento del petróleo y energías fósiles fuera real, por medio de los motores de combustión y por último y no menos importante la llegada de la energía nuclear en el siglo pasado (Merodio, 2019).

De los temas anteriores se dan visos que para la producción de energía se necesita de un elemento al cual sea lo suficientemente disponible como para poder extraer la energía y otro elemento que aproveche esta energía, ya sea en el instante como lo puede ser la gasolina y un motor a combustión o por otro lado un generador de energía y las baterías que pueden almacenar todo este potencial para su posterior uso. Ahora, entrando en el tema de “¿qué es una energía renovable?” es aquella que utiliza un recurso el cual es producido por medios no humanos ya sea energía eólica, solar, acuífera, geotérmica o por biomasa, la cual puede ser aprovechada para la generación o almacenamiento de energía (Hurtado, 2020)

Existe un aspecto en las nuevas tecnologías que nunca se tratan, los cuales son las posibles contaminaciones que estas pueden producir por los resultados adversos de las mismas, ya sea por los residuos o por los materiales que se necesitan para su producción. En el caso de las energías renovables entra un tema especial ya que el fin de estas es: la disminución de la huella de carbono que puede dejar su funcionamiento y recolección.

Cabe resaltar que en el mundo se ha tenido un creciente aumento en el interés de pasar a energías renovables con el fin de poder resolver temas de contaminación y explotación de recursos para la generación de energía y así, desde el 2015, se ha notado un creciente promedio de casi un 2.3% anual en el uso de estas tecnologías, logrando que para el 2016 las energías renovables puedan aportar un 19.3% del consumo general de energía mundial y este indicador se espera que se logre duplicar para el 2030 (Algarín, Álvarez, 2018) .

Un caso específico del cual se puede mirar es el de Dinamarca, la cual proporciona casi un 39% de la electricidad en 2014, la cual fue generada por turbinas eólicas y para el 2022 se encontraba en un 70% de generación de energías renovables (Maldonado, 2017).

Ahora en términos de reciclaje de los materiales después de su fin de la vida útil, es interesante ver cómo en lugares como la Unión Europea, en el 2017, una gran parte de estas nacen de:

- Electrodomésticos 52.7%
- Equipos de consumo y paneles fotovoltaicos 14,6%
- Equipos informáticos y Telecomunicaciones 14,1%
- Pequeños electrodomésticos 10,1%
- Otros 8,4%

Y que la mayor disposición de reciclaje de estos residuos electrónicos en la Unión Europea viene de la siguiente forma en sus 5 primeros puestos

- Croacia 81,3%
- Estonia 69,8%

- Bulgaria 68,8%
- Hungría 51,1%
- Austria 50,1%

De lo anterior se puede inferir que tienen unos sistemas de reciclaje muy buenos en lugares en donde para muchos puede ser una sorpresa, es más, ver a países como Alemania (38,7%), Dinamarca (38,5%) o Italia (32,1%) puede que sea el estándar que se sigue y al igual tienen un sistema que puede mejorar con el tiempo, pero que por el momento puede presentar muchas falencias frente a la recolección de equipos electrónicos. (Parlamento Europeo, 2023, párr. 12).

Siguiendo con esta conversación con la Unión Europea, se han planteado que para el 2050 se debe tener un sistema completo de sostenibilidad en la cual se encuentre libre de tóxicos y carbonos, en la cual sea completamente circular con el fin que los productores y consumidores tengan una unión estrecha para poder reducir al máximo las emisiones de residuos al medio ambiente. Para dar cifras, ellos tienen la preocupación de que esta carrera entre la producción y el manejo post vida útil, la está ganando la producción en términos que para el 2017 el mundo generó 44,7 millones de toneladas de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos y solo el 20% se recicló adecuadamente (Parlamento Europeo, 2023, párrafo 12).

Ahora, no solo el final del ciclo de vida es el que afecta, sino que cabe resaltar que existen otros tipos de contaminaciones que no se tienen en cuenta: las sociedades en las cuales se ve inmersa la extracción y producción de materiales en los cuales se vean necesarios químicos tales como el Litio. Para dar ejemplos, en países como Chile, Bolivia y Argentina, lugares en los cuales se están presentando una disyuntiva a tener en cuenta debido a que son los lugares en donde

se encuentran los salares más grandes del mundo con reservas de litio (Casola, Freier, 2018) y por otro lado los problemas de agua debido a su alto gasto necesario para su extracción.

Para acercar un poco el panorama de cómo se encuentra el tema de esta generación de energías en Latinoamérica, se pueden presentar los casos más influyentes que son Chile el cual presenta más de tres cuartas partes de las instalaciones fotovoltaicas en América Latina, Brasil que presenta un 60% de producción energía mediante hidroeléctricas y México la cual se encuentra como el cuarto productor a nivel mundial de electricidad a partir de energía geotérmica. (Rodriguez, 2018).

Existen objetivos en términos de energía renovable para América latina que se presentarán en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** *Objetivos en energías renovables Latinoamérica*

País	Objetivos en energías renovables
Argentina	Generar el 8% de la energía para el 2016.
	Generar 183 MW de ER para el 2025.
Bolivia	Incrementar la participación en el mix energético en un 10% en 5 años.
	Generar 120 MW de energía geotérmica.
Brasil	Suministrar el 42.3% de la energía primaria para el año 2023.
	Tener para el 2023 el 86.1% de la matriz de generación de electricidad.
Chile	20% de la generación para el 2025.
	45% de la nueva capacidad instalada para el 2025.
Colombia	6.5% de generación de electricidad para 2020, excluyendo las grandes hidroeléctricas.
Costa Rica	28.2% de energía primaria para 2020.
	97% de electricidad para 2018.
Ecuador	90% de la electricidad para 2017.
	4.2 GW con energía hidroeléctrica para 2020. 277 MW para el 2020 sin hidroeléctricas.
El Salvador	Para el 2026: 60 MW eólica, 90 MW fotovoltaica, 200 MW solar
	térmica, 60-89 MW geotérmica, 162.7 MW pequeñas hidroeléctricas, 45 MW biomasa y 35 MW biogás.
Guatemala	60% de electricidad para 2022. 80% de electricidad a largo plazo. 500 MW a largo plazo.

Guyana	20%, 28% y 47% para los años 2017, 2022 y 2027 respectivamente.
Honduras	60% de electricidad para 2022.
	80% de electricidad para 2034.
	25% adicionales de energía hidroeléctrica para 2034.
México	24.9%, 35%, 40% y 50% para 2018, 2024, 2035 y 2050 respectivamente.
	Para 2018: 13,030 MW de energía hidroeléctrica, 8,922 MW de eólica, 1,018 MW de geotérmica, 748 MW de bioenergía y 627 MW de solar.
Nicaragua	94% de la electricidad para 2017.
Panamá	706 MW de energía hidroeléctrica para 2023.
Perú	6% de generación de electricidad, sin incluir la hidroeléctrica. 60% de generación de electricidad incluyendo la hidroeléctrica.
Uruguay	50% de energía primaria para 2015.
	90% de electricidad para 2015.
Venezuela	613 MW adicionales para 2019, de los cuales 500 MW corresponden a energía eólica.

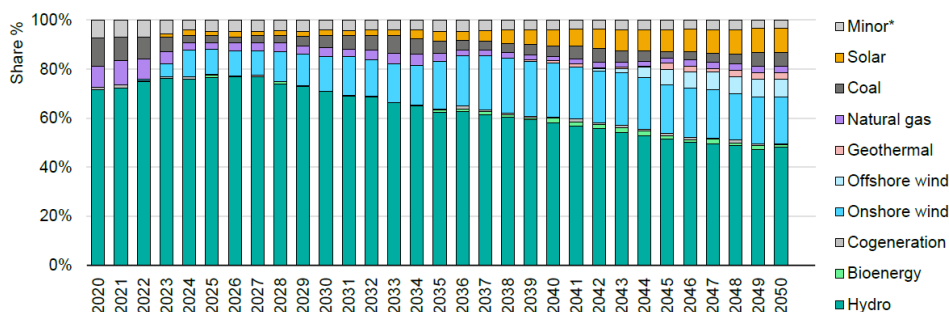
Fuente: Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia, pág. 6

Ahora por último y no menos importante se debe entrar en el terreno colombiano, donde se pueden apreciar que no es de extrañarse que una gran parte de su territorio, que no se encuentra en las grandes urbes, posee una escasez notable en su red de electricidad o por otro lado es precaria y debe depender de generadores eléctrico de combustión de gasolina, mecheros artesanales, pilas u otras alternativas (Arias, Villamil, Restrepo, Chaves, 2021). De donde se podría pensar en usar estos sistemas de generación de energías limpias con el fin que también tengan este servicio en sus casas. Lo interesante es que también se están realizando estudios en lugares en donde se podría usar un generador de menor potencia, como lo puede ser uno eólico para un pico de una montaña que ayude a las fuerzas militares con sus comunicaciones (Amézquita, 2019).

Ahora, teniendo en cuenta los antecedentes descritos en este documento, no es una sorpresa que el consumo de energía es un pilar de la sociedad actual, debido a que gran parte de la energía producida para múltiples usos se deriva de la producción con combustibles fósiles, los

cuales promueven la aceleración del cambio climático, el gobierno colombiano ha trazado el plan energético nacional (PEN, MinMinas, 2020) donde se ha trazado dos metas importantes, la primera de estas es la generación de energía con cero emisiones para el año 2020 (IEA, 2023), la segunda de ellas aumentar la participación al 50% de producción con fuentes renovables de generación de energía, también denominadas energías limpias o libres de carbono (IEA, 2023) Ver figura 1 de la proyección de energía por fuentes en los próximos años.

Figura 1. Proyección de generación eléctrica al 2050



By 2030, wind energy becomes the main source of electricity production after hydropower.

Nota: \*Refiere a generación de potencia menor a 20MW

Fuente: International Energy Agency, Colombia 2023 Energy Policy review Pag. 68

Al proceso anteriormente mencionado, se le ha denominado, transición energética (MinMinas 2403, 2020), en el cual se promueve el desarrollado de energías limpias, con la denominación de este tipo de generaciones como FNCER (Fuentes no convencionales de energía renovables) creada a partir de la ley 1715 de 2014. Con esta perspectiva las fuentes no convencionales de energía renovable que el gobierno colombiano ha regulado e impulsará de acuerdo con el plan

nacional de energía desarrollado por el ministerio de minas y energía 2020 – 2050 (PEN, MinMinas, 2020), serán:

- Hidrogeno
- Energía Geotérmica
- Radiación Solar
- Energía Eólica
- A partir de residuos como combustibles, ejemplo biomasa.

Se dará una breve explicación de cada una de estas opciones, revisando el estado actual y validando el potencial de desarrollo que el plan nacional de energía ha estimado para el crecimiento de cada una de ellas. Posteriormente se evaluarán los elementos que componen la infraestructura de cada una de las opciones y se realizara una hipotética proyección de generación de desperdicios de cada una de las opciones, indicando en cada caso los materiales relevantes de su composición.

### **Generación de Hidrogeno**

El Hidrogeno es un componente abundante en la naturaleza, con un alto grado combustible, y una amplia variedad de usos, entre ellos el almacenamiento de energía en su estado natural, el almacenamiento de energía se puede dar en múltiples maneras, desde una pila de hidrogeno, donde el hidrogeno reacciona químicamente para generar electricidad, hasta el almacenamiento del este hidrogeno en tanques para su posterior uso.

Este elemento no se encuentra de manera aislada en la naturaleza, y su extracción tiene múltiples formas de lograr este cometido (Cardinale, 2023). La extracción de hidrogeno se basa en tomar una molécula que contenga hidrogeno y separarla de los demás componentes, el más común es usar agua para separar el hidrogeno de oxígeno, sin embargo, este proceso consume energía y puede generar gases de efecto invernadero y carbono, por tal razón se ha determinado una tabla de colores para clasificar el tipo de hidrogeno dependiendo de la naturaleza de su generación.

