

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA



Título del trabajo de grado

“Análisis y Gestión de los Residuos Generados por el Uso Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y Áreas Aferentes”

Victor Alonso Daza Ardila

victor.daza-a@uniminuto.edu.co

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

julio de 2025

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

“Análisis y Gestión de los Residuos Generados por el Uso Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y Áreas Aferentes”

Victor Alonso Daza Ardila
victor.daza-a@uniminuto.edu.co

Monografía presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor(a)
Sergio Andrés Zabala Vargas
Doctor en Tecnología Educativa

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Virtual
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos
julio de 2025

Contenido

Lista de gráficos	5
Lista de tablas.....	6
Lista de Ilustraciones.....	7
Lista de anexos.....	8
Resumen.....	9
Abstract	11
Introducción	13
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 Descripción del problema	15
1.2 La pregunta de investigación.....	16
1.3 Los objetivos de investigación	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 Justificación de la investigación.....	17
2 MARCO DE REFERENCIA.....	20
2.1 Marco de Antecedentes	20
2.2 Marco Teórico.....	23
2.3 Marco normativo.....	25
3 METODOLOGÍA	28
3.1 Enfoque y alcance de la investigación	28
3.1.1 Definición de la población	28
3.1.2 Cálculo y selección de la muestra	30
3.2 Instrumento(s)	31

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

3.3	Descripción de procedimientos	31
3.3.1	Procedimiento revisión bibliográfica	32
3.3.2	Procedimiento Elaboración encuesta	32
3.4	Análisis de información	34
3.4.1	Consideraciones éticas	35
4	HIPÓTESIS	37
4.1	Variables	37
4.1.1	Variable(s) independiente(s)	37
4.1.2	Variable(s) dependiente(s)	38
5	RESULTADOS.....	39
5.1	Presentación de resultados	39
5.1.1	Análisis Documental (Corpus de Conocimiento Documental)	39
5.1.2	Panorama Legal y Político del Manejo de Residuos de Paneles Solares en Colombia 41	
5.1.3	Elaboración de Encuesta	42
5.2	Propuesta al sector	59
5.2.1	Propuesta técnica para la gestión de residuos fotovoltaicos en ecosistemas de páramo.	60
5.2.2	Propuesta de Programa Especial para la Gestión de Residuos Fotovoltaicos en Ecosistemas de Páramo.....	62
5.2.3	Lineamientos para el Gestión Responsable de Residuos Fotovoltaicos en Páramo de Chingaza	63
5.3	Discusión.....	65
6	CONCLUSIONES	68
7	REFERENCIAS.....	71
	Anexos	74

Lista de gráficos

Gráfico 1 Distribución de Género 48
Gráfico 2. PA: Percepción y Actitudes 52

Lista de tablas

Tabla 1 Panorama Legal.....	41
Tabla 2 Datos Personas encuestadas	42
Tabla 3 Distribución Encuesta sobre Gestión de Residuos de Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza.....	44
Tabla 4 IG - Información General de los Encuestados	47
Tabla 5 Análisis encuesta parte (CPF).....	49
Tabla 6 Análisis encuesta parte (PA).....	53
Tabla 7 Análisis encuesta parte (CA).....	56
Tabla 8 Propuesta técnica para la gestión de residuos	60
Tabla 9 Propuesta de Programa Especial para la Gestión de Residuos.....	62
Tabla 10 Propuesta lineamientos para el Gestión Responsable de Residuos Fotovoltaicos	63

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Delimitación área de estudio 29

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

Lista de anexos

Anexo I – Encuesta de Conocimiento Ciudadano

Anexo II – Autorización tratamiento de datos personales Habeas data (Colombia) - Ley Estatutaria 1581 de 2012.

Anexo III - Corpus de Conocimiento

Resumen

La expansión del uso de tecnologías solares fotovoltaicas constituye un avance crucial en la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles. No obstante, su implementación en ecosistemas de alta fragilidad ecológica, como el Páramo de Chingaza, ha evidenciado una problemática ambiental emergente relacionada con la gestión inadecuada de los residuos generados al final de su vida útil. Estos residuos, compuestos por materiales tóxicos y persistentes como plomo, cadmio, silicio y diversos polímeros, presentan un alto potencial de riesgo para la integridad de los suelos, la calidad del agua y la biodiversidad. La particular sensibilidad del páramo caracterizada por su función reguladora del ciclo hídrico y su limitada capacidad de resiliencia frente a contaminantes, convierte cualquier intervención deficiente en una amenaza significativa. Pese a los beneficios energéticos que ofrece la tecnología fotovoltaica y a su creciente adopción en el país, persiste una notable ausencia de normativas específicas, protocolos técnicos diferenciados y mecanismos institucionales que garanticen una gestión ambientalmente segura de estos residuos. Esta carencia normativa y operativa representa un vacío crítico que incrementa los riesgos ecológicos y compromete los principios de sostenibilidad que deberían guiar la transición energética en territorios estratégicos como el de Chingaza.

Este análisis se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, sustentado en el análisis documental de marcos legales, estudios técnicos y ambientales, complementado con instrumentos aplicados a actores locales, técnicos y autoridades. El diseño metodológico permitió no solo identificar los componentes materiales de los paneles, sino también evaluar sus impactos potenciales mediante herramientas de análisis de riesgo ambiental. Se integró información normativa y práctica, contrastando la percepción comunitaria con las exigencias técnicas y regulatorias requeridas para una gestión adecuada.

Como resultado del análisis realizado, se reconoce que la gestión de los residuos generados por los paneles solares en el páramo debe abordarse de manera integral, teniendo en cuenta no solo los aspectos técnicos, sino también sociales, educativos y normativos. Es fundamental que se implementen acciones que permitan prevenir impactos negativos desde el inicio, como campañas de educación ambiental para las comunidades, normas claras que regulen el manejo de estos

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

residuos, y un compromiso real por parte de las empresas que fabrican e instalan esta tecnología. Además, se hace necesario diseñar procedimientos específicos que se ajusten a las condiciones particulares del ecosistema del páramo, crear espacios adecuados para recolectar y almacenar los residuos de manera segura, y fomentar la participación activa de la comunidad local en estos procesos. Solo así será posible avanzar hacia una transición energética responsable, en la que el uso de energías limpias no represente un riesgo para la salud del ambiente. Este análisis propone una serie de orientaciones que buscan construir un modelo de gestión que respete las características ecológicas del páramo y que, al mismo tiempo, contribuya a un desarrollo verdaderamente sostenible.

Palabras clave: Paneles Solares, Materiales Tóxicos, Páramo de Chingaza, Gestión Responsable.

Abstract

The expanding use of solar photovoltaic technologies represents a crucial step forward in the transition toward more sustainable energy systems. However, their implementation in ecosystems with high ecological fragility, such as the Chingaza Páramo, has highlighted emerging environmental issues related to the inadequate management of end-of-life waste. These wastes, composed of toxic and persistent materials such as lead, cadmium, silicon, and various polymers, pose a high potential risk to soil integrity, water quality, and biodiversity. The páramo's particular sensitivity, characterized by its role in regulating the water cycle and its limited resilience to pollutants, makes any inadequate intervention a significant threat. Despite the energy benefits offered by photovoltaic technology and its growing adoption in the country, there remains a notable absence of specific regulations, differentiated technical protocols, and institutional mechanisms to guarantee the environmentally safe management of this waste. This regulatory and operational gap represents a critical gap that increases ecological risks and compromises the sustainability principles that should guide the energy transition in strategic territories like Chingaza.

This analysis was developed using a quantitative approach, supported by documentary analysis of legal frameworks, technical and environmental studies, complemented by tools applied to local stakeholders, technicians, and authorities. The methodological design allowed not only to identify the panels' material components but also to assess their potential impacts using environmental risk analysis tools. Regulatory and practical information was integrated, contrasting community perceptions with the technical and regulatory requirements required for proper management.

As a result of the analysis, it is recognized that the management of waste generated by solar panels in the páramo must be approached comprehensively, taking into account not only technical aspects but also social, educational, and regulatory aspects. It is essential to implement actions to prevent negative impacts from the outset, such as environmental education campaigns for communities, clear standards governing the management of this waste, and a genuine commitment from the companies that manufacture and install this technology. Furthermore, it is necessary to design specific procedures tailored to the particular conditions of the páramo

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

ecosystem, create adequate spaces for safe collection and storage of waste, and encourage the active participation of the local community in these processes. Only in this way will it be possible to move toward a responsible energy transition, in which the use of clean energy does not pose a risk to environmental health. This analysis proposes a series of guidelines that seek to build a management model that respects the ecological characteristics of the páramo and, at the same time, contributes to truly sustainable development.

Keywords: Solar Panels, Toxic Materials, Chingaza Moor, Responsible Management

Introducción

Cada vez es más común ver paneles solares instalados en techos, campos abiertos o zonas rurales. Esto sucede porque muchas personas, empresas y gobiernos están apostando por energías limpias que ayuden a reducir la contaminación del planeta. Una de las tecnologías más utilizadas para esto es la energía solar fotovoltaica, que permite convertir la luz del sol en electricidad. Sin embargo, pocas veces se habla de lo que sucede cuando estos paneles llegan al final de su vida útil y se convierten en residuos.

Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y la Agencia Internacional de Energía (IEA-PVPS), para el año 2050 podrían acumularse más de 78 millones de toneladas de residuos de paneles solares en todo el mundo (IRENA & IEA-PVPS, 2016). Esto significa que, si no se manejan correctamente, estos residuos podrían causar graves problemas ambientales, ya que contienen materiales como plomo y cadmio que pueden contaminar el suelo y el agua (Kusch & Helbig, 2022).

En Colombia, el uso de paneles solares ha crecido rápidamente, pero todavía no existen normas claras ni sistemas adecuados para manejar estos residuos, sobre todo en lugares sensibles como los páramos. Un caso especial es el del Páramo de Chingaza, una zona muy importante porque allí nacen fuentes de agua que abastecen a millones de personas. Sin una buena gestión, los residuos de los paneles podrían dañar este ecosistema tan frágil (Rodríguez & Salinas, 2022).

Esta investigación se enfoca en analizar este problema: ¿qué pasa con los residuos de paneles solares instalados en el Páramo de Chingaza?, ¿cómo se pueden manejar de forma segura para que no afecten la naturaleza ni la salud de las personas? El objetivo es proponer ideas y soluciones que permitan hacer un uso responsable de esta tecnología sin poner en riesgo el ecosistema.

El documento está dividido en cinco partes. Primero, se explica por qué es importante tratar este tema y cuál es el problema. Luego, se presentan algunos estudios previos y conceptos clave que ayudan a entender la situación. En la tercera parte se describe cómo se hizo la investigación,

incluyendo encuestas a personas de la zona. En la cuarta parte se muestran los resultados, tanto del análisis documental como de las respuestas de la comunidad. Por último, se proponen estrategias para mejorar la gestión de estos residuos en el futuro. Este análisis busca que más personas conozcan los riesgos que pueden traer los residuos solares si no se manejan bien, pero también muestra que es posible encontrar soluciones que protejan el medio ambiente y apoyen el uso responsable de energías limpias.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La transición global hacia fuentes de energía renovable ha impulsado una expansión significativa de la energía solar fotovoltaica. Sin embargo, este crecimiento conlleva desafíos ambientales, especialmente en la gestión de residuos de paneles solares al final de su vida útil. Se estima que para el año 2050, los residuos acumulados de paneles fotovoltaicos podrían alcanzar entre 60 y 78 millones de toneladas a nivel mundial. Estos residuos contienen materiales potencialmente peligrosos, como plomo y cadmio, que, si no se gestionan adecuadamente, pueden contaminar el suelo y los recursos hídricos, esto de acuerdo con lo planteado por (Kusch & Helbig, 2022). Además, la falta de estandarización en la composición de los paneles solares dificulta los procesos de reciclaje, ya que diferentes tecnologías requieren métodos específicos para su tratamiento. Esta diversidad en los materiales complica la implementación de soluciones de reciclaje eficientes y sostenibles a escala global.

El uso de paneles solares por sí solo no genera directamente cambios significativos en el clima o en los patrones ecohidrológicos de una región como el páramo de Chingaza, a menos que esté vinculado a transformaciones de uso del suelo, infraestructura o actividad humana. Sin embargo, se ha evidenciado que puede ser un indicador indirecto de cambios en cuanto una mayor presencia humana (viviendas, turismo, instalaciones técnicas), generando Cambio en patrones de energía como lo es la transición a energías limpias que pueden estar ligada a políticas de conservación o desarrollo sostenible.

En Colombia, el impulso hacia la energía solar ha llevado a un aumento significativo en la instalación de sistemas fotovoltaicos, particularmente en regiones con altos niveles de irradiación solar como La Guajira y el Caribe. No obstante, este crecimiento acelerado no ha estado acompañado por un desarrollo proporcional en la gestión de los residuos que estos sistemas generan al final de su vida útil. Si bien se han iniciado algunas alianzas, como el acuerdo entre LONGi y OCADE S.A.S. para implementar procesos de reciclaje de paneles solares, la infraestructura necesaria para una gestión integral aún es limitada (Morales, 2022). La ausencia de una normativa específica y de políticas claras respecto al manejo de residuos fotovoltaicos dificulta la trazabilidad y el reciclaje de estos materiales, lo que puede traducirse en prácticas

inadecuadas de disposición final, con riesgos asociados a la contaminación del suelo y el agua por sustancias tóxicas presentes en algunos componentes de los paneles (García & López, 2021). Además, la falta de conciencia y de formación técnica en esta área representa una barrera para establecer un modelo de economía circular que permita recuperar materiales valiosos como el silicio, la plata o el aluminio, presentes en los módulos solares (Piñeros Huertas, F. S., & Cepeda Triana, J. E. (2023). Por tanto, es urgente fortalecer la legislación ambiental en torno a este tipo de residuos y fomentar el desarrollo de capacidades técnicas e institucionales para su manejo sostenible en el contexto colombiano.

La fragilidad ecológica del páramo hace que incluso niveles bajos de contaminación, derivados de metales pesados presentes en los módulos fotovoltaicos como el plomo, cadmio y selenio, puedan afectar gravemente la calidad del agua y alterar los delicados equilibrios ecológicos del ecosistema (Rodríguez & Salinas, 2022). La falta de estrategias específicas para la gestión de residuos de paneles solares en esta zona podría comprometer la calidad del agua y la biodiversidad del área, Por ello, es fundamental establecer protocolos diferenciados de gestión de residuos fotovoltaicos en ecosistemas vulnerables y avanzar hacia políticas integrales de sostenibilidad energética que prioricen la conservación de estos ecosistemas

1.2 La pregunta de investigación

¿Cómo puede una propuesta de estrategias para la adecuada disposición final de residuos fotovoltaicos asegurar una gestión sostenible en el Páramo de Chingaza, teniendo en cuenta su vulnerabilidad ecológica y la necesidad de conservación del ecosistema?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Identificar las problemáticas relacionadas con la disposición final de los residuos generados por el uso de paneles fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y sus áreas aledañas, con el fin de establecer estrategias que respondan a su fragilidad ecológica y promuevan una gestión sostenible.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar las características y composición de los residuos generados por los paneles fotovoltaicos, evaluando su potencial de riesgo ambiental en ecosistemas de páramo como Chingaza.

Analizar el marco legal vigente, las políticas públicas y las prácticas actuales a nivel técnico y diferentes metodologías utilizadas en Colombia relacionadas con el manejo de residuos de paneles solares, con especial atención a su pertinencia en entornos ambientales vulnerables.

Diseñar propuestas y directrices orientadas a una gestión responsable de los residuos fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza, con el fin de reducir riesgos ecológicos y fomentar la preservación del ecosistema.

1.4 Justificación de la investigación

El crecimiento exponencial de las energías renovables, especialmente de la energía solar fotovoltaica, es una de las respuestas más relevantes frente a la crisis climática global. Sin embargo, este avance tecnológico trae consigo nuevos retos ambientales, entre los cuales destaca la gestión adecuada de los residuos de paneles solares al final de su vida útil. Según estimaciones, para el año 2050 se podrían acumular varios millones de toneladas de residuos fotovoltaicos en el mundo, compuestos por materiales como silicio, vidrio, aluminio y metales pesados como plomo, cadmio y selenio, los cuales representan un riesgo potencial para el ambiente y la salud humana si no son manejados adecuadamente (Silva García, L. M. (2024).

El incremento en la instalación de sistemas solares fotovoltaicos en Colombia, particularmente en regiones el páramo de Chingaza y sus áreas aferentes, plantea la necesidad urgente de implementar un sistema estructurado y responsable para la gestión de estos equipos al final de su vida útil. La ausencia de procesos definidos para su disposición, considerando que algunos de sus componentes pueden clasificarse como residuos peligrosos (RESPEL. Presidencia de la Republica, Decreto 4741 de 2005), representa un potencial riesgo tanto para el medio ambiente como para la salud pública.

En el contexto colombiano, aunque el país ha impulsado el desarrollo de proyectos de energía solar, especialmente en regiones como La Guajira y el Caribe, la infraestructura, normativa y prácticas para la gestión integral de estos residuos aún son incipientes (Moreno Correa, A. P. (2022). La ausencia de políticas claras, la falta de conciencia técnica y la carencia de sistemas de reciclaje para paneles solares limitan la implementación de una economía circular, lo que podría generar impactos negativos a largo plazo (García & López, 2021). En zonas ambientalmente sensibles como el Páramo de Chingaza, estos desafíos adquieren una dimensión crítica: la introducción de tecnologías como los paneles solares debe considerar no solo los beneficios de la generación de energía limpia, sino también los riesgos asociados a la disposición inadecuada de sus residuos, que podrían afectar la calidad del agua, el suelo y la biodiversidad de este ecosistema estratégico (Rodríguez & Salinas, 2022).

La transición hacia fuentes de energía renovable es una estrategia clave para mitigar el cambio climático y promover la sostenibilidad ambiental. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa limpia y eficiente. Sin embargo, su implementación en ecosistemas sensibles, como los páramos andinos, plantea desafíos significativos que requieren una evaluación detallada.

Desde el ámbito académico, el manejo de los residuos que dejan los paneles solares al final de su vida útil es un tema nuevo que necesita más estudio y soluciones bien pensadas, especialmente en lugares tan delicados como los páramos. Este asunto no solo requiere entender qué tipo de materiales se desechan y cómo tratarlos correctamente, sino también unir el conocimiento científico con las acciones que se toman para proteger el medio ambiente. Desde el lado social, es importante que las comunidades cercanas a estos proyectos conozcan los posibles impactos y participen en las decisiones que se tomen sobre su territorio. Para que el cambio hacia energías limpias sea realmente beneficioso, debe ir acompañado de educación, participación y apoyo institucional. Como lo plantea la UNESCO (2021), la ciencia debe estar al servicio de la sociedad y del ambiente, ayudando a tomar mejores decisiones.