Así pues, se tienen los siguientes tipos de hidrogeno:

- **Hidrogeno gris:** Hidrogeno generado a partir de electrolisis cuya energía para producirse viene de la combustión de combustibles fósiles, y generan gases de efecto invernadero y carbono emitidos a la atmosfera (Al-Breiki, M., 2023). La cantidad de energía consumida por este proceso es aproximadamente 0.49KWhe/kg H<sub>2</sub> (Al-Breiki, M., 2023).
- **Hidrogeno azul:** Hidrogeno generado a partir de electrolisis cuya energía de producción viene de combustibles fósiles, sin embargo, los gases de efecto invernadero y carbono producidos con capturados para su posterior tratamiento. La cantidad de energía consumida por este proceso es aproximadamente 31.4 KWhe/kg H<sub>2</sub> (Al-Breiki, M., 2023).
- **Hidrogeno verde:** Hidrogeno generado a partir de electrolisis cuya energía de producción viene de fuentes renovables de energía, como radiación solar, energía eólica, geotérmica, entre otras, la cual reduce drásticamente la emisión de carbono y en algunos casos la evita completamente, cabe anotar que la cantidad de energía requerida es aproximadamente 62.3 KWhe/kg H<sub>2</sub> (Al-Breiki, M., 2023)

### **Generación de energía Geotérmica**

La generación de energía geotérmica consiste en generar electricidad a partir del aprovechamiento de líquidos a gran temperatura en el subsuelo, teniendo como epicentro las zonas montañosas, volcánicas, y de alta actividad sísmica, donde se encuentran los yacimientos térmicos potencialmente aprovechables para la generación de energía eléctrica. La tecnología tiene múltiples potenciales dependiendo de la temperatura que puede alcanzar el yacimiento, y la tecnología usada, se nombraran algunas de ellas para referencia (Alfaro, C., 2015).

Generación a partir de vapor de agua, este proceso permite inyectar agua al pozo y mediante el calor de dicha fuente se genera vapor, finalmente transformado en energía eléctrica (Salasar, S., 2018).

### **Generación de energía por radiación solar**

La generación de energía por radiación solar tienes 2 elementos grandes grupos la conversión directa, que convierte la radiación solar en energía eléctrica a partir de un proceso químico, posterior a esto se almacena en baterías para su futuro uso, y la generación de vapor por medio de la concentración de radiación en una zona donde se encuentra agua la cual alcanza punto de ebullición para la generación eléctrica por medio del vapor (Chaverra, A., 2021).

### **Generación de energía eólica**

La generación de energía eólica proviene del potencial de movimiento a partir de corriente de aire o de movimiento de masa a través de una turbina, algunos parques de generación eólica consisten en múltiples turbinas trabajando en conjunto, dependiendo de la geografía del terreno, para una fuente conjunta de almacenamiento. Generalmente se almacena en baterías de tipo larga duración (Guerrero, B., 2019). Existen dos tipos de principales de caracterización de estos parques eólicos, *onshore* ubicados en tierra firme, y *offshore* ubicados mar adentro (IAE, 2023).

Durante la descripción del problema se identificó la composición de la infraestructura de generación de energía renovable en 2 grandes grupos, lo elementos metálicos directamente reusables o reciclables, y lo elementos reactivos que requieren tratamiento (Marka, S, 2023), en este sentido se encuentra los siguientes elementos como los reactivos más relevantes:

Baterías usadas para almacenamiento en campos solares, eólicos, geotérmicos, y movilidad vehicular, compuestas particularmente de “óxido de germanio ( $\text{GeO}_2$ ) y óxido de grafeno (GO) son reducción de germanio (Ge) y reducción de óxido de grafeno (rGO), respectivamente, para formar el compuesto  $\text{Ge/rGO}$ ” (Marka, S., 2023).

*Paneles solares C-Si se dividen en dos tipos, de silicio multi cristalino 55% y los de silicio monocristalino 45% de la tecnología c-Si, también está la tecnología CIGS (cobre, indio, galio y selenio) y el 5% son los de CdTe (teluro de cadmio). Los residuos de estos paneles serían los siguientes elementos: Sodio, Cal, Sílice, Hierro, Etileno, Acetato de vinilo, Silicio, Plata, Aluminio, Plomo, Estaño, Polivinilo Fluoruro, Tereftalato de polietileno, y aluminio. (Chaverra, A., 2021, pag. 14).*

Los residuos más relevantes y que deberían tener mayor relevancia en este artículo, se componen de los residuos peligrosos, que son los generados por los componentes reactivos de los elementos descritos anteriormente.

Adicionalmente, se ha identificado que una amplia instalación de este tipo de infraestructura en regiones rurales, tales como el parque solar Dinamarca, en San Juan de Arama, de GreenYellow, parque solar Bayunca 1, Bolivar, de Egal, parque solar Cabestrero, Casanare, de Parex Energy, entre otros 38 proyectos activos según el ministerio de minas y energía. Los residuos de estos parque deben ser regulados por las corporaciones regionales autónomas, entes encargados de la vigilancia del cumplimiento de las normas ambientales, sin embargo, en ninguna de estas regiones existe una infraestructura identificada para el manejo de estos residuos.

## Normatividad

En tema de normatividad existe un quorum frente a todas las nacionalidades, en las cuales se presentan legislaciones que están dirigidas a crear un ciclo de vida responsable de las materias primas desde el principio hasta el fin del producto. Se puede evidenciar en la ley colombiana, cómo se está creando una responsabilidad conjunta entre los productores de los equipos electrónicos y eléctricos y las personas que hacen uso de estos para que puedan entregarse las partes después de acabado su ciclo de vida (Ley 1672 de 2013, Colombia).

Entrando en el tema de la disposición de los elementos, se tiene una clara visión en la normativa colombiana frente a elementos que puedan llegar a contaminar cualquier fuente acuífera, terrestre o área del territorio colombiano debido a una precaria disposición de los residuos químicos, de donde se destacan:

- Ley 1252 de 2008 del Congreso de Colombia: por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
- Resolución 1362 de 2007 en donde el Ministerio de Ambiente establece los requerimientos mínimos y procedimientos para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos.
- Decreto 4741 de 2005 donde la Presidencia de la Republica: reglamenta parcialmente la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral

- Decreto 1079 de 2015 sección 8 (decreto 1609 de 2002) del Ministerio de Transporte: por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.
- Decreto 1469 de 2018 de la Presidencia de la República: Por el cual se adopta el sistema Globalmente armonizado de clasificación y Etiquetado de productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química

El gobierno nacional colombiano tiene disposición las siguientes herramientas para la disposición de residuos, la política ambiental para la gestión integral de residuos peligrosos (RESPEL) y plan de acción 2022 - 2030, manual de gestión de los residuos peligrosos (APC, 2015), sin embargo, se identifica que no existen segregación para el tratamiento de los materiales provenientes de baterías, de uso industrial, casero, vehicular, igualmente no existe una política para el tratamiento de los residuos provenientes de celdas solares que contiene igualmente residuos peligrosos o de tratamiento cuidadoso, la política es demasiado general para todo tipo de residuos peligrosos.

Por lo tanto y como conclusión, la generación de energías renovables implica no solo identificar las oportunidades de generación, instalación y explotación del recurso natural, sino que se debe igualmente identificar el final del ciclo de vida de todos los elementos que componen los mencionados proyectos, y evaluar desde el inicio las condiciones de disposición final en las zonas de influencia. La no identificación de estos elementos o una disposición inadecuada de los residuos puede generar contaminación en el aire, en el agua, en la flora y la fauna, así como efectos socioeconómicos en las comunidades perteneciente al ecosistema donde se efectúe la disposición de residuos (Villareal, S. 2021).

### **Marco metodológico**

De acuerdo con el marco teórico anteriormente expuesto, la investigación abordará mayormente temas de carácter ambiental, evaluando el estado actual de las condiciones para la disposición de residuos, la capacidad actual para procesar dichos residuos, y la proyección en la cantidad generada de residuos, con la respectiva capacidad de procesamiento al año 2050, año proyectado por el gobierno nacional colombiano para la generación de energía eléctrica con carbono cero o generación neutra en carbono (IEA, 2023).

### **Diseño**

De acuerdo con Cruz “Uno de los propósitos básicos del diseño es dar respuesta a algunas preguntas utilizando los principios de la investigación, siendo las ideas principales el razonamiento y la dirección” (Cruz del Castillo, C. 2014, pag. 144).

De acuerdo con Sampieri “El termino diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que deseas con el propósito de responder al planteamiento del problema” (Hernandez, R., 2018, pag. 150).

El diseño de la actual investigación será no experimental, descriptivo y sustentado teóricamente en datos recolectados mediante el acopio en documentos de distinta naturaleza, incluyendo investigaciones experimentales, normativas nacionales, artículos científicos, planes de desarrollo energético nacional, para la creación de un panorama general en el ámbito colombiano referente a tres temas específicos, el primero de ellos la cantidad de energía actualmente generada a partir de fuentes renovables de energía, la segunda, la cantidad proyectada de energía generada a partir de fuentes de energía renovable para el año 2050, y

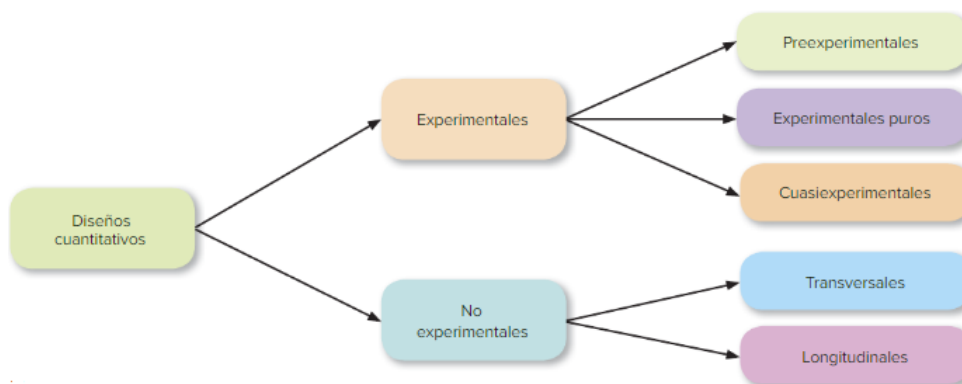
finalmente la tercera, cuál será el impacto ambiental de los desechos con las proyecciones realizadas durante la investigación.

Así mismo, el diseño será de carácter fenomenológico, como nos indica Hernández “Diseños fenomenológicos: Su propósito principal es explorar, describir y comprender las experiencias de las personas respecto a un fenómeno y descubrir los elementos en común de tales vivencias”. (Hernández, R., 2018, p. 176), basando en la experiencia de dispersión geográfica, y afectación diferente en función de la región, la comunidad, el objeto de infraestructura instalada, y las responsabilidades en el manejo del ciclo de vida de los proyectos que generaran los desperdicios objetivos de esta investigación.

## Enfoque

De acuerdo con el diseño anteriormente indicado, el enfoque de esta investigación tendrá un carácter mixto, donde su componente cuantitativo será no experimental y transversal, como se puede ver en las siguientes imágenes de referencia.

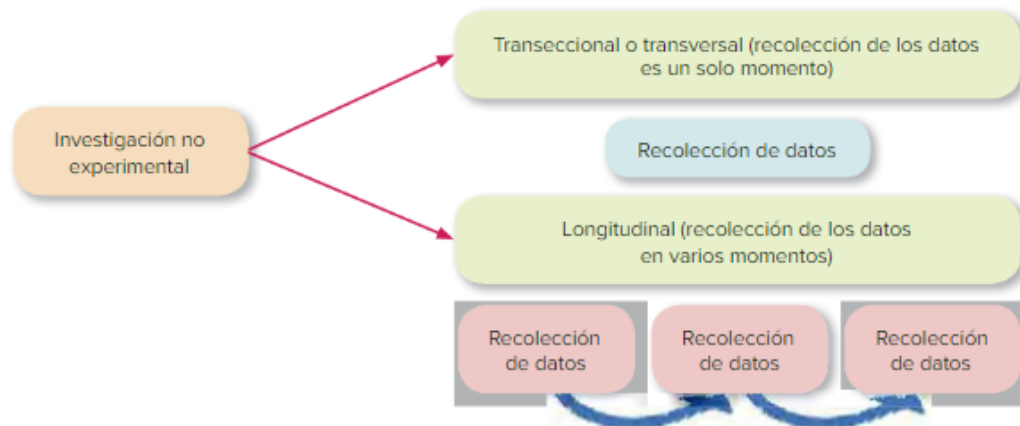
Figura 2. Diseño metodológico cuantitativo



Nota: \*Refiere a los enfoques cuantitativos para el diseño de la investigación

Fuente: (Hernandez, R., 2018, p. 151)

Figura 3. Diseño metodológico cuantitativo no experimental



Nota: \*Refiere a la catalogación no experimental  
Fuente: (Hernández, R., 2018, p. 176)

El carácter no experimental se basa en el tipo de estrategia para la adquisición de datos, dado que se busca verificar las cifras divulgadas por entidades gubernamentales, investigaciones públicas y privadas, y artículos científicos, cuyas cifras permitan crear un panorama actual general, así mismo, se examinarán las proyecciones de crecimiento establecidas por las entidades de planeación energética, y se correlacionara el panorama actual con la proyección al año 2050.

La transversalidad de la investigación se basa en el hecho que la recolección de datos se realizara una única vez, en función de las consideraciones anteriormente expuestas.

La naturaleza de la investigación será un estudio descriptivo, cuyos diseños se han propuesto trasversales descriptivos, la función descriptiva consistirá en expresar de manera exacta, objetiva, y con lenguaje científico, con la intención de evitar el lenguaje natural y dar una exposición basada en datos al lector (Ñaupas, H., 2018) basados en los datos compilados del objetivo general de esta investigación.

Como se indicó anteriormente, el carácter de esta investigación será mixto, por lo que el componente cualitativo debido a su fundamentación de revisión de literatura e investigaciones, y dado que los temas tratados son abiertos y las descripciones serán mas narrativas de concepto que basados en datos.

En función de los objetivos específicos, se describirán las alternativas de generación, la discriminación de componentes de los elementos constitutivos de la infraestructura de energías renovables, las regulaciones gubernamentales para manejo de residuos peligrosos, así como las regulaciones ambientales para los nuevos proyectos, y las perspectivas de base instalada para la generación de energía por cada una de las tecnologías impulsadas por las instituciones gubernamentales.

### **Alcance**

Como se mencionó anteriormente, el alcance de esta investigación es descriptivo, cuyo objetivo principal es describir que es el fenómeno, como es el fenómeno, especificar las características del del fenómeno, (Gastelum, J., 2021), para nuestro caso se entenderá fenómeno como el impacto ambiental que tendrá la disposición de residuos actualmente, y el potencial impacto al año 2050.

Se indagarán los componentes activos de las principales elementos que integran las soluciones de generación de energía renovable, cuáles son los mecanismos actuales para la disposición de estos residuos, la normatividad vigente y la proyección futura, lo que caracterizará la “población” de estudio, se evaluará el impacto ambiental en función de los componentes

identificados y su inadecuada disposición, con lo cual se integrará el marco teórico, con la estrategia metodológica planteada.

Los datos que se correlacionarán serán las proyecciones de cantidad de residuos generados, cantidad de energía esperada a producir, y la relación entre estas dos variables, a fin de poder obtener una proyección correlacionada de la cantidad de residuos un función de la cantidad de energía producida.

Con lo anterior se tendría identificarían los elementos fundamentales para la obtención de datos, enfoque de la investigación y alcance de esta, por lo que se procederá a identificar las variables, instrumentos y tratamiento de datos.

Definición de variables

Tabla 2. Definición de variables. Fuente el autor.

VARIABLES	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Fuente de generación	Origen del cual se va a extraer energía	Obtenida de información de los entes reguladores y generadores (CREG, UPME) / Identificar el tipo de generación	Por unidad de generación y capacidad instalada	Origen de la fuente
Capacidad de generación	Efectividad de la transformación energética de la fuente a su almacenamiento	Tomada de información del regulador de mercado (MX) y nominada por los generadores / Conocer el tamaño de la instalación.	Capacidad nominada (emitida por el generador, gestionada por el regulador)	Kilovatios hora (kWh)
Estructura de almacenamiento	Equipo por el cual se va a contener la energía producida	Tomado de la aprobación de ministerio de minas y energía / evaluar el tipo de batería usada	Cantidad de carga almacenada por unidad de tiempo	Capacidad de almacenamiento
Conformación química del almacenamiento	Configuración química que posee la contención de energía producida	Tomada de información académica / identificar sus componentes y su impacto ambiental	Conformación química	Tipo de conformación química
Cantidad de leyes	Número de normas que existen en el país de estudio	Identificación en páginas gubernamentales y repositorios jurídicos / Para evaluar el marco jurídico existente y su pertinencia.	Número de leyes	Número de leyes
Porcentaje de injerencia	Participación de la ley en la regulación del procesamiento químico.	Por validación teórica de las leyes / para evaluar el porcentaje de efectividad sobre el objetivo de la ley y el estado actual	Capacidad de aplicación de la ley	Participación de la ley
Tipo de riesgo de contaminación	Forma en que un mal tratamiento de un químico puede llegar a polucionar un ambiente	Verificación académica de los efectos contaminantes / evaluar las consecuencias de una mala disposición de residuos eléctricos y electrónicos.	Concentración del agente contaminante	Forma de contaminación
Riesgo de contaminación	Capacidad del químico para polucionar un ambiente en el tiempo	Identificación por literatura / identificar cuantitativamente el potencial impacto de la contaminación	Accesibilidad geográfica	Porcentaje de contaminación

### Instrumentos de medición

Para la medición de las variables se va a tener en cuenta los dispositivos por los cuales se toman muestras, tamaños, capacidades o cantidades de cada una de las variables

Los mediciones se tomarán de literatura, por lo cual su fuente será secundaria, no se tendrá medición directa de las variables, sin embargo, se identificarán los instrumentos con los que se realiza la medición primaria en la fuente. Las fuentes serán los datos de entes gubernamentales como ministerios y entes reguladores, así como fabricantes de equipos y literatura de la variable.

**Tabla 3.** Variables e instrumentos de medición. Fuente el autor.

Variabes	Instrumentos de medición
Fuente de generación	Indicador de plantas en servicio emitido por el ente regulador
Capacidad de generación de energía	Nominación emitida por el productor de energía
Estructura de almacenamiento	Capacidad emitida por el fabricante
Conformación química del almacenamiento	Información emitida por el fabricante
Cantidad de leyes	Conteo unitario
Porcentaje de injerencia	Sujeto a la noción del investigador
Tipo de riesgo de contaminación	Información emitida por un ente investigador
Riesgo de contaminación	Información emitida por un ente investigador

### Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de los análisis de los datos van a estar sometidas al tipo que consta la variable con el fin de realizar un estudio concienzudo del mismo. La información puede ser de análisis

descriptivo o inferencial (Peña, 2017, p. 35). El análisis inferencial se va a basar en datos estadísticos que se tengan presentes en fuentes de información sobre la capacidad de generación de energía: debido a que la mayoría de las fuentes de donde son transformadas las energías renovables ya sea el sol, viento, agua o geotérmica, no son de carácter constante sino variable dependiendo la época del año, hace que se necesite un análisis estadístico pertinente para poder normalizar las variables.

Se realizan correlaciones lineales, tales como regresión lineal para estimación de la ecuación de la recta característica de los puntos, así como análisis estadístico basado en la información adquirida durante la búsqueda de información, los datos son de carácter secundario como ya se mencionó, y las proyecciones basadas en los datos relevantes correlacionados con variables conocidas, ejemplo, el crecimiento en el porcentaje de participación de las energías renovables se estimara a partir de las proyecciones de generación emitidas por el ministerio de energía.

**Tabla 4.** Tipo y descripción de los análisis.

VARIABLES	Tipo de análisis	Descripción del análisis
Fuente de generación	Descriptivo	Tipo de recurso que va a utilizar el dispositivo para la generación de energía
Capacidad de generación de energía	Inferencial	Promedio de la cantidad de energía generada por hora del productor de energía
Estructura de almacenamiento	Descriptivo	Tipo de almacenamiento de la energía que va a usar el generador de energía
Conformación química del almacenamiento	Descriptivo	Composición química que posee el almacenamiento del generador de energía
Cantidad de leyes	Descriptivo	Número de leyes presentes en el gobierno nacional colombiano
Porcentaje de injerencia de la ley	Descriptivo	Valor numérico que se le va a otorgar a la cantidad de intervención de la ley
Tipo de riesgo de contaminación	Descriptivo	Característica del contaminante de poder difuminarse en el entorno y así llegar a los seres vivos
Riesgo de contaminación	Descriptivo	Capacidad del contaminante de lograr ocasionar lesiones en el ser humano

Fuente: Autoría propia.

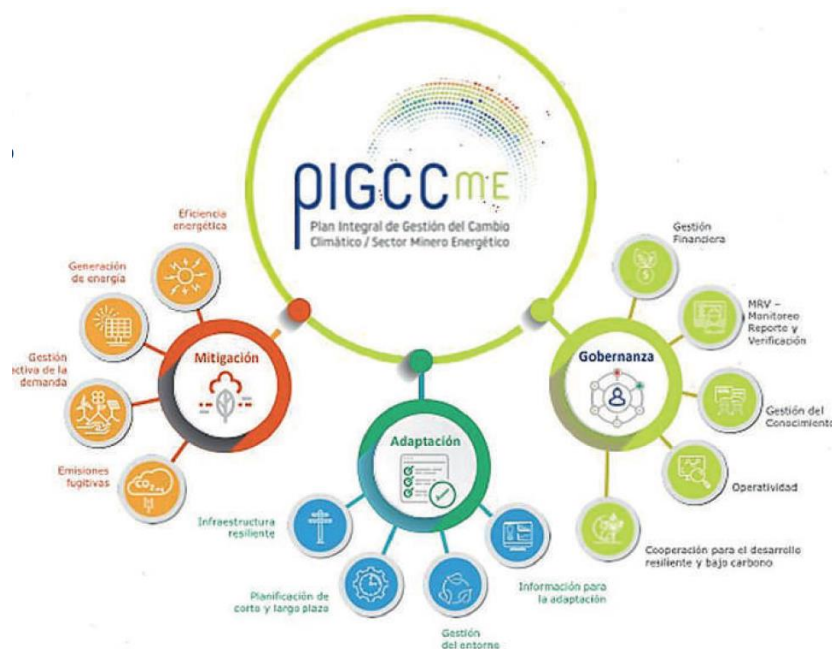


## Análisis de impacto ambiental

Como punto de partida para el análisis de impacto ambiental de los desechos producidos por los elementos constitutivos de generación eléctrica en fuentes no convencionales de generación de energía, se realizará un compendio de los términos y conceptos tratados hasta el momento, de manera ya que los elementos antes descritos se unifiquen en una idea general de donde partura nuestro análisis.