Esta investigación surge de la necesidad de abordar esta problemática desde un enfoque preventivo y propositivo, con el fin de contribuir al desarrollo de soluciones sostenibles que permitan mitigar los impactos de la disposición de residuos fotovoltaicos en ecosistemas frágiles como el Páramo de Chingaza. Se plantea analizar las características de estos residuos, identificar

vacíos normativos y proponer estrategias de manejo responsables, con el objetivo de fomentar la preservación ambiental y garantizar la sostenibilidad de las iniciativas de energía solar en el país. De este modo, la investigación no solo busca generar conocimiento técnico, sino también fortalecer la toma de decisiones en políticas públicas y promover una transición energética responsable, alineada con la conservación de los ecosistemas estratégicos de Colombia.

2 MARCO DE REFERENCIA.

2.1 Marco de Antecedentes

La búsqueda de información utilizada en esta revisión estuvo centrada en la identificación de trabajos relevantes en torno a la transición de energías renovables, gestión y disposición de Residuos peligrosos (Paneles fotovoltaicos), la recopilación de la información durante la última década, permiten comprender y tener una visión integral de las tecnologías, metodologías y estrategias empleadas para mejorar la gestión de residuos de paneles fotovoltaicos, ofreciendo valiosos aportes para el desarrollo de la investigación enfocada en el Páramo de Chingaza y áreas aledañas.

Thenakis y Kim (2014) analizan en su estudio los aspectos críticos del ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos, con especial énfasis en la generación de residuos y su gestión al final de la vida útil. El artículo destaca que, si bien la energía solar es una alternativa limpia frente a los combustibles fósiles, los residuos generados por los módulos fotovoltaicos como vidrio, plomo, cadmio y polímeros pueden representar riesgos ambientales si no se gestionan de manera adecuada. Los autores proponen el desarrollo de sistemas de reciclaje específicos y políticas de responsabilidad extendida del productor, además de modelos de economía circular que permitan recuperar materiales valiosos. También se plantea la necesidad de integrar regulaciones más estrictas y fomentar el diseño ecológico de los paneles, para reducir el impacto ambiental desde su fabricación hasta su disposición final.

El estudio realizado por Bjørk, R., & Nielsen, K. K. (2015). Y titulado The performance of a combined solar photovoltaic (PV) and thermoelectric generator (TEG) system. analiza el rendimiento de un sistema combinado de paneles solares fotovoltaicos (PV) y generadores termoeléctricos (TEG). Se evaluaron cuatro tipos de paneles comerciales: silicio cristalino (c-Si), silicio amorfo (a-Si), seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS) y telurio de cadmio (CdTe), junto con un TEG de telurio de bismuto. Los resultados indican que, en general, la integración de TEG con paneles PV no mejora significativamente la eficiencia del sistema debido a la baja eficiencia de los TEG y al aumento de temperatura que afecta negativamente al rendimiento de los paneles. Sin embargo, en el caso específico de los paneles de silicio amorfo, se observó una ligera mejora

en el rendimiento al combinarse con TEG. Este estudio resalta la importancia de considerar las características térmicas y de eficiencia al diseñar sistemas híbridos para optimizar la generación de energía y minimizar los residuos.

De igual manera se resalta el informe conjunto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) y el Programa de Sistemas Fotovoltaicos de la Agencia Internacional de Energía (IEA-PVPS), IRENA & IEA-PVPS. (2016). End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. International Renewable. Ya que presenta una proyección detallada sobre la gestión de residuos de paneles solares fotovoltaicos al final de su vida útil. Se estima que para 2050, los residuos de paneles podrían alcanzar los 78 millones de toneladas a nivel mundial. El estudio destaca que, si se reciclan adecuadamente, estos residuos podrían generar un valor económico superior a los 15.000 millones de dólares, al recuperar materiales como vidrio, aluminio y silicio. Además, se enfatiza la necesidad de establecer marcos regulatorios específicos, ampliar la infraestructura de reciclaje y fomentar la innovación tecnológica para manejar eficientemente estos residuos. La Unión Europea se menciona como pionera en la implementación de normativas específicas para el reciclaje de paneles solares, exigiendo a los productores financiar la recogida y reciclaje de los mismos.

Recyclia & Recyberica Ambiental. (2017). En su estudio El reciclaje de paneles fotovoltaicos permite recuperar el 88% de sus materiales, en donde se enfatiza la importancia de procesos adecuados para evitar la liberación de materiales contaminantes como el telurio de cadmio y el dióxido de silicio. La investigación subraya la necesidad de tecnologías de tratamiento eficientes para maximizar la recuperación y minimizar los impactos ambientales.

Con Respecto a lo informado por, Ramírez Agudelo, A. (2018) en su trabajo de grado Análisis y propuestas para la disposición final de paneles solares, considera la situación de Colombia respecto a la disposición final de paneles solares fotovoltaicos, identifica la falta de infraestructura y normativa específica para la gestión de estos residuos, lo que podría generar problemas ambientales y pérdida de oportunidades en economía circular, propone que Colombia adopte estrategias de países como Alemania, España y Reino Unido, adaptándolas a su contexto nacional.

Por otro lado, García, N. (2022) en su artículo “Usar y Tirar” aborda la necesidad de avanzar hacia la sostenibilidad mediante la transición a energías renovables y la circularidad de los materiales. Se destaca el desarrollo de una planta de reciclaje de paneles fotovoltaicos en Teruel,

capaz de recuperar hasta el 96% de sus materiales. Este modelo económico circular y descentralizado busca optimizar el uso y reutilización de recursos, alineándose con las exigencias de la Unión Europea para lograr la neutralidad climática en 2050.

así mismo, Esteban-Amaro, R., Lengua, I., & Estellés Miguel, S. (2022). En su estudio, Sostenibilidad en la gestión de residuos de paneles solares en España, se centran en los procedimientos existentes para la recuperación de materiales de paneles solares en España, analizan métodos mecánicos, químicos y térmicos, destacando que cada uno presenta inconvenientes dependiendo de la composición de los residuos, enfatizan la necesidad de optimizar estos procesos para minimizar los impactos ambientales y mejorar la eficiencia en la recuperación de materiales valiosos.

También es importante resaltar el trabajo de grado de Gualdrón Rodríguez, N. (2023). Propuesta de línea base para aprovechar residuos provenientes de paneles solares fotovoltaicos por Enel Colombia, ya que Este proyecto de investigación propone una línea base para la gestión adecuada de los paneles solares fotovoltaicos al final de su vida útil en Colombia, específicamente en las operaciones de Enel Colombia. Se busca aportar soluciones a la problemática de la responsabilidad extendida del productor, proponiendo alternativas para la contaminación por residuos eléctricos y fomentando la construcción de nuevos parques fotovoltaicos.

En el Estudio técnico y económico sobre posibles técnicas de reciclaje de paneles solares fotovoltaicos a implementar en Chile, Quinio Palta, J. L. (2024), analiza posibles técnicas de reciclaje de paneles solares fotovoltaicos a implementar en Chile. Se propone un sistema de reciclaje para módulos fotovoltaicos, sugiriendo una planta con un flujo de 1.300 kg/h. Se realiza un estudio técnico y económico para evaluar su viabilidad, confirmando que el proyecto es rentable y destacando la importancia de métodos mecánicos para maximizar la recuperación de materiales.

Es importante también resaltar a la empresa Stokkermill (2024), Reciclaje de paneles solares: Mejores métodos para la recuperación de paneles solares. destacando tecnologías mecánicas y electromecánicas que permiten recuperar más del 98% de los materiales. Se enfatiza la eficiencia de sistemas como la separación densimétrica, electrostática y el reconocimiento óptico,

optimizados mediante software inteligente y algoritmos de autoaprendizaje basados en inteligencia artificial.

El artículo presentado por Alusín Solar. (2024). El futuro del reciclaje de paneles solares: innovaciones y retos en la gestión de residuos fotovoltaicos, discute las innovaciones y retos en la gestión de residuos fotovoltaicos, destacando tecnologías como la trituración y separación electrostática, métodos térmicos para descomposición de encapsulantes, sistemas de fresado y succión, y reciclaje químico. Se subraya la importancia de estas tecnologías para maximizar la recuperación de materiales y minimizar los impactos ambientales.

Por otro lado, es importante resaltar el artículo de Freddy, J. (2024). Manejo Integral de Residuos Generados por los paneles solares fotovoltaicos en Colombia, pues plantea una investigación documental y monográfica sobre los principales componentes de fabricación de los paneles solares más utilizados a nivel mundial, así como los residuos que generarían y su grado de toxicidad. Se concluye que, aunque la mayor parte de los residuos es aprovechable, existe una porción conformada por compuestos tóxicos que pueden generar lixiviados si no se gestionan adecuadamente

2.2 Marco Teórico

El desarrollo de este marco teórico, se basa en la integración de conceptos claves para el entendimiento gestión de los residuos generados por el uso paneles fotovoltaicos.