Como parte de los objetivos estratégicos del gobierno colombiano para combatir el cambio climático se trazó el “Plan integral de gestión del cambio climático / sector minero energético” (MinMinas, 2021, pag. 97) con tres componentes fundamentales Mitigación, adaptación y gobernanza, como se puede ver en la siguiente figura

Figura 4. Esquema plan de gestión de cambio climático

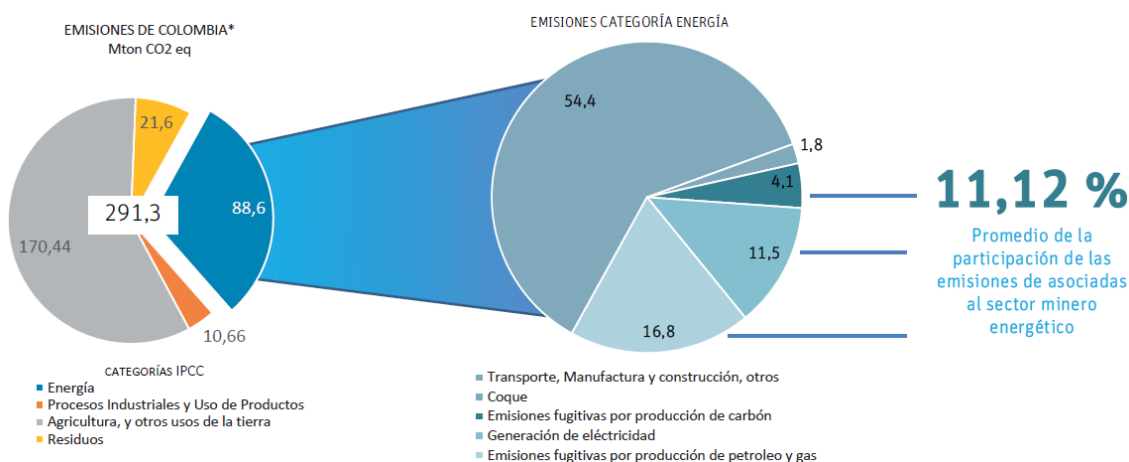


Nota: \*Refiere a Plan Integral Gestión de Cambio Climático Ministerio de Energía

Fuente: (MinMinas, 2021, pag 98)

Con el ánimo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero causado por el sector minero energético el cual fue del 11.12% del total de emisiones, medido En el año 2019 (Ver figura 5) el gobierno ha adoptado el concepto de transición energética, para identificar los elementos fundamentales que componen la infraestructura de generación eléctrica y modificar la matriz de generación para priorizar las fuentes renovables de generación de energía, también conocidos como FNCER (fuentes no convencionales de energía renovable).

**Figura 5. Porcentaje de contribución GEI generación eléctrica**



*Nota:* \*Porcentaje de contribución de la generación de energía al emisión de CO2

Fuente: (MinMinas, 2021, pag 98)

La meta trazada por el gobierno colombiano para el año 2050 consiste en modificar el porcentaje de participación de la energía renovable actual, para el año 2021 se tenía un total de suministro de energía renovable de 25%, con un consumo total de 63.3TWh de esta energía producida, ver figura 6

Figura 6. Datos de generación energías renovables 2021

### Key data (2021)

**Renewables in TES:** 25% (IEA average: 14%)

**Renewables in TFEC:** 378 PJ, or 29% of TFEC (IEA average: 14%), hydro (14%), solid biomass (12%), liquid biofuels (2.5%), biomass for electricity (0.5%), solar (0.1%) and wind (0.01%)

**Renewables in electricity generation:** 63.3 TWh, 74% of electricity generation (IEA average: 30%) hydro (72%), biofuels (2.7%), solar (0.4%) and wind (0.1%)

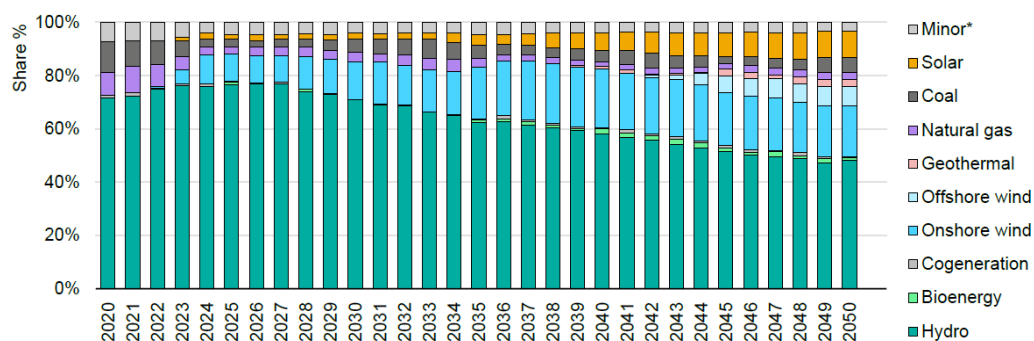
TES: Total energy supply  
TFEC: Total final energy consumption

Nota: \*Porcentaje de contribución de la generación de energía al emisión de CO2

Fuente: (IEA, 2023, pag 63)

Para el año 2050 se espera generar el 50% de la energía a partir de potencia hidroeléctrica y 50% con otras fuentes de energía renovable Ver figura 7

Figura 7. Proyección de generación energía a 2050 Colombia



Fuente: (IEA, 2023, pag 68)

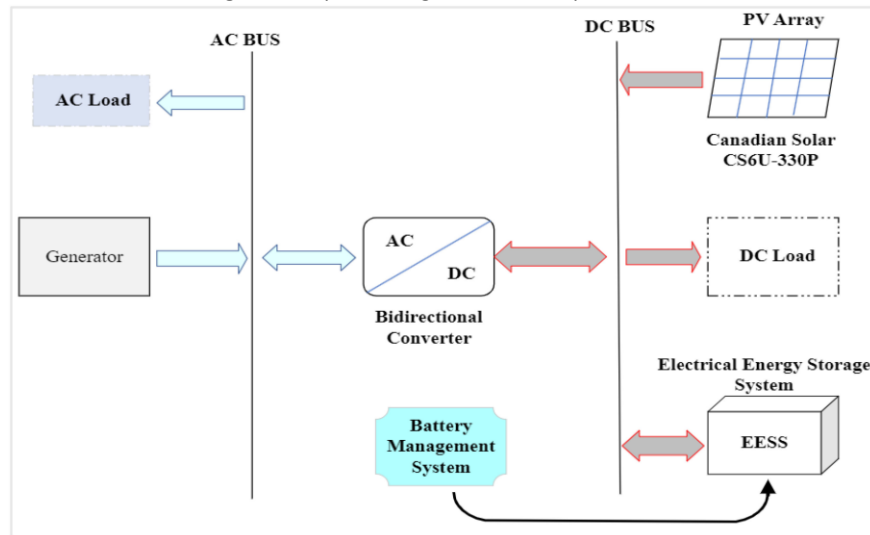
Las fuentes de energía renovable de acuerdo con el Plan Energético Nacional 2020-2050 y el documentos de transición energética emitido por el ministerio de minas (MinMinas, 2021, cap. 9)

especifica que las perspectivas más relevantes y prioritarias para el uso de energías renovables estarían concentradas en:

- Generación de hidrogeno
- Energía solar
- Energía eólica
- Energía geotérmica

Como se puede evidenciar en el marco teórico de este documento, los componentes de cada una de estas fuentes de energía, con excepción del hidrogeno, en su punto generador no son constantes, ya que dependen de condiciones naturalmente variables, por ejemplo, para la generación solar fotovoltaica se genera únicamente en condiciones de radiación solar, así como la eólica dependerá de la potencia o velocidad del viento, y la geotérmica de las condiciones del subsuelo, por lo tanto todas ellas requieren el uso de baterías para el almacenamiento y la estabilidad en las condiciones técnicas ofrecidas al consumidor final. Sumado a estas condiciones se ha identificado que en el 2019 se “estableció la regulación para incluir Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica con baterías en el STN y STR con el fin de mitigar los efectos de la insuficiencia en redes” (MinMinas, 2021, pag. 111).

Figura 8. Esquema de generación con panel solar



Fuente: (Makola et al., 2023)

Por lo anterior, y alienado con el marco teórico, se identifican los siguientes elementos químicos como los principales elementos a analizar, se discriminan por fuente de generación:

- Energía solar fotovoltaica
  - Paneles solares
    - Sodio
    - Sílice
    - Etileno
    - Selenio
    - Polivinilo Fluoruro
    - Tereftalato de polietileno
    - Plata
    - Cobre
    - Aluminio
    - Estaño
    - Plomo

- Indio
- Telurio
- Cadmio
- Acido Tetra fosfórico ( $H_3PO_4$ )

Ver (Chaverra, 2021, pag. 5 y 6) y (Bernal et al., 2022)

- Baterías (Solar / Eólica / Geotérmica / Sistema de almacenamiento de Energía Eléctrica)
  - Baterías de sodio-ion (Na-ion)
  - Baterías de Metal – Aire (Na–aire / Zn–aire)
  - Baterías de metal litio-Azufre (Li-S)
  - Baterías de magnesio-ion (Mg-ion)
  - Supercondensadores (Doble capa EDLC / Híbridos de iones metálicos LIC y NIC)
  - Grafeno
  - Materiales del cátodos y ánodos ( $MnO_2$ , Grafito, Si/C, entre otros)

(cicenergigune, 2023)

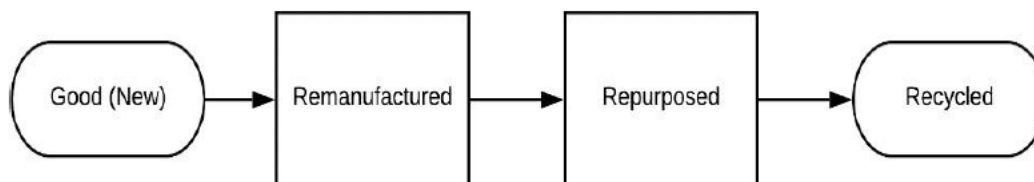
Recuperación de metales pesados en residuos de aparatos eléctricos electrónicos (RAEE)

- Plomo
- Cadmio
- Mercurio
- Cianuro
- Dioxinas
- Furanos

(MinAmbiente, 2023)

Como parte de las estrategias para el manejo de baterías al final de su ciclo de vida se pueden identificar varias etapas para la disposición de una batería nueva, las principales herramientas al final del ciclo de vida de una batería serían: remanufactura, modificación de propósito, y reciclaje, como nos indica (Arkam, 2023, pag 5)

**Figura 9.** Ciclo de uso baterías



Fuente: (Akram & Abdul-Kader, 2023, pag. 7)

Los procesos se pueden describir como se relaciona a continuación:

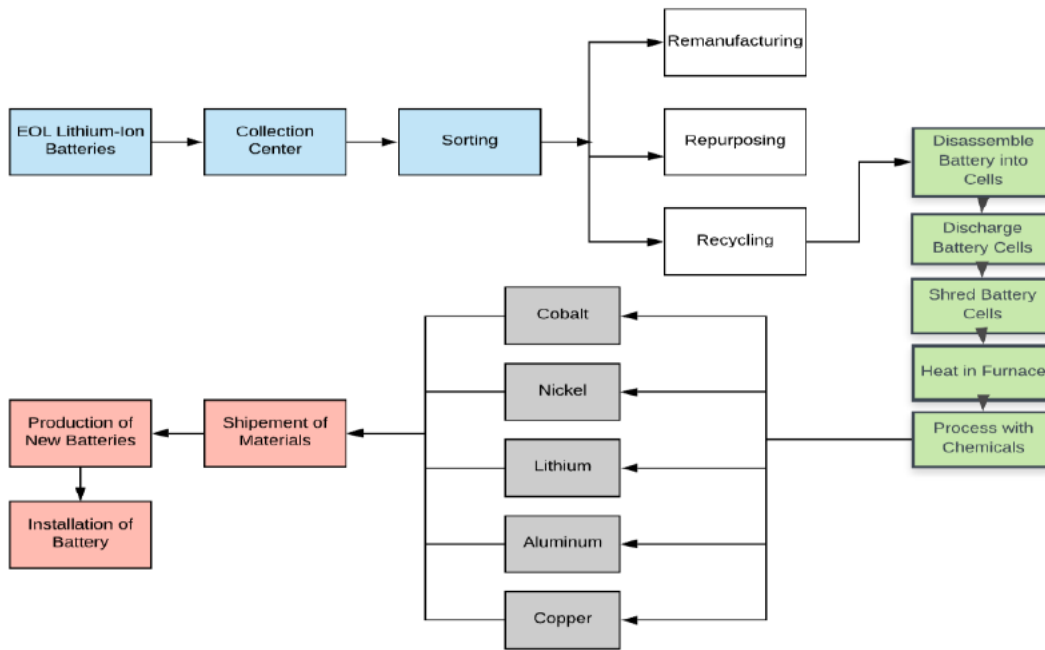
Remanufactura se refiere al proceso por el cual la batería es modificada con el propósito de darle un nuevo uso como batería, se puede denominar baterías de segunda vida, donde se realiza un proceso para la repotenciación de baterías en su final de ciclo de vida EOL (end of life) para un nuevo propósito (Cicenergigune, 2023)

el cambio de propósito es la estrategia para el uso de la batería en otro propósito, tales como baterías de uso industrial reconvertidas a uso doméstico o vehicular, dado que las celdas de energía pueden ser desmanteladas parcialmente, evaluadas según su vida útil, y reformadas para otro uso de menor desempeño que pueda cumplir estas celdas.

La tercera opción es la del reciclaje, que consiste en desmantelar la batería y por medio de procesos mecánicos, y fisicoquímicos recuperar las materias primas para su nuevo ingreso a la cadena productiva (Akram, 2023)

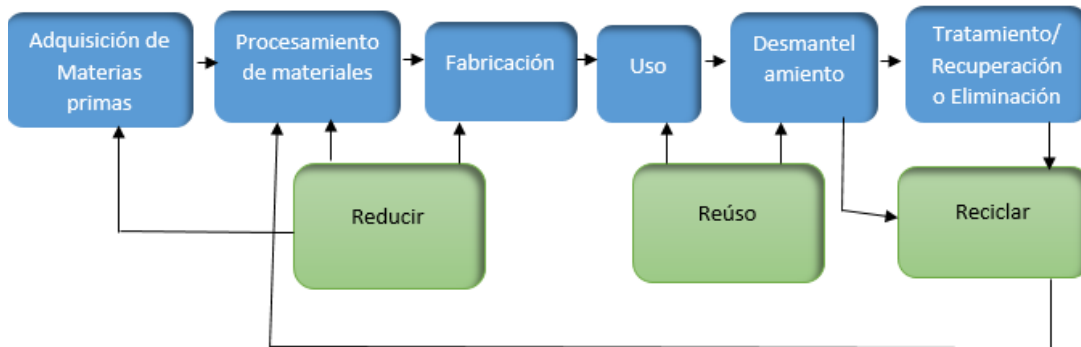
Como podemos ver en la siguiente imagen, el proceso de reciclaje es un proceso por el cual las compañías han concentrado sus esfuerzos y priorizan sobre otros métodos (ver figura 10)

Figura 10. Proceso sugerido de disposición de baterías



Fuente: (Akram & Abdul-Kader, 2023, pag. 7)

Figura 11. Proceso sugerido de disposición de baterías



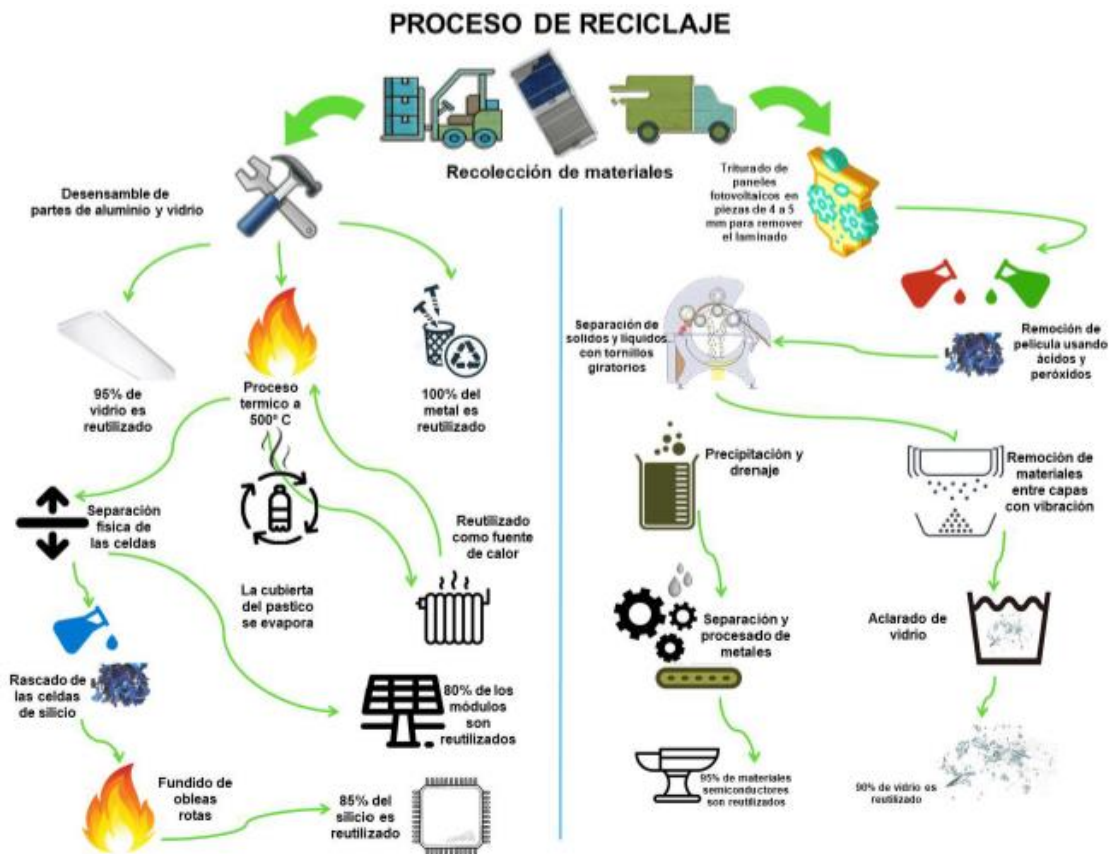
Fuente: (Chaverra, 2021)

En contraste del ciclo de vida especificado de manera internación la se compara con el ciclo de vida estimado en un estudio de carácter nacional, identificando los mismo ciclos recomendados para el manejo de materias primas asociadas a los paneles solares, donde los tres componentes principales son reducir, reusar y reciclar, como muestra (Chaverra, 2021)

Retomando los elementos fundamentales de los ciclos recomendados para la disposición de residuos de los paneles solares se fundamenta en la reducción, reúso y reciclaje, sin embargo, el proceso de reciclaje requiere algunos procesos que se describen a continuación:

Como se puede ver en la figura 12 se describe el ciclo de reciclaje, lo cual incluye procesos térmicos, mecánicos, y químicos para el adecuado tratamiento de los residuos sólidos generados por los paneles solares, esto con el ánimo de reutilizar entre el 85% y 90% de los materiales extraídos de los residuos dispuestos.

Figura 12. Proceso reciclaje paneles solares



Fuente: (Bernal et al., 2022, pág. 12.)

A continuación, venos en la siguiente tabla la relación de compañías, nacionalidad y tipo de proceso que se está llevando a cabo con el ánimo de reciclar las materias primas, provenientes de desechos.

**Tabla 5. facilidades de reciclaje mundial**

Company	Country	Process	Volume (tons/year)	Status
<b>Recycling by using the Pyrometallurgical/Hydrometallurgical process</b>				
Accurec	Germany	Pyro/hydro	4000	In Operation
Akkure	Finland	Pyro/hydro	4000	In Operation
Umicore Valeas	Belgium	Pyro/hydro	7000	In Operation
Brunnp Recycling Technologies	China	Pyro/hydro	10,000	In Operation
JX Nippon Mining	Japan	Pyro/hydro combo	5000	In Operation
Glencore	Switzerland	Pyro/hydro combo	3000	In Operation
<b>Total</b>			33,000	
<b>Recycling by using the Pyrometallurgical process</b>				
Inmetco	US	Pyrometallurgical	6000	In Operation
Quzhou Huayo	China	Pyrometallurgical	40,000	In Operation
Validi	France	Pyrometallurgical	20,000	In Operation
Sony/Sumitomo	Japan	Pyrometallurgical	150	In Operation
Inmetco	US	Pyrometallurgical	6000	In Operation
Quzhou Huayou	China	Pyrometallurgical	40,000	In Operation
Dowa Eco-System	Japan	Pyrometallurgical	6500	In Operation
<b>Total</b>			118,650	
<b>Recycling by using the hydrometallurgical process</b>				
Recupyl	France	Hydrometallurgical	110	In Operation
Redux	Germany, Austria	Hydrometallurgical	50,000	In Operation
Retriev (Toxco)	Canada	Hydrometallurgical	4500	In Operation
GEM	China	Hydrometallurgical	30,000	In Operation
Li-Cycle	US	Hydrometallurgical	5000	In Operation
Li-Cycle	Canada	Hydrometallurgical	5000	In Operation
Taisen	China	Hydrometallurgical	6000	In Operation
Li-Cycle	Gilbert, AZ, US	Hydrometallurgical	10,000	Planned
Li-Cycle	Tuscaloosa, AL, US	Hydrometallurgical	10,000	Planned
Fenix	UK	Hydrometallurgical	10,000	Planned
<b>Total</b>			130,610	
<b>Recycling by using the preprocessing process</b>				
Envirostream	Australia	Preprocessing	3000	In Operation
Guanghua Sci-Tech	China	Preprocessing	12,000	In Operation
<b>Total</b>			15,000	
ABT	US	Unknown	20,000	Planned
Northvolt	Norway	Unknown	8000	Planned
Fortum	Finland	Unknown	Unknown	Planned
Green Li-ion	Singapore	Unknown	Unknown	Planned
Gotion High-Tech	China	Unknown	Unknown	Planned
Tesla	China	Unknown	Unknown	Planned
Posco Hy Clean Metal	Korea	Unknown	12,000	Planned

Fuente:(Akram & Abdul-Kader, 2023, pág. 6)

Breve descripción de los procesos indicados en la tabla anterior

Proceso Pirometalúrgico (Pyrometallurgical Process): Proceso de incineración que aumenta la temperatura gradualmente desde 300°C hasta 1450°C donde los plásticos son totalmente incinerados, y los metales son decantados para su recuperación (Akram & Abdul-Kader, 2023, pág. 6):

Proceso hidrometalúrgico (Hydrometallurgical Process):

Proceso que involucra fases físicas y químicas en pasos por diferentes procesos de líquidos, que resulta en una alta recuperación de materiales principalmente metales pesados (Akram & Abdul-Kader, 2023, pag 6)

Preproceso (Preprocessing)

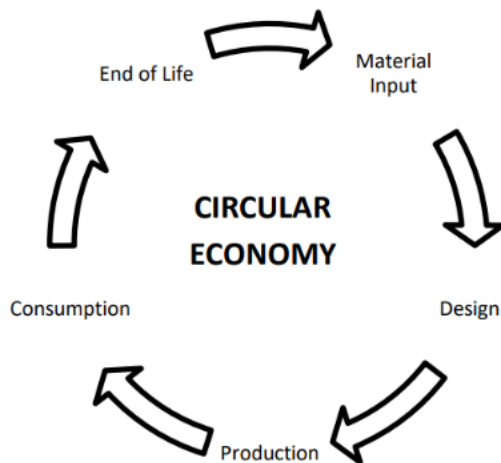
Proceso mecánico para el desmantelamiento de componentes algunos procesos automáticos, y otros manuales para la separación de residuos previo a su procesamiento (Akram & Abdul-Kader, 2023, pag 6)

Posibles impactos ambientales de los desechos generados por los principales componentes de un sistema de generación renovable.