Páramos: Ecosistemas Estratégicos Los páramos son ecosistemas de alta montaña presentes en regiones tropicales, especialmente en la cordillera de los Andes. Se caracterizan por su capacidad de capturar, almacenar y regular agua, desempeñando un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Son hábitats frágiles, sensibles a perturbaciones como la contaminación o cambios en el uso del suelo, y albergan una alta biodiversidad endémica. La preservación de estos ecosistemas es esencial para garantizar la seguridad hídrica de las poblaciones que dependen de ellos (Hofstede et al., 2014).

Parque Nacional Natural de Chingaza (PNN Chingaza) Esta área protegida cuenta con un área de páramo cercana al 33% (76.600 ha), 47% de bosque andino, 15% de bosque alto andino, 2% de vegetación secundaria, 1% de superficie de agua, 1% de pastos y ganado y 1% mosaico de

áreas intervenidas. (Ramos, P. E. T., & Moreno, J. A. A., 2020). Una de las causas principales de su creación fue la de administrar y conservar un ecosistema, que brinda aproximadamente el 80% de agua a la ciudad de Bogotá y de algunos municipios aledaños (10 millones de personas) (Schmidt, et al. 2012).

Panel Solar Fotovoltaico Un panel solar fotovoltaico es un dispositivo compuesto por celdas solares, generalmente hechas de silicio, que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Este proceso ocurre cuando la radiación solar excita los electrones en las capas del material semiconductor, generando una corriente eléctrica continua. Los paneles suelen estar encapsulados en vidrio y materiales plásticos para proteger las celdas de la humedad y los daños mecánicos. Su vida útil promedio es de 25 a 30 años, tras lo cual pueden convertirse en residuos que requieren una adecuada gestión (Quintana, 2019).

Hay tres tipos de paneles solares que actualmente se utilizan en Colombia y en las áreas aferentes al Paramo de Chingaza.

Paneles solares monocristalinos: Son los más utilizados hoy en día, el material de las células solares de silicio puro creadas a partir de un lingote del cual se cortan obleas de este material. Este tipo de panel tiene la mayor eficiencia comparado con los otros tipos de panel solar y mayor vida útil. Green, M. A. (2015).

Paneles solares policristalinos: Las células solares fabricadas de cristales de silicio no alineados tienen una eficiencia menor y ocupan más espacio para producir la misma cantidad de energía que un panel monocristalino y menor vida útil. UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). (2016)

Paneles solares de película delgada: Las células solares utilizan una capa de silicio más delgada y es combinada con más materiales algunos tóxicos como el cadmio y telurio. Su costo es más elevado que los demás. La vida útil es la menor de los otros dos paneles, Ramírez Ramírez, J. C. (2019).

Residuos de Paneles Fotovoltaicos Los residuos de paneles fotovoltaicos son aquellos materiales desechados provenientes de módulos solares que han llegado al final de su vida útil, ya sea por degradación, daño, obsolescencia tecnológica o fallas técnicas. Estos residuos incluyen una variedad de materiales como vidrio, aluminio, semiconductores, plásticos y metales pesados, algunos de los cuales pueden ser reciclables o potencialmente peligrosos si no se gestionan adecuadamente de igual manera los residuos de paneles fotovoltaicos consisten en módulos solares

que han alcanzado el fin de su vida útil y deben ser tratados como residuos electrónicos, debido a la presencia de materiales como silicio, plomo, cadmio y otros compuestos que requieren un manejo especializado.

Economía Circular La economía circular es un modelo de producción y consumo que busca maximizar la eficiencia de los recursos, reducir la generación de residuos y fomentar la reutilización, reciclaje y recuperación de materiales. En el caso de los paneles solares, la economía circular propone estrategias para recuperar componentes valiosos como el vidrio, aluminio, plata y silicio, contribuyendo a mitigar los impactos ambientales y mejorar la sostenibilidad de la energía solar (Kirchherr et al., 2017).

Análisis de Ciclo de Vida (ACV) El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta metodológica que permite evaluar los impactos ambientales de un producto o proceso en todas sus etapas: desde la extracción de materias primas hasta la disposición final. Aplicado a los paneles solares, el ACV ayuda a identificar los principales puntos críticos en términos de consumo de energía, emisiones de CO₂ y generación de residuos, promoviendo decisiones informadas para su diseño, uso y reciclaje (ISO, 2006).

Contaminación por Metales Pesados La contaminación por metales pesados ocurre cuando elementos como plomo, cadmio, arsénico y selenio, presentes en residuos como los paneles solares, se liberan al ambiente, contaminando suelos y cuerpos de agua. Estos metales son persistentes, bioacumulativos y tóxicos para los ecosistemas y la salud humana, pudiendo causar enfermedades crónicas y afectar la biodiversidad (Alloway, 2013).

2.3 Marco normativo

Comentarios Para Colombia el marco legal de temas relacionados con paneles fotovoltaicos o panes solares está enmarcado en lo siguiente normatividad:

Constitución Política de Colombia de 1991; Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

Ley 99 de 1993. Se creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), establece el marco conceptual para la gestión ambiental que promueva el desarrollo sostenible del país bajo responsabilidades el Ministerio del Medio Ambiente. (Congreso de Colombia, 1993).

Decreto 3683 de 2003 Reglamenta el uso racional y eficiente de la energía, de tal manera que se tenga la mayor eficiencia energética para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor y la promoción de fuentes no convencionales de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables. (Ministerio de Minas y Energía, 2003).

Decreto 4741 de 2005: Reglamentación de la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005).

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. (Congreso de la República, 2013).

Ley 1665 de 2013: Aprueba el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), con el que Colombia asume compromisos en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. (Congreso de la República, 2013).

Ley 1715 de 2014: Capítulo IV. Desarrollo y promoción de las fuentes no convencionales de energía renovable. Artículo 19. Desarrollo de la energía solar. (Congreso de Colombia, 2014).
Decreto 284 de 2018: Reglamentar la GIR de los RAEE, para prevenir y minimizar los impactos adversos al medio ambiente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Decreto único reglamentario 1075 de 2015: Título 7A. Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Artículo 2.2.7A.1.1. El presente título tiene por objeto reglamentar la gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), con el fin de prevenir y minimizar los impactos adversos al ambiente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

Resolución 41286 de 2016: Incluye lineamientos en materia de eficiencia energética e incentivos dispuestos por la Ley 1715 de 2014 (Ministerio de Minas y Energía MME, 2016).

Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) de 2017: Marco Estratégico. 4.2.1. Promover la gestión integra de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos(RAEE), armonizando las acciones de los diferentes actores involucrados, las políticas sectoriales y fortaleciendo los espacios de coordinación interinstitucional y de participación ciudadana, para contribuir al desarrollo sostenible. (MADS, 2017).

Acuerdo de Escazú: Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, Colombia ratificó este acuerdo regional sobre el acceso a la información, la participación pública y el acceso a la justicia en asuntos ambientales en América Latina y el Caribe, fortaleciendo la gobernanza ambiental y la protección de los derechos humanos en el contexto de proyectos energéticos (Secretaría General de las Naciones Unidas, 2025).

Normas Técnicas para la Instalación de Paneles Solares: Colombia se rige por las siguientes normas Para garantizar la seguridad y eficiencia en la instalación de sistemas fotovoltaicos. NTC 5899-1 y NTC 5899-2 (2011): Especifican requisitos de seguridad y pruebas para módulos fotovoltaicos. NTC 2883 (2006): Establece requisitos para la calificación del diseño y aprobación del tipo de módulos fotovoltaicos de silicio cristalino. NTC 5464 (2010): Define requisitos para la calificación de módulos fotovoltaicos de película delgada. NTC 5512 (2013): Establece requisitos para módulos fotovoltaicos expuestos a atmósferas y ambientes altamente corrosivos. NTC 2050: Complementa al RETIE, estableciendo estándares técnicos para la instalación y operación de sistemas eléctricos, incluyendo los fotovoltaicos.

3 METODOLOGÍA

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2016), el enfoque cuantitativo permite estudiar fenómenos medibles a través de la recolección sistemática de datos, en donde la orientación metodológica permite obtener información confiable sobre la generación de residuos fotovoltaicos, su potencial de riesgo ambiental y la efectividad de las políticas de manejo, facilitando la formulación de propuestas sustentadas en datos.

3.1 Enfoque y alcance de la investigación

Esta investigación se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, ya que se busca recolectar, analizar e interpretar datos numéricos que permitan identificar y evaluar con precisión las características, volumen y riesgos asociados a los residuos generados por paneles fotovoltaicos instalados en el Páramo de Chingaza y sus áreas aferentes. Este método permitirá establecer relaciones objetivas entre variables ambientales, técnicas y legales, así como sustentar las estrategias propuestas para una gestión adecuada de dichos residuos.

En primer lugar, se describirán las características físicas y químicas de los residuos fotovoltaicos, así como las prácticas actuales de disposición en Colombia. Posteriormente, se propondrán estrategias orientadas a su manejo sostenible en un ecosistema de alta fragilidad ecológica como lo es el páramo. También se evaluarán los riesgos potenciales de estos residuos sobre el entorno natural.