Para el adecuado tratamiento de residuos generados por los equipos para generación de energía renovable se ha identificado que se sugiere en la literatura, hacer el mayor uso de la

economía circular, donde los materiales al final de su ciclo de vida retornar como materias primas de nuevos elementos (Ver figura 13)

Figura 13. Ciclo de materiales recomendados



Fuente: (Akram & Abdul-Kader, 2023, pag 12)

El adecuado funcionamiento de este modelo se basa en dos premisas importantes, la primera, que existen los medios, las regulaciones y las tecnologías para el procesamiento de los desechos, contando con un producto de calidad satisfactoria al final del proceso de reciclaje y recuperación, la segunda, el porcentaje de residuos al final del proceso de recuperación es mínimo, aproximadamente el 10%, el cual debe disponerse como residuo peligroso en la categoría de residuo tóxico, como veremos a continuación.

Los procesos de reciclaje de elementos químicos son mayoritariamente procesos de incineración y pirólisis por los cuales se pueden generar algunos de los siguientes compuestos:

*Los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), son sustancias químicas o mezclas, sintetizadas para realizar actividades como el control de insectos transmisores de enfermedades, mejorar la producción agrícola y hacer más eficientes algunos procesos*

*industriales, aunque algunos de ellos son generados en forma no intencional, como subproductos de procesos de combustión. (MinAmbiente COP, 2023, párrafo 1)*

*Los constituyentes originales de los equipos, como el plomo, el cadmio y el mercurio; las sustancias que pueden añadirse durante algunos procesos de recuperación, como el cianuro; y las sustancias no intencionales que pueden formarse durante estos procesos como las dioxinas y furanos (MinAmbiente RAEE, 2023, párrafo 9)*

Por lo anterior podemos evidenciar que tanto el proceso de recuperación de materiales por medio de pirolisis (combustión) inadecuadamente ejecutado, así como por su naturaleza en el uso de dispositivos “Algunas de las aplicaciones de los COP de uso industrial, se han dado en los sectores de aparatos eléctricos y electrónicos de consumo” (MinAmbiente QUIMICOS, 2023) pueden generar contaminantes orgánicos persistentes, los cuales, por su característica volatilidad, pueden viajar en aire y agua a regiones apartadas de su punto de generación, resisten procesos de degradación, así mismo no son solubles en agua, pero si en moléculas grasas por lo tanto puede permanecer en organismos vivos (MinAmbiente COP, 2023).

(MinAmbiente COP, 2023) Los problemas generados por este tipo de sustancias, particularmente por sus características de persistencia en el ambiente, toxicidad, permanencia en tejidos animales, puede generar efectos como lo son:

Contaminación de cadenas alimentarias

Efectos en la salud humana y del medio ambiente

Consecuencias en la fauna

Algunos de los efectos negativos se listan a continuación:

Fuente: *MinAmbiente Problemas con los COP* (MinAmbiente COP, 2023)

- Cloracné
- Algunos tipos de cáncer.
- Malformaciones congénitas.
- Problemas de esterilidad.
- Daño cerebral y nervioso.
- Bajo peso al nacer.
- Esterilidad y disminución de la fertilidad

Las baterías inadecuadamente tratada puede generar componentes PCB (bifenilos policlorados) cuyo efectos negativos se incluyen entre los listados para contaminantes orgánicos persistentes COP.

Igualmente, los desechos generados por los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) como se mencionó anteriormente tales como:

- Cadmio
- Plomo
- Mercurio
- Cianuro
- Dioxinas
- Furanos

La exposición a estas sustancias químicas puede generar los siguientes efectos en la salud:

Tomado de *United States Environmental Protection Agency (EPA)*

- Pérdida de visión perimetral
- Cáncer
- Verrugas
- Hormigueo permanente en extremidades
- Perdida de coordinación motriz
- Debilidad muscular
- Atrofia de movilidad, escucha y habla.

Efectos en niños

- Cognitivos
- Problemas neurológicos y del sistema nervioso
- Afectación a la memoria
- Perdida de atención
- Perdida de motricidad fina
- Perdida de percepción espacial

Los planes para la adecuada disposición de residuos se deben contemplar en todo estudio de impacto ambiental, tal como cita el documento *“TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL – EIA EN PROYECTOS DE USO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA”* de la Autoridad nacional de licencia ambientales de Colombia.

Un ejemplo de esta aplicación se puede verificar en el *documento “DOCUMENTO DE MANEJO AMBIENTAL PROYECTOS CON ENERGIAS RENOVABLES”* del Instituto de

Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas, donde se relaciona como un impacto ambiental negativo la inadecuada disposición de baterías (RAEE) de un proyecto (ver figura 14).

Figura 14. Ejemplo programa de manejo de residuos peligrosos

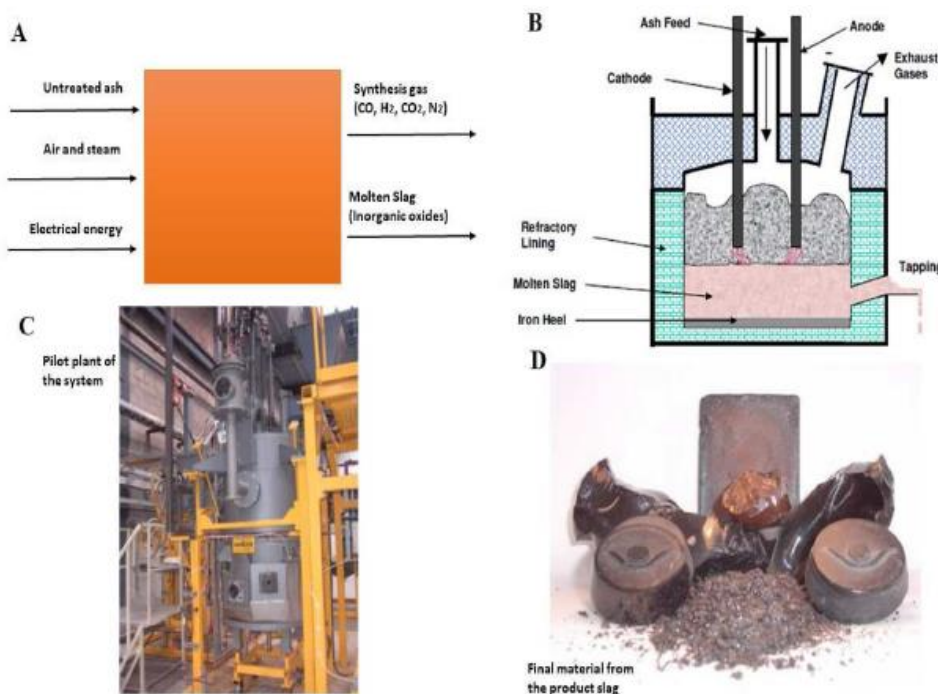
PROGRAMA No. 7 MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS	
<b>Objetivo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Para soluciones energéticas centralizadas, implementar medidas de manejo en el área de almacenamiento de baterías, con el fin de evitar o reducir el vertimiento de sustancias químicas sobre suelo y aguas superficiales durante la operación del proyecto.</li> <li>❖ Para soluciones individuales, establecer las medidas a realizar al final de la vida útil de las baterías para su recambio y disposición final.</li> </ul>	
Aspectos Ambientales	Impactos Ambientales
❖ Generación de Residuos especiales o peligrosos RESPEL, RAEE	❖ Contaminación del suelo por inadecuada disposición final (-)
Tipo de Medida	Etapa
Prevención, Mitigación	Construcción y Operación
Cobertura Espacial	Responsables
Este programa se desarrollará en el área de depósito de baterías en sistemas centralizados, y puntualmente para el recambio de baterías en sistemas individuales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ ADMINISTRADOR DEL PROYECTO: Garantizar recursos para la ejecución de este programa y realizar el seguimiento al desarrollo de las actividades programadas.</li> <li>❖ CONSTRUCTOR / EJECUTOR: Responsable de la ejecución de las medidas diseñadas.</li> <li>❖ OPERADOR: Responsable de las actividades de mantenimiento y operación del sistema energético implementado.</li> <li>❖ AUTORIDAD AMBIENTAL: Seguimiento y monitoreo.</li> </ul>

Fuente:(Instituto de planeación y promoción de soluciones energéticas & IPSE, 2019, pág. 25)

Para la adecuada disposición de los residuos que son definitivamente desechados y no pueden retornarse a la cadena de producción, se deben realizar procesos de neutralización de

los componentes reactivos, para poner cierre a su interacción con su entorno, estos procesos son de un nivel tecnológico alto, uno de los más comunes es el proceso de vitrificación, como se puede ver en el documento “*A review on vitrification technologies of hazardous waste*” (Sanito et al., 2022)

Figura 15. Proceso de vitrificación



Fuente: (Sanito et al., 2022, pag. 12)

En la siguiente imagen se puede observar el tipo de aditivo usado, así como el resultado del proceso, dando finalmente una estructura cristalina final de residuo, ver figura 16

Figura 16. Tendencias en procesos de vitrificación

Recent trend on the addition of flux agents/additives for forming the crystalline structure in the hazardous waste.

No	Flux Agents/Additives	Targets of waste	Crystalline structure in final residue	References
1	$K_2O-B_2O_3-TiO_2$		$K_2O-B_2O_3$ glasses	Gonzalez-Lozano et al. (2009)
2	Molding Sands	Sewage sludge	F-ZnPb	Celary and Sobik-Szolysek (2014)
3	$CaCO_3$	Resin derived from PCB Scrap	$CaCO_3, CaSiO_3$	Sanito et al. (2020a); Sanito et al. (2020b)
4	Quartz Sand ( $SiO_2$ )	Moist paste batteries, galvanic sludge, leachate, medical waste, nuclear waste	Quartz Sand ( $SiO_2$ )	Cubas et al. (2014); Cubas et al. (2015); Cubas et al. (2016); Cai and Du et al., (2020)
5	$CaO, Fe$ and $SiO_2$	Medical waste	Slag	Sheng et al. (2008), Li et al. (2009)
6	Zircon (Zr) and Cordierite/magnesium Iron aluminum cyclosilicate ((Mg, $Fe$ ) $_2Al_3(Si_2AlO_{13})$ )	Ceramics industry sludge	$Zr_2SiO_4$ (zircon)	Dellisanti et al. (2007); Dellisanti et al. (2009a)
7	$Si-Al_2O_3-Fe_2O_3-CaO$	Incinerator final residue	Hematite ( $Fe_2O_3$ ), pseudobrookite ( $Fe_2TiO_5$ ) and anorthite (Ca ( $Al_2Si_2O_8$ )).	Chen et al. (2021)
8	$SiO_2-Al_2O_3$	Nuclear Power Plant	$SiO_2-Al_2O_3$	Sheng et al. (2001)
9	$SiO_2, Al_2O_3, CaMg (CO_3)_2, CaCO_3, Na_2CO_3$	Radioactive waste	$SiO_2-Al_2O_3$	Environmental Protection Agency, (1992); Walling et al. (2021)
10	$SiO_2$	Fly ash	$SiO_2, CaO, Al_2O_3, MgO, TiO_2,$ and $Fe_2O_3$	Carabin and Gagnon (2007)

Fuente: (Sanito et al., 2022, pag. 14)

En resumen, la primera recomendación tanto en literatura internacional como local es el uso adecuado de materias primas respetando la economía circular, cuyos pilares son la reducción, la reutilización y el reciclaje.