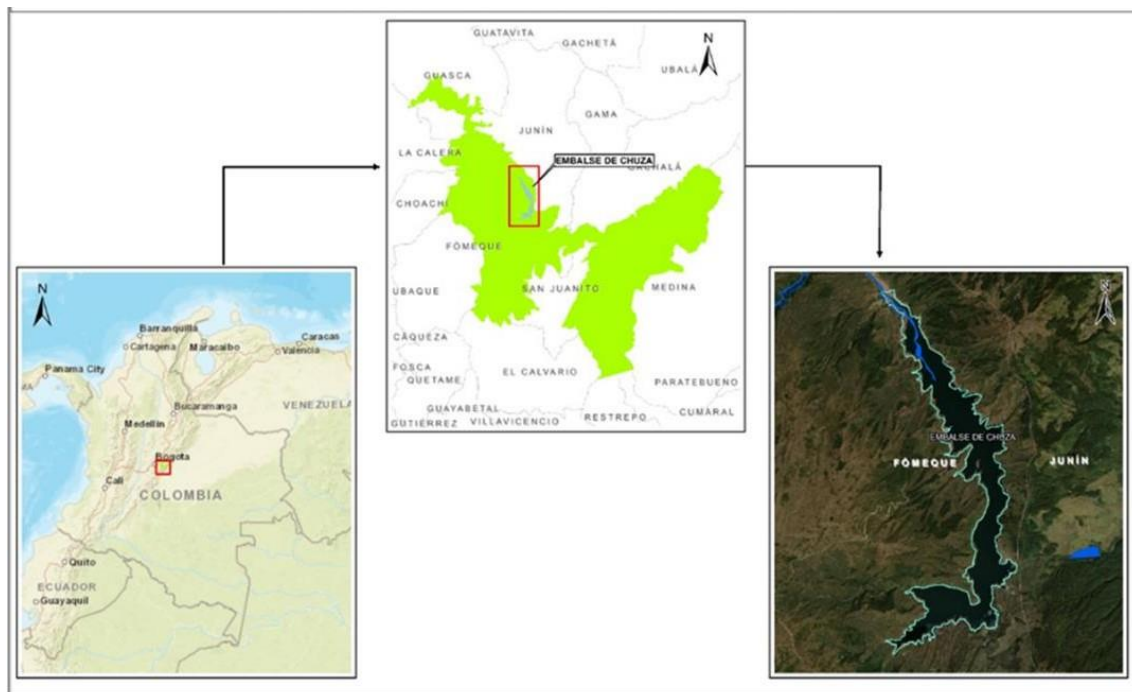
La investigación se enfocará exclusivamente en los residuos derivados del uso de paneles fotovoltaicos: su composición, impactos ambientales, normatividad vigente y prácticas de gestión. No se abarcarán otros tipos de residuos electrónicos o fuentes de energía renovable

3.1.1 Definición de la población

Para el desarrollo del proyecto se delimitó área de estudio en el embalse de Chuza, que se encuentra dentro del Parque Nacional Natural Chingaza se encuentra ubicado en la cordillera Oriental en la región andina en Colombia. Su superficie hace parte de los departamentos de

Cundinamarca y Meta. Fue creado en mayo de 1977 y aprobado por la resolución n.º 154 del 6 de junio del mismo año. Se extiende en las jurisdicciones de los municipios de La Calera, Fómeque, Guasca, San Juanito, y Gachalá., en la siguiente imagen se puede observar el área de estudio.

Ilustración 1 Delimitación área de estudio



Fuente: Elaboración propia

El parque tiene una extensión de 76.600 hectáreas y alturas entre 800 y 4.050 m s. n. m. Su máxima altura se encuentra en la Serranía de Los Órganos, en el cerro San Luis, frontera entre los municipios de Fómeque, San Juanito y El Calvario y entre los departamentos de Cundinamarca y el Meta, (P.N.N. 2025).

La población objeto de estudio está conformada por:

Instalaciones con paneles fotovoltaicos ubicadas en el Páramo de Chingaza y sus áreas aferentes, tanto de carácter público como privado, que estén actualmente en funcionamiento o hayan operado en los últimos años.

Actores clave relacionados con la gestión de residuos fotovoltaicos, incluyendo técnicos ambientales, operadores de sistemas solares, autoridades ambientales locales (como Parques

Nacionales Naturales de Colombia y las CAR), y empresas proveedoras o gestoras de tecnologías solares en la región y personas del común

3.1.2 Cálculo y selección de la muestra

En el marco de esta investigación, de enfoque cuantitativo, se inicia con una fase documental que permite recopilar, examinar e interpretar información proveniente de fuentes escritas, visuales y digitales. Esta etapa resulta fundamental para comprender los fenómenos estudiados, identificar patrones relevantes y extraer datos significativos. En particular, el análisis documental desempeña un rol central en la revisión del marco legal, técnico y contextual relacionado con la gestión de residuos fotovoltaicos en ecosistemas sensibles como el Páramo de Chingaza.

Paralelamente, se ha definido una muestra compuesta por 25 personas seleccionadas intencionadamente, a quienes se les aplicarán encuestas semiestructuradas. La selección se ha realizado procurando una diversidad de roles y niveles de experiencia en los sectores ambiental, energético y de planificación territorial, para garantizar la confiabilidad estadística de los resultados derivados de la encuesta estructurada, se realizará un cálculo del tamaño de muestra basado en la fórmula para poblaciones finitas.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

N: tamaño de la población

Z: valor Z para un nivel de confianza del 95% (1.96)

p: proporción esperada de éxito (0.5)

q: 1 - p (0.5)

e: margen de error aceptable (5%, es decir, 0.05)

$$n = \frac{25 * (1,96)^2 * 0,5 * 0,5}{(100 - 1) * 0,05^2 + (1,96)^2 * 0,5 * 0,5}$$

Por tanto, se considera un tamaño muestral de 24.0 personas, que podrán ser seleccionadas entre líderes comunitarios, técnicos operativos, funcionarios ambientales y residentes locales con conocimiento del uso o presencia de tecnologías solares en sus territorios

3.2 Instrumento(s)

En la investigación realizada se empleó una fase documental (Anexo III - Corpus de Conocimiento) para la evaluación y revisión de literatura científica nacional e internacional relacionada con el uso, gestión y disposición de los paneles fotovoltaicos, partiendo de fichas de análisis documental, que permitieron registrar y sintetizar la información relevante encontrada en diversas fuentes académicas y científicas, permitiendo contextualizar el estado actual y así permitiendo proponer estrategias para la disposición final adecuada de los residuos generados por el uso de paneles fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y áreas aledañas, considerando su fragilidad ecológica y la necesidad de una gestión sostenible

Por otro lado, también se realiza de acuerdo a la población que se localiza en el sector o área aferente, una encuesta detallada en preguntas dirigida a la población de la región, Este cuestionario está diseñado con un total de 20 preguntas con el fin de realizar una evaluación a la población, dividido en tres sectores, Conocimiento básico, Conocimiento técnico-legal y Conocimiento sostenible. (Ver anexo I – Encuesta de Conocimiento Ciudadano), Para asegurar la pertinencia y representatividad de la muestra, se establecieron criterios específicos: los participantes deben residir en la zona de estudio y poseer conocimientos básicos sobre paneles fotovoltaicos, esto con el fin de diseñar propuestas y directrices orientadas a una gestión responsable de los residuos fotovoltaicos.

3.3 Descripción de procedimientos

En el desarrollo de esta investigación se llevó a cabo una revisión bibliográfica, la cual se organizó a través de fichas de análisis documental.

3.3.1 Procedimiento revisión bibliográfica.

Esta revisión se estructuró considerando los siguientes criterios.

Revisión documental técnica de fabricantes: Identifica materiales y componentes (silicio, plomo, cadmio, vidrio, polímeros, etc.), así como también uso de indicadores como frecuencia de temas en legislación, número de normas específicas vs. Generales.

Análisis de contenido: fichas técnicas y estudios ambientales sobre paneles fuera de uso. Estadísticas de residuos electrónicos en Colombia, en especial de residuos peligrosos (datos del Repositorios institucionales de universidades colombianas (UNAD, Universidad Libre, Externado, Distrital), Google Scholar, y fuentes especializadas nacionales como Portafolio).

Aplicación de matrices de riesgo ambiental: como la matriz de Leopold adaptada a residuos fotovoltaicos o métodos cuantitativos de evaluación de impacto (como el método Conesa o el método de puntos de importancia relativa).

Vida útil: Proyección de volúmenes de residuos en escenarios futuros.

Análisis estadístico descriptivo: porcentajes, medidas de tendencia central, para describir hallazgos de encuestas mediante el uso de herramientas como Microsoft Excel y para estimar efectos de aplicación de medidas de gestión

La información recopilada resulta esencial para sustentar procesos de análisis y toma de decisiones informadas en torno a la gestión adecuada de la disposición final de paneles fotovoltaicos. En particular, adquiere relevancia en ecosistemas estratégicos de alta sensibilidad ambiental, como el Páramo de Chingaza y sus áreas circundantes, donde cualquier intervención debe estar respaldada por criterios técnicos, ambientales y normativos que garanticen la protección de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad

3.3.2 Procedimiento Elaboración encuesta

Por otro lado, se usará como instrumento la encuesta, cual está conformada por un cuestionario que contiene un total de 23 preguntas, con el objetivo de obtener información sobre el nivel de conocimiento, percepción y prácticas de la población respecto a los residuos generados por el uso de paneles fotovoltaicos, con el propósito de identificar elementos clave que contribuyan al análisis

y formulación de estrategias de gestión ambiental adecuadas para el Páramo de Chingaza y sus áreas aferentes. Para la selección de los participantes de la encuesta se enfocó a los siguientes criterios:

Personas mayores de 18 años que residan en el área de influencia del Páramo de Chingaza con una antigüedad mínima de 5 años.

Actores vinculados directamente a la instalación, operación, regulación o percepción del uso de paneles solares fotovoltaicos.

Funcionarios de entidades ambientales o empresas relacionadas con la gestión energética o conservación ecosistémica.

Personas menores de edad o sin consentimiento informado.

Habitantes o actores que no tengan conocimiento o relación alguna con los sistemas fotovoltaicos instalados en la región.

La encuesta realizada presencialmente, incluye preguntas cerradas (opciones de respuesta) y abiertas (libres.) debidamente detalladas y enfocadas al Conocimiento sobre Paneles Fotovoltaicos y sus Residuos. (Ver anexo I – Encuesta de Conocimiento Ciudadano), Los respectivos resultados se procesarán y analizarán utilizando la herramienta de Microsoft Excel con el fin de visualizar gráficos y tendencias de forma clara enfocados al uso y percepción de paneles solares, conocimiento o prácticas sobre disposición final, opinión y sugerencias.

Adicionalmente, este análisis servirá como insumo para identificar patrones de conocimiento y comportamiento, lo que permitirá determinar estrategias y formular recomendaciones técnicas orientadas a la gestión integral de los residuos generados por el uso de paneles fotovoltaicos, considerando sus características fisicoquímicas, composición material y el potencial riesgo ambiental que representan en ecosistemas de alta fragilidad como el Páramo de Chingaza.

3.4 Análisis de información

Una vez culminada la aplicación de la encuesta, se procederá con el procesamiento de los datos siguiendo una serie de etapas organizadas que permitirán garantizar la calidad, confiabilidad y utilidad de la información obtenida:

Registro y sistematización de datos: Toda la información recolectada será organizada y registrada en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Las respuestas serán codificadas numéricamente para facilitar su procesamiento estadístico.

Revisión y depuración de información: Con el objetivo de asegurar la integridad de los datos, se llevará a cabo una revisión exhaustiva para identificar posibles errores de digitación, omisiones o inconsistencias. Asimismo, se excluirán los registros que no se ajusten a los criterios de selección establecidos previamente para los participantes.

Análisis descriptivo de los datos: Se aplicarán técnicas estadísticas básicas mediante Excel, tales como el cálculo de frecuencias, proporciones, promedios y distribución de respuestas. Este análisis permitirá evidenciar tendencias generales y comportamientos en relación con el conocimiento, percepción y prácticas ciudadanas sobre la disposición de residuos provenientes de paneles fotovoltaicos.

Representación visual de resultados: A fin de facilitar la interpretación de la información, se elaborarán gráficos ilustrativos (barras, tortas, líneas, entre otros) que permitan visualizar de manera clara y ordenada los hallazgos más significativos. Esta representación gráfica apoyará la comprensión de los niveles de conocimiento, el grado de apropiación de prácticas sostenibles y las opiniones comunitarias frente a los riesgos y desafíos asociados.

Interpretación y análisis relacional: Los resultados se analizarán considerando posibles asociaciones entre variables como edad, nivel educativo, tiempo de residencia y vinculación con el tema energético. Esta etapa permitirá identificar patrones de comportamiento, brechas de conocimiento o necesidades de intervención que guiarán la toma de decisiones.

Elaboración de propuestas y estrategias: Finalmente, con base en la información procesada, se formularán propuestas de gestión ambiental adaptadas al ecosistema del Páramo de Chingaza. Estas estrategias considerarán aspectos como la naturaleza físico-química de los residuos fotovoltaicos, el marco normativo vigente, los riesgos ecológicos identificados y las prácticas observadas en la población local.

3.4.1 Consideraciones éticas

Explique Esta investigación se ajusta a los principios éticos fundamentales que regulan el trabajo con comunidades humanas y la intervención en territorios ambientalmente sensibles, esta investigación estará guiada por principios éticos, especialmente aquellas que involucren seres humanos, para proteger su dignidad, derechos y bienestar, (Hernández et al., 2010).

Todo participante será informado previamente sobre los objetivos del estudio, la naturaleza de su participación, el uso de la información recolectada y su derecho a retirarse del proceso en cualquier momento. Se garantizará la voluntariedad de la participación, mediante la firma (o asentimiento verbal, si corresponde) de un formato de consentimiento informado. Ningún encuestado será obligado ni incentivado de manera indebida a participar.

También se les informara a los participantes que, los datos personales recolectados serán tratados con estricta confidencialidad. Se evitará la recolección de información sensible innecesaria, y toda la información será anonimizada para garantizar que ningún participante pueda ser identificado en los resultados publicados. Los datos serán almacenados en medios seguros y utilizados exclusivamente con fines académicos. (Ver anexo II – Autorización tratamiento de datos personales) - Ley Estatutaria 1581 de 2012. Esta ley fue expedida el 17 de octubre de 2012 por el Congreso de la República de Colombia), en el desarrollo de esta investigación, se respetará en todo momento la integridad, dignidad y opiniones de los participantes en la encuesta, evitando cualquier forma de coerción, discriminación o presión. Se procuró un ambiente seguro y respetuoso durante la aplicación de las encuestas.

Por otro lado, y bastante importante, la presente investigación está enmarcada por el respeto por las comunidades y su entorno, por tal razón se adoptará una actitud de respeto cultural y territorial

hacia las comunidades rurales, campesinas o indígenas del área de influencia del páramo de Chingaza. La investigación no buscará imponer visiones externas ni interferir con dinámicas locales, sino más bien recoger la percepción de los actores involucrados con base en un diálogo abierto, transparente y respetuoso.

Adicional de requerirse algún tipo de autorización institucional, se gestionará el permiso de ingreso o recolección de información en áreas protegidas, en caso de ser necesario, ante entidades como:

Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN Chingaza)

Corporaciones autónomas regionales (CAR Cundinamarca, Corpoguavio, Corporinoquia

Autoridades ambientales locales, etc)

4 HIPÓTESIS

La falta de un sistema integral de gestión y de normativas específicas para la disposición final de residuos generados por el uso de paneles fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y sus áreas aferentes, junto con el desconocimiento sobre la composición potencialmente tóxica de estos residuos (como metales pesados y vidrios tratados), constituye un riesgo significativo para la estabilidad ecológica de este ecosistema. Este riesgo se ve agravado por la fragilidad intrínseca del páramo, la limitada fiscalización ambiental en zonas de alta montaña, y la ausencia de estrategias adaptadas a contextos ecológicos sensibles. Por lo tanto, es urgente el diseño e implementación de directrices sostenibles, pertinentes al territorio, que garanticen la protección del ecosistema y su resiliencia a largo plazo.

Se espera que, mediante la implementación de estrategias de gestión sostenible y el fortalecimiento del marco normativo, se reduzcan estos impactos, promoviendo la conservación del ecosistema y el aprovechamiento responsable de tecnologías renovables.

4.1 Variables

4.1.1 Variable(s) independiente(s)

En Ausencia de un marco normativo y un sistema integral de gestión para la disposición final de residuos provenientes de paneles fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y sus zonas aledañas, lo que representa un vacío en la planificación ambiental ante el crecimiento de tecnologías renovables en ecosistemas estratégico.

La gestión de residuos provenientes de paneles fotovoltaicos en Colombia, particularmente en ecosistemas altamente vulnerables como el Páramo de Chingaza, enfrenta una seria limitación debido a la inexistencia de un sistema integral que contemple lineamientos claros, planes de manejo contextualizados, mecanismos efectivos de control y criterios técnico-legales para su disposición final. Esta carencia normativa se traduce en la ausencia de procesos estandarizados para el reciclaje, reusó o confinamiento seguro de estos materiales, así como en la falta de estrategias de monitoreo y fiscalización acorde con las particularidades ecológicas del páramo.

En consecuencia, los distintos actores involucrados empresas, comunidades locales y entidades de control, operan sin un referente técnico o legal sólido, lo que favorece la implementación de prácticas inadecuadas como el abandono, la acumulación sin control o la disposición en sitios ambientalmente inapropiados.

4.1.2 Variable(s) dependiente(s)

En Riesgo ecológico latente derivado de la acumulación y disposición inadecuada de residuos de paneles fotovoltaicos en el ecosistema del Páramo de Chingaza, lo que podría generar impactos negativos sobre su equilibrio biológico, la calidad del suelo y del agua, y la integridad de sus especies endémicas y funciones ecosistémicas del Páramo de Chingaza.

El riesgo ecológico se refiere al potencial de los residuos de paneles solares (que pueden contener metales pesados como plomo, cadmio, selenio, entre otros, así como vidrio tratado y materiales compuestos) de contaminar suelos, aguas, fauna y flora en un ecosistema altamente sensible como el páramo. La acumulación de estos residuos, sin una gestión adecuada, puede conducir a procesos de lixiviación, liberación de contaminantes, afectación de la calidad del agua (clave para los acueductos que dependen de Chingaza), alteraciones en la biodiversidad y pérdida de servicios ecosistémicos.

El nivel de riesgo ecológico es consecuencia directa de las decisiones y prácticas relacionadas con la gestión de estos residuos: si no hay un sistema normativo adecuado (variable independiente), el riesgo de afectación aumenta. Esta variable es observable y medible mediante indicadores como concentración de metales pesados en suelos y aguas, presencia de residuos abandonados, degradación de hábitats y cambios en la composición de especies).