El reciclaje visto desde el punto de la economía circular ofrece una alternativa como fuente de suministro de materias primas para la industria, el ciclo de la economía circular cuyo fin es reutilizar la mayor cantidad de materias primas extraídas de elementos desechados, permite mantener materiales peligrosos en su adecuado uso, sin embargo, en ausencia de un ciclo adecuado incluyendo el correcto tratamiento de materiales desechados, constituiría una potencial fuente de materiales contaminantes como los PCB, y otro COP, de alto impacto en la salud humana, y del medio ambiente. Sumado a esto los desecho definitivamente imposibles de tratar deben neutralizarse para eliminar su reactividad con el ambiente.

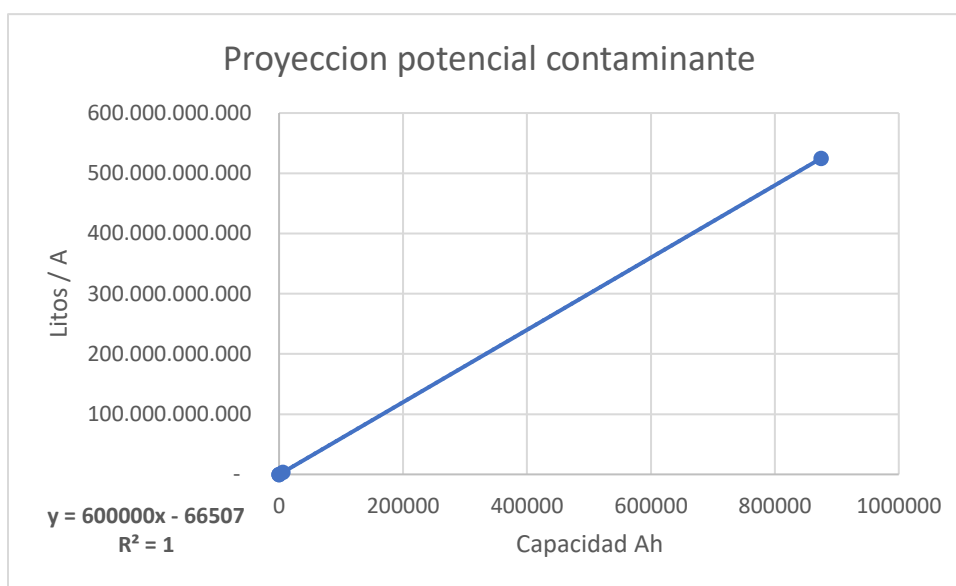
Actualmente se tiene una capacidad instalada de 304MW (SerColombia, 2023) con una meta proyectada de 2.5GW para 2023 (18%), y proyectando la proporción para el año 2050 (48%) se puede inferir la siguiente estimación:

La cantidad de residuos a tratar por causa de los elementos de generación de energías renovables podría aumentar casi 3 veces las cantidad actual para el 2050.

Una batería alcalina cuyo capacidad de carga esta entre 1000 y 3000mAh puede contaminar hasta 600.000 L de agua (CVC, 2016), una batería regular para infraestructura industrial estándar es de 100Ah, para una capacidad actual instalada de 304MW y asumiendo una batería estándar de 48V DC se realiza la regresión lineal que se muestra a continuación:

estimación por regresión lineal cantidad potencial de contaminante en función de la capacidad proyectada de generación de energía renovables (42TWh), se asumen baterías de 48VDC:

Proyección potencial contaminante			
Año proyectado	Potencia W	Capacidad Ah	Litros/A
2023		1	600.000
2023		100	60.000.000
2023	304M	6333	3.799.800.000
2050	42000M	875000	525.000.000.000



Con la ecuación resultante de  $y = 600000x - 66507$ , la cantidad potencial de agua afectada es de 525M de litros.

Como parte del análisis de los datos obtenidos, podemos evidenciar que se requiere una política específica para el manejo de residuos provenientes de la generación con energías renovables, actualmente existen planes para la disposición de pilas y baterías de plomo-acido, sin embargo, se carece de una política de disposición de paneles solares y baterías de nueva generación (litio, Azufre, Sodio, etc.).

Adicionalmente el proceso recomendado es la inclusión de la economía circular en el proceso de reúso y remanufactura de los desechos obtenidos, estos requiere una inversión en tecnología para la transformación de los residuos en materias primas disponibles en el mercado, con los estándares de calidad adecuado, tecnología que actualmente no se evidencia en las empresas del sector de manejo de residuos, el mercado nacional se limita al preproceso (desmantelamiento mecánico de los elementos) y la venta de estos residuos para un tratamiento en el exterior.

Se evidencia que el proceso de reducción, reúso, y reciclaje es la base fundamental de manejo de desechos, las políticas del gobiernos respecto a las residuos eléctricos y electrónicos (RAEE) así como de residuos peligrosos (RESPEL) tienen políticas encaminadas al manejo de los desechos objeto de verificación de este estudio, sin embargo, se evidencia que no está actualizado a la realidad actual, y no se evidencia una respuesta de corto plazo para el manejo de estos residuos, que para el 2050 se proyecta representará el 50% de la generación total nacional.

Se concluye que las baterías serán un componente fundamental, no solo porque es un elemento fundamental en la estabilidad operativa de todas las fuentes de energía renovable, también hacen parte del plan nacional para la estabilidad eléctrica de zonas con baja conexión a la redes de distribución nacional, y regional, y se plantea un modelo con baterías para mejorar dicha estabilidad en dichas zonas apartadas.

Se requiere un fomento para la creación de compañías para el procesamiento tecnológico de los residuos derivados de los elementos generadores de energía renovable, para el cumplimiento de los procesos de disposición adecuados, en caso de no contar con estos ciclos la mala disposición de dicho residuos puede conducir a libración de elementos tóxicos con tiempos de

vida extensos y afectaciones al medio ambiente, cadena alimenticia, y efectos nocivos en la salud para la comunidad en general, particularmente vulnerables niños y personas mayores.

### Regulación nacional

Ahora entrando en términos de la legislación encontrada en vigencia dentro de la República de Colombia se tiene que iniciar con la formación del Ministerio de medio ambiente en el año 1993 con la ley 99 del mismo año la cual dicta “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”, de donde se crea el ente regulador de todas las políticas públicas dirigidas a la protección del medio ambiente.

- Normatividad dirigida al potenciamiento del uso de energías renovables

**Tabla 6.** Normatividad dirigida al uso de energías renovables.

Nombre de la ley	Descripción
Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
Ley 1715 de 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.
Ley 1844 de 2017	Por medio de la cual se aprueba el “Acuerdo de París”, adoptado el 12 de diciembre de 2015, en París Francia.

Ley 1931 de 2018	Por la cual se establecen directrices para la gestión del Cambio Climático.
Ley 1964 de 2019	Por medio de la cual se promueve el uso de vehículos eléctricos en Colombia y se dictan otras disposiciones
Ley 2099 de 2021	Por medio de la cual se dictan disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones.

Fuente: Autoría propia.

- Normatividad dirigida a la regulación de materiales

**Tabla 7.** Normatividad dirigida a la regulación de materiales

Nombre de la ley	Descripción
Decreto 605 de 1996	Reglamenta la ley 142 de 1994. En cuanto al manejo, transporte y disposición final de residuos sólidos
Ley 1252 de 2008	Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.
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.
Decreto 284 de 2018	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
Resolución 076 de 2019	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)

Fuente: Autoría propia

De lo anterior se puede ver cómo dentro de la República de Colombia se encuentra una idea generalizada de lograr concientizar a la población frente a que cambien a energías renovables, ya sea en sus métodos de movilidad en términos de generación de energía doméstica o para ámbitos laborales.

Entrando en el tema de políticas ambientales, se puede ver que existe una para la gestión integral de residuos peligrosos para el periodo entre 2022 y 2030. Este consiste en un plan dirigido a crear un sistema completo que una a todos los sectores económicos con la capacidad de darle un tratamiento adecuado a los residuos peligrosos. La idea principal es actualizar las guías ambientales de tratamiento de materiales RESPEL. En relación con la investigación existe un punto en donde ellos intentan fomentar el manejo de baterías de plomo que son aquellas presentes en los carros de combustión y en si es un acercamiento al tratamiento de las baterías eléctricas, pero no existe un tema puntual que defina el tratamiento de estas. (Informe anual de seguimiento a la implementación política ambiental para la gestión integral de residuos peligrosos 2022-2030, Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible 2023)

Por otro lado, de esta política ambiental de gestión de residuos peligrosos hay unos temas importantes que se deben tener en cuenta que son puntos exactos que quieren tratar para el futuro donde se encuentran posibles materiales de desechos presentes en las baterías presentes en generadores eléctricos, además se están tocando temas como lo son las “operaciones que pueden conducir a la recuperación de recursos, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa y otros usos” de donde se toca el tema de la utilización como combustible (que no sea en la incineración directa u otros medios de generación de energía. (Política ambiental para la gestión integral de residuos peligrosos y Plan de Acción 2022-2023).

De lo anterior también comprende la caracterización de posibles residuos tales como lo son los metales pesados, de donde se van a extraer los apartados pertinentes a la investigación:

**Tabla 8.** Caracterización de residuos peligrosos

Rama	Código	Descripción
A1. Desechos metálicos o que contengan metales	A1010	Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias siguientes:
B1. Desechos de metales y desechos que contengan metales	B1010	Desechos de metales y de aleaciones de metales, en forma metálica y no dispersable:
	B1020	
	B1130	
	B2090	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desechos de germanio.</li> <li>• Desechos de hierro y acero</li> <li>• Desechos de cadmio</li> <li>• Desechos de sílice</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desechos de etileno</li> <li>• Chatarra de estaño</li> </ul>
B3. Desecho que contengan principalmente constituyentes orgánicos, que pueden contener metales y materiales inorgánicos	B3011 Y48	Desechos plásticos consistentes casi exclusivamente en uno de los siguientes polímeros fluorados  Fluoruro de polivinilo

Fuente: Política ambiental para la gestión integral de residuos peligrosos y Plan de Acción 2022-2023.

Ahora, entrando en el tema de la distribución de los lugares en donde se encuentran las plantas gestoras de residuos peligrosos en Colombia, existe una página en la cual se pueden inscribir las empresas que deseen entrar en este rubro que se encuentra en la página del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible y que por medio de la resolución 1362 del 2 de agosto de 2007 se establecieron los requisitos y procedimientos para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, párrafo 2).

se puede decir que existen 23 lugares en toda Colombia dirigidos a este tratamiento, divididos en su mayoría en los lugares de mayor congregación de empresas ya sean hospitales o transformadores de materia prima, distribuidos de la siguiente manera:

**Figura 17.** Puntos de acopio y recolección de RESPEL



Fuente: Ministerio de ambiente, 2018

Cada una de las zonas enumeradas cuentan con al menos un centro de acopio para la recepción y manejo de materiales RESPEL y que a su vez ellas han tenido que aumentar su capacidad desde el año 2007 a la fecha, girando hacia la recepción segura de residuos eléctricos y electrónicos, esto después de la expedición de la política que define a estos residuos en el 2013, determinando así 23 centros generalizados de acopio en el territorio nacional.

## Conclusiones

Se identificaron las fuentes de energía renovables particularmente las promovidas en el marco del plan integral de gestión del cambio climático, y que hacen parte de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), concluyendo que las posibles alternativas de generación de energía no renovable que producen residuos potencialmente peligrosos son, energía solar fotovoltaica, energía eólica, energía geotérmica, siendo los residuos de paneles solares y baterías los de mayor aporte de residuos peligrosos.