5 RESULTADOS

5.1 Presentación de resultados

Partiendo del análisis exhaustivo de la literatura a nivel nacional y regional se identifican los siguientes resultados obtenidos.

5.1.1 Análisis Documental (Corpus de Conocimiento Documental)

Para dicho análisis se desarrolló un Corpus de Conocimiento el cual busca: Identificar las características y composición de los residuos generados por los paneles fotovoltaicos, evaluando su potencial de riesgo ambiental en ecosistemas de páramo o ecosistemas similares, teniendo en cuenta aspectos como:

Identificación de Componentes y Riesgos Ambientales

A partir de la revisión técnica de fichas de fabricantes y estudios ambientales, se identificó que los paneles fotovoltaicos contienen materiales como silicio, plomo, cadmio, vidrio, y polímeros, los cuales pueden clasificarse como residuos peligrosos al finalizar su vida útil.

El análisis de contenido reveló que, si bien existen normas generales para residuos peligrosos (Decreto 1076 de 2015, Resolución 1362 de 2007), no hay una normativa específica en Colombia para residuos de paneles solares, lo que evidencia un vacío normativo.

La frecuencia de temas sobre residuos fotovoltaicos en la legislación es baja en comparación con otros residuos como los electrónicos en general.

Estadísticas de Residuos Fotovoltaicos en Colombia

A partir de datos de Repositorios institucionales de universidades colombianas (UNAD, Universidad Libre, Externado, Distrital), Google Scholar, y fuentes especializadas nacionales, se evidenció:

La falta de un registro diferenciado de residuos de paneles fotovoltaicos, lo cual dificulta la trazabilidad y el control.

Se estima que los volúmenes de residuos electrónicos peligrosos (RAEE) crecen a una tasa anual superior al 8%, lo que sugiere que los residuos fotovoltaicos seguirán esta tendencia, especialmente por el crecimiento del mercado solar.

Evaluación de Impactos Ambientales: Aplicación de Matrices de Riesgo.

El uso de la Matriz de Leopold adaptada y métodos cuantitativos como el método Conesa permitió identificar los principales impactos potenciales:

Riesgo alto en la contaminación de suelos y aguas por lixiviados de metales pesados (Cd, Pb).

Impactos moderados en emisiones de CO₂ durante procesos de transporte y disposición final.

Riesgo bajo, pero no despreciable, por acumulación de residuos no peligrosos (vidrio, plásticos).

La búsqueda de información se realizó en repositorios institucionales de universidades colombianas (UNAD, Universidad Libre, Externado, Distrital), Google Scholar(Académico), y fuentes especializadas nacionales como Portafolio ver (Anexo III - Corpus de Conocimiento), teniendo en cuenta los siguientes Criterios de inclusión:

Publicaciones entre 2015 y 2024

Estudios aplicados en contexto colombiano y algunos estudios a nivel internacional teniendo en cuenta información plasmada en matrices de carácter ambiental.

Enfoque en residuos de paneles solares fotovoltaicos

Identificación de composición y/o riesgos ambientales

Acceso completo a documento o fuente verificada

Y, teniendo en cuenta las siguientes Palabras clave de la búsqueda.

Residuos paneles solares Colombia.

Riesgos ambientales residuos fotovoltaicos.

Paneles solares páramos

Disposición final residuos tecnológicos Colombia

Residuos fotovoltaicos impacto ambiental

5.1.2 Panorama Legal y Político del Manejo de Residuos de Paneles Solares en Colombia

De acuerdo con el análisis realizado se puede identificar que en Colombia no tiene un marco normativo específico para residuos de paneles solares, la gestión actual depende de normativas generales sobre RAEE y no hay diferenciación normativa para ecosistemas vulnerables como se evidencia a continuación:

Tabla 1 Panorama Legal.

Categoría	Descripción general	Entornos vulnerables
Marco legal vigente	<ul style="list-style-type: none"> - Ley 1715 de 2014: Promueve energías renovables, sin abordar residuos post-vida útil. - Decreto 1076 de 2015: Lineamientos generales sobre residuos peligrosos. - Decreto 2412 de 2018: Gestión de RAEE, sin mención clara a paneles solares. 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay regulación específica para ecosistemas frágiles. - Ausencia de protocolos diferenciados para páramos o zonas hídricas.
Políticas públicas	<ul style="list-style-type: none"> - Enfoque fragmentado basado en normativas de RAEE. - Iniciativas privadas (Enel) promueven REP. - El PND 2022–2026 menciona transición energética, pero no gestión de residuos solares. 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de políticas concretas para zonas vulnerables. - Sin incentivos ni recolección diferenciada en páramos.

Prácticas actuales	<ul style="list-style-type: none"> - No existen rutas ni plantas especializadas para residuos solares. - Pocos planes piloto privados de reciclaje. - Aún no hay presión por volumen de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo de disposición inadecuada en áreas frágiles. - Carencia de infraestructura ambiental adaptada.
--------------------	--	--

Fuente. Elaboración Propia. (2025).

5.1.3 Elaboración de Encuesta

Por otro lado, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta realizada y estructura de la siguiente manera, la cual contiene 23 preguntas.

Título: *Encuesta sobre Gestión de Residuos de Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza.*

Descripción: Esta encuesta está dirigida a personas mayores de 18 años y busca recopilar información sobre el conocimiento y comportamiento respecto a la disposición de residuos de paneles solares en el Páramo de Chingaza y áreas aledañas. Sus respuestas serán utilizadas con fines académicos y contribuirán al diseño de estrategias para una gestión ambiental responsable en ecosistemas de alta fragilidad ecológica.

La encuesta realizada se ejecutó a 24 personas de diferente edad y diferente genero de sexo, las cuales se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 2 Datos Personas encuestadas.

N°	Nombre Persona Encuestada	Genero	Edad	Datos de Contacto		Quien elaboro encuesta	Nivel Educativo
		Masculino M/ Femenino F		Móvil	Correo electrónico		
1	Edilma Guzmán	F	63	3133613606	NA	Victor Daza	Primaria
2	Luis Rodríguez	M	64	3142436584	NA	Victor Daza	Primaria

3	Diego Fernando González	M	39	3143347176	dfg_13@hotmail.com	Victor Daza	Profesional
4	Jorge Andrés Gómez	M	38	3006761910	Jagomezgarzon@gmail.com	Victor Daza	Profesional
5	Adrián Devia	M	43	3043418307	NA	Victor Daza	Secundaria
6	Daniela Arcila	F	32	3162364419	NA	Victor Daza	técnico/tecnológico
7	William Martínez	M	38	3114069122	NA	Victor Daza	Secundaria
8	Diana Marcela Realpe	F	25	3043938289	NA	Victor Daza	técnico/tecnológico
9	Nelcy Sánchez	F	41	3105717170	NA	Victor Daza	Secundaria
10	Melody Arteaga	F	52	3178084332	NA	Victor Daza	Profesional
11	Leidy Huertas	F	39	3204418463	NA	Victor Daza	técnico/tecnológico
12	Miguel Ángel Torres	M	19	3024987150	NA	Victor Daza	Secundaria
13	Jeimmy Sánchez	F	33	3202776121	NA	Victor Daza	Secundaria
14	Luis Eduardo Arbeláez	M	65	3115940202	NA	Victor Daza	Primaria
15	Martha Jannett Ardila	F	72	3183659734	NA	Victor Daza	Primaria
16	Nancy Artunduaga	F	60	311 8539262	NA	Victor Daza	técnico/tecnológico
17	Angélica Jiménez	F	28	NA	NA	Victor Daza	técnico/tecnológico
18	Roxana Espejo	F	44	3118311011	NA	Victor Daza	técnico/tecnológico
19	Marisol Rodríguez Sánchez	F	22	3114615617	NA	Victor Daza	Secundaria
20	Diana Páez	F	36	3107542958	dianapaez1012@gmail.com	Victor Daza	Profesional
21	Natalia Duarte	F	29	3233271250	natalia.p.duarte1@gmail.com	Victor Daza	Profesional
22	Guillermo Gracia	M	22	NA	NA	Victor Daza	Secundaria
23	Santiago Guevara	M	29	300 8756908	NA	Victor Daza	Secundaria
24	Leonardo Alarcón	M	31	318 8211517	NA	Victor Daza	técnico/tecnológico

Fuente. Elaboración Propia. (2025).

La encuesta realizada contiene las siguientes preguntas, distribuidas de acuerdo a.

IG. Información General

CPF. Conocimiento sobre Paneles Fotovoltaicos y sus Residuos

PA. Percepción y Actitudes

CA. Comportamientos y Acciones

Tabla 3 Distribución Encuesta sobre Gestión de Residuos de Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza.