Se definieron los componentes de los cuales están contruidos los elementos de generación de energía renovable, encontrándose tres grupos de elementos priorizados por su potencial impacto ambiental, estos fueron, los compuestos orgánicos persistentes (COP), los bifenilos policlorados (PCB) y los materiales pesados, mercurio, plomo cadmio, entre otros, originados por los desechos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Estos tres grupos de elementos presentan características comunes, se generan por un inadecuado tratamiento, o por una cadena de proceso de residuo deficiente, y su liberación en el ambiente causa severas consecuencias, desde permanencia en la cadena alimenticia, permaneciendo en la fauna y flora que se aloje, hasta problemas de salud en el humano, tales como cáncer, problemas del sistema nervioso entre otros.

Los compuestos generados por los residuos inadecuadamente tratados o en una cadena deficiente de reciclaje y neutralización tienen un potencial de impacto ambiental amplio, debido a que estos compuestos se denominan volátiles, sumado a su característica no solubles en agua lo que permite propagarse por aire y agua de manera libre, y alojarse en cuerpos grasos como las células animales y vegetales.

Se identificaron los aspectos jurídicos y regulatorios particularmente de tres componentes fundamentales, el manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), el manejo de residuos peligrosos (RESPEL), y el marco regulatorio para el estudio de impacto ambiental (EIA) en proyectos nuevos de generación eléctrica de fuentes renovables.

Se evidencia que los planes para manejo de residuos de los compuestos actuales no está adecuadamente actualizado, el plan de ejecución 2020-2030 del ministerio de medio ambiente contempla la actualización de planes de manejo de baterías de plomo ácido y pilas regulares (alcalinas y de carbono) sin embargo, estos planes no está alineados a la realidad actual, y las proyecciones de desarrollo no se encuentran armonizadas con las políticas de estímulo para el fomentos de generación de energías renovables.

Los impactos ambientales fueron descritos con mayor detalle en el desarrollo de documento, se puede concluir de su análisis que existen dos condicionales que habilitarían los escenarios de impacto ambiental negativo, la primera condición, el no cumplimiento de la cadena de uso de los desechos generados por paneles solares y baterías, en caso de no cumplir el ciclo de economía circular, donde se priorizan las componentes de reducción, reúso, y reciclaje, podría existir exposición y reacción de los materiales químicos generando contaminantes tóxicos como los compuestos orgánicos. Persistentes (COP) entre ellos el PCB, así como los metales pesados debido al inadecuado tratamiento de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE).

En ambos casos, ya sea generación de compuestos orgánicos persistentes, o de materiales pesados, el impacto ambiental consistiría en liberación de partículas volátiles que pueden alojarse periodos extensos de decenas de años en células animales y vegetales afectando la

salud humana, la fauna y la flora, con alteraciones en sus sistemas nerviosos, cerebrales, y alteraciones genéticas, y como consecuencia de estas alteraciones daños a la salud de los cuerpos donde reside el contaminante.

## Referencias

Akram, M. N., & Abdul-Kader, W. (2023). Sustainable Development Goals and End-of-Life Electric Vehicle Battery: Literature Review. In *Batteries* (Vol. 9, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

Al-Breiki, M., & Bicer, Y. (2023). Liquified hydrogen vs. liquified renewable methane: Evaluating energy consumption and infrastructure for sustainable fuels. *Fuel*, 350.

Alfaro, C. (2015). Improvement of Perception of the Geothermal Energy as a Potential Source of Electrical Energy in Colombia, Country Update. In *Proceedings World Geothermal Congress*.

Amezquita Luis, (2019) *Diseño de un sistema de energía híbrido (Solar-Eólico) para el soporte de las telecomunicaciones en el cerro girasoles del ejército Nacional de Colombia*. Universidad Piloto de Colombia

Arias, Catalina Villamil, Byron Restrepo, Andrés Bolívar, Omar (2022) *Estudio sociotécnico del uso de energías renovables como alternativa de iluminación en las comunidades de las zonas no interconectadas*. *Revista UIS Ingenierías*, Universidad Industrial de Santander.

Buendía, Erick (2017) *Evaluación y análisis técnico de tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica para la transformación de vehículos de combustión a vehículos eléctricos*. Tecnológico de Costa Rica.

Cardinale, R. (2023). From natural gas to green hydrogen: Developing and repurposing transnational energy infrastructure connecting North Africa to Europe. *Energy Policy*, 181, 113623.

Casola, Laura Freier Alexander (2018) *El nexo entre cambio climático y energía renovable en el Mercosur*. Un análisis comparativo de las legislaciones de Argentina y Brasil. *Revista Derecho del Estado* #40 enero-junio de 2018 pp 153-179.

Castillo, Alejandro (2017) Cooperación internacional para el desarrollo de energías renovables: energía eólica y solar en el mundo

Chaverra, A. (2021). Estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos producidos por las celdas fotovoltaicas en el aprovechamiento de la energía solar en proyectos de producción más limpia en Colombia.

Cicenergigune, 2023, Baterías de segunda vida para una transición energética sostenible  
<https://cicenergigune.com/es/blog/baterias-segunda-vida-transicion-energetica-sostenible>

Cruz del Castillo, C. & Olivares Orozco, S. (2014). Metodología de la investigación. Grupo Editorial Patria.  
<https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/lc/bibliotecaean/titulos/39410>

CVC (2016) Corporación Autónoma del Cauca Asumo lo que consumo  
<https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2018-09/PILAS.pdf>

Desreveaux, A., Bouscayrol, A., Trigui, R., Hittinger, E., Castex, E., & Sirbu, G. M. (2023). Accurate energy consumption for comparison of climate change impact of thermal and electric vehicles. *Energy*, 268, 126637.

EPA U.S. Environmental Protection Agency 2023, Health Effects of Exposures to Mercury  
<https://www.epa.gov/mercury/health-effects-exposures-mercury>

Gastélum-Escalante, J. (2021). El camino de la investigación. McGraw-Hill Interamericana. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=17521>

Global Carbon Project (2020), *Opportunities and challenges in using remaining carbon budgets to guide climate policy* <https://doi.org/10.1038/s41561-020-00663-3>

Guerrero Hoyos, B. G., Vélez Macías, F. D. J., & Morales Quintero, D. E. (2020). Energía eólica y territorio: sistemas de información geográfica y métodos de decisión multicriterio en La Guajira (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 23(44).

Gutierrez, Alejandro García, John (2021) *Fuentes de Energía Renovable, recursos energéticos distribuidos y Almacenamiento en Colombia: una revisión de la normatividad.*

Hernández Sampieri, R., Mendoza Torres, C. P.(2018). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=6443>

Hernandez, María. Aguado, Luis. Duque, Henry (2018) *Índice de pobreza energética multidimensional por regiones para Colombia, IPEM\_RC 2013.* Revista de temas de coyuntura y perspectivas, 3 (3), 35-71

<http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v24n51/2256-5337-teclo-24-51-186.pdf>

<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/residuos-de-aparato-electricos-y-electronicos-raee/>

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

Hurtado, Oscar (2020) *Energías Renovables como estrategia para la diversificación de la matriz energética de Colombia.* Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Iglesias, Alberto, Martínez, Andrés (2017) *Construcción, control e instrumentación de un carro eléctrico.* Universidad Autónoma de la Ciudad de México

Maddison-project (2020), *Paper introducing new concepts and new results of the Maddison Project Database*

<https://www.rug.nl/ggdc/historicaldevelopment/maddison/releases/maddison-project-database-2020>

Marka, S. K., Petnikota, S., Reddy, M. V., Adams, S., & Satya Siva Srikanth, V. V. (2023). Solid-state processed novel germanium/reduced graphene oxide composite: Its detailed characterization, formation mechanism and excellent Li storage ability. *Journal of Alloys and Compounds*, 960, 170766.

Merodio, Iker (2019) *La energía renovable: Importancia de su implementación y desarrollo*. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, ICADE

MinAmbiente COP, 2023, Contaminantes Orgánicos Persistentes  
<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/contaminantes-organicos-persistentes/>

MinAmbiente RAEE, 2023 Residuos de Aparato Eléctricos y Electrónicos – RAEE

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010) *Por la cual se establecen los Sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Residuos de Pilas y/o Acumuladores y se adoptan otras disposiciones*  
<https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-1297-de-2010.aspx>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (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*

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2023) Política ambiental para la gestión integral de residuos peligrosos y Plan de Acción 2022-2023

Ministerio de Minas y Energía (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro de Colombia* <https://www.minenergia.gov.co/es/micrositios/enlace-legado-transicion-energetica/>

Ministerio de minas y energía. (2020). *Plan Energético Nacional 2020-2050*. Ministerio minas y energía. <https://repositoriobi.minenergia.gov.co/handle/123456789/2679>

Naciones Unidas, (2023) *The Paris Agreement* <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Ñaupas Paitán, H., Palacios Vileta, J. J., Romero Delgado, H. E., Valdivia Dueñas, M. R. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. Ediciones de la U. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=8046>

Niño Rojas, V. M. (2019). Metodología de la investigación: diseño, ejecución e informe. Ediciones de la U. <https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=9546>

Ortiz, Adriana García, Claudia Parra, Alejandro (2019) *De los hidrocarburos a las energías renovables en Colombia*. Cultura latinoamericana. Volúmen 29, número 1, enero-junio 2019, pp. 138-162

Parlamento Europeo (2023) Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en la UE: datos y cifras (infografía) <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20201208STO93325/residuos-de-aparatos-electricos-y-electronicos-en-la-ue-datos-y-cifras>

Pesaran, A. A. (2023). Lithium-Ion Battery Technologies for Electric Vehicles: Progress and challenges. IEEE Electrification Magazine, 11(2), 35–43.

Peters, J. F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., & Weil, M. (2017). The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 491–506.

Robles, Carlos Omar, Rodríguez (2018) *Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia*. Revista Espacios Vol. 39

Rodriguez, Jaime (2018) *Implementación e impacto económico de la explotación de un parque eólico en Colombia*. Universidad Pontificia de Madrid

Said, S., & Blanco, S. (2018). Análisis de la energía geotérmica como alternativa para el abastecimiento de la demanda energética en Colombia Universidad Autónoma de Bucaramanga.

Sanito, R. C., Bernuy-Zumaeta, M., You, S.-J., & Wang, Y.-F. (2022). A review on vitrification technologies of hazardous waste. *Journal of Environmental Management*, 316, 115243.

Seluy, Lucrecia M (2017) *La contaminación ambiental asociada a las pilas en desuso* Comunicaciones científicas y tecnológicas anuales (Pag. 387 – 390)

SerColombia, 2023, Asociación de energías renovables <https://sercolombia.org/mercados-colombia/>

The Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (2023), *AR6 Synthesis Report* <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

Universidad Nacional de Colombia (2016) Manejo para el control integral de residuos químicos [https://ogabogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2020/09/B.PC\\_SGA\\_002-Protocolo-manejo-integral-de-residuos-qu%C3%ADmicos.pdf](https://ogabogota.unal.edu.co/wp-content/uploads/2020/09/B.PC_SGA_002-Protocolo-manejo-integral-de-residuos-qu%C3%ADmicos.pdf)

Valencia, Guillermo Nuñez, Jose Acevedo, Carlos (2019) *Research evolution on Renewable Energies Resources from 2007 to 2017: A comparative study on Solar, geothermal, wind and biomass energy*. *International Journal of Energy Economics and Policy*

Villarreal, S., Serrano, C., & Quiroga, D. (2021). Evaluación de una propuesta de mitigación del impacto ambiental en la disposición final de las baterías a base de plomo para automóviles. *Revista Ingeniería Univalle*, 23(2027–8284), 1–23.

Yu, Q., Zhao, H., Shen, Y., Li, L., Rao, Z., Shao, G., & Lei, Y. (2023). Recycling of graphite anode from spent lithium-ion batteries: Advances and perspectives. *EcoMat*, 5(4).