N° pregunta	CPF. Conocimiento sobre Paneles Fotovoltaicos y sus Residuos	ALTERNATIVAS DE RESPUESTA					
1	¿Tiene conocimiento sobre qué es un panel solar y cómo funciona?	SI	Parcialmente	NO			
2	¿Sabe que los paneles solares, al finalizar su vida útil, generan residuos que requieren disposición especial?	SI	NO				
3	¿Tiene conocimiento sobre los materiales que componen los paneles solares (ej. silicio, aluminio, vidrio, plomo, etc.)?	SI	Parcialmente	NO			
4	¿Considera que los residuos de paneles solares pueden representar un riesgo ambiental si no se manejan adecuadamente?	SI	NO	No sabe / No responde			
5	En su comunidad, ¿se han instalado paneles solares?	SI	NO	No sabe			
6	¿Cuáles de los siguientes materiales cree usted que pueden estar presentes en la composición de un panel solar? (Marque los que considere posibles)	Vidrio	Aluminio	silicio	Plomo	Plásticos	No lo se
7	¿Considera usted que algunos de los materiales presentes en los	SI	NO	No sabe / No responde			

	paneles solares podrían generar contaminación si no se gestionan correctamente al final de su vida útil?					
8	¿Qué tipo de impacto ambiental cree que podrían generar los residuos de paneles solares en ecosistemas frágiles como el Páramo de Chingaza? (Puede marcar más de una opción)	Contaminación del suelo por metales pesados	Afectación a fuentes hídricas por lixiviación de materiales tóxicos	Daños a la fauna o flora local	No producirían impactos significativos	No sabe / No responde
N° pregunta	PA. Percepción y Actitudes					
9	¿Conoce alguna política o norma en Colombia relacionada con el manejo de residuos de paneles solares?	SI	NO			
10	¿Quién cree usted que debería ser responsable de la gestión final de estos residuos?	El fabricante	El gobierno	El usuario	Todos los anteriores	
11	¿Considera que se informa adecuadamente a las comunidades rurales sobre los impactos ambientales de los residuos tecnológicos como los paneles solares?	SI	NO	No sabe		
12	¿Ha recibido alguna capacitación o charla sobre energía solar y su impacto ambiental?	SI	NO			
13	En caso de que en su zona existan paneles solares, ¿sabe	SI	NO			

	qué se hace con ellos cuando dejan de funcionar?						
14	¿Qué tan importante considera usted que es gestionar adecuadamente los residuos de paneles solares en zonas ambientalmente frágiles como el Páramo de Chingaza	Muy importante	Medianamente importante	Poco importante	Nada importante	No sabe / No responde	
15	¿Estaría dispuesto(a) a apoyar iniciativas comunitarias para la correcta disposición de residuos de paneles solares (capacitaciones, recolección, vigilancia)?	SI	NO	tal vez			
16	¿Considera usted que el uso de paneles solares es siempre positivo, incluso si no existe un plan claro para el manejo de sus residuos?	Sí, siempre es positivo	No, solo si hay una gestión adecuada de residuos	Depende del contexto	No sabe / No responde		
N° pregunta	CA. Comportamientos y Acciones						
17	¿Alguna vez ha reciclado o entregado residuos tecnológicos (como baterías, electrodomésticos o paneles solares) en puntos de recolección autorizados?	SI	NO	No Recuerda			
18	Si tuviera un panel solar en su vivienda o comunidad y este dejara de funcionar, ¿qué haría con él?	Lo guardaría sin saber qué hacer	Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)	Lo desecharía con los residuos comunes	Consultaría con autoridades o técnicos	No sabe / No responde	

19	¿Ha participado en actividades comunitarias o ambientales relacionadas con el reciclaje o la gestión de residuos?	Sí, varias veces	Sí, una vez	No	No recuerda	
20	¿Estaría dispuesto(a) a separar los residuos tecnológicos del resto de la basura si existiera un sistema de recolección diferenciado en su comunidad?	SI	No	Tal Vez		
21	¿Sabe usted cuál es la vida útil aproximada de un panel solar antes de convertirse en residuo?	Menos de 5 años	Entre 10 y 15 años	Más de 20 años	No sabe	
22	¿Qué debería hacerse con un panel solar cuando deja de funcionar o cumple su vida útil? (Seleccione la opción más adecuada según su opinión)	Botarlo con la basura común	Almacenarlo hasta que haya una solución	Enviarlo a un centro especializado de reciclaje o disposición	No sabe / No responde.	
23	¿Conoce si existen en su municipio o región centros de acopio o rutas para la recolección de residuos tecnológicos como paneles solares?	SI	No	No está seguro(a)		

Fuente. Elaboración Propia. (2025).

La encuesta se realizó a diversa población del Páramo de Chingaza o zonas aferentes, de la cual se caracteriza en la siguiente tabla.

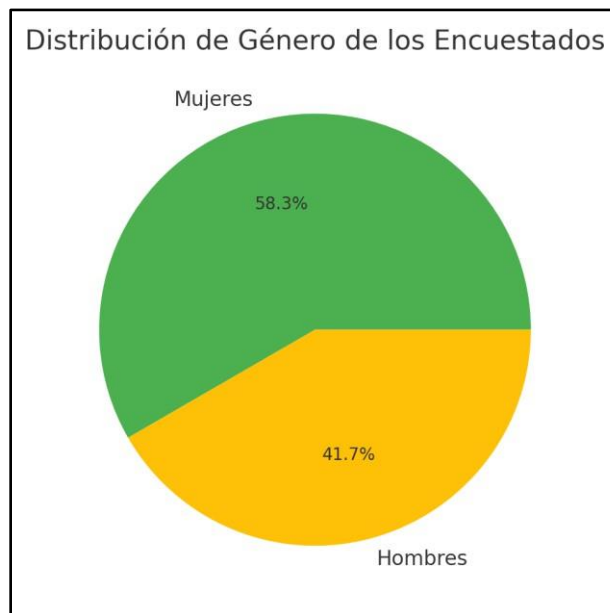
Tabla 4 IG - Información General de los Encuestados

Características	Resultados
Número de participantes	24

Rango de edad	18 a 72 años
Género	14 mujeres (58%), 10 hombres (42%)
Nivel educativo	4 primaria, 8 secundaria, 7 técnico/tecnológico, 5 profesional
Ocupación principal	10 campesinos, 6 amas de casa, 5 líderes comunitarios, 3 técnicos
Residencia	100% en el Páramo de Chingaza o zonas aferentes

Fuente. Elaboración Propia. (2025).

Gráfico 1 Distribución de Género.



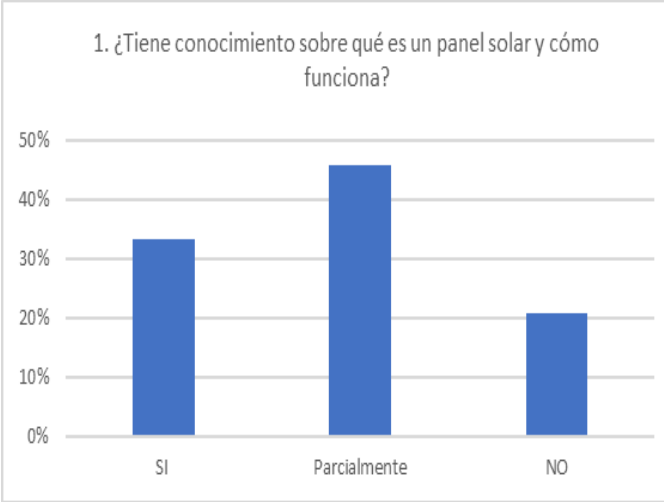
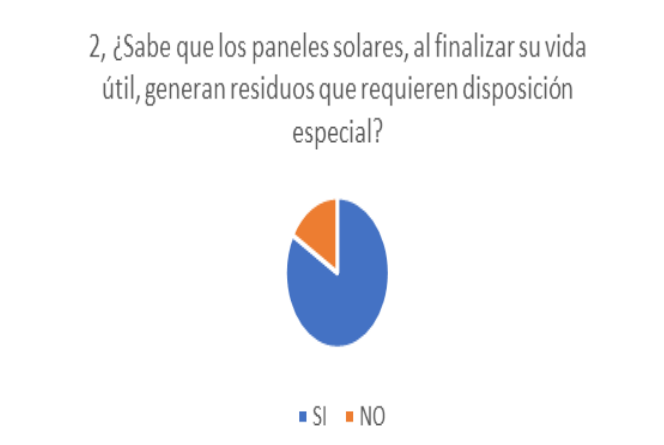
Fuente. Elaboración Propia. (2025).

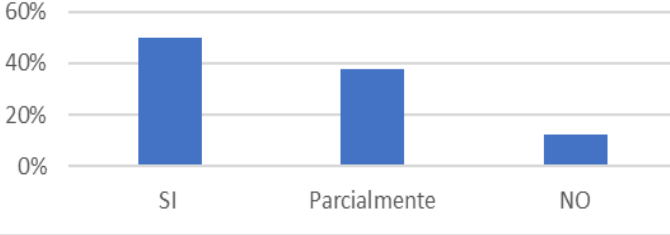
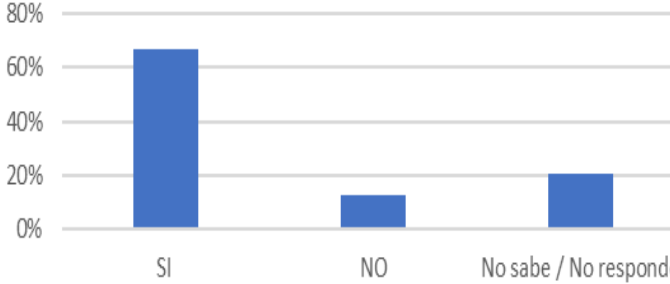
El análisis de la información general de los encuestados muestra que el 58% son mujeres y el 42% son hombres. En cuanto al nivel educativo, aproximadamente el 50% tiene primaria o

secundaria, lo que evidencia la necesidad de fortalecer los procesos de sensibilización y educación ambiental. La mayoría de los encuestados se dedica a actividades relacionadas con el campo (42%), lo que resalta su vínculo directo y el interés en la conservación ambiental.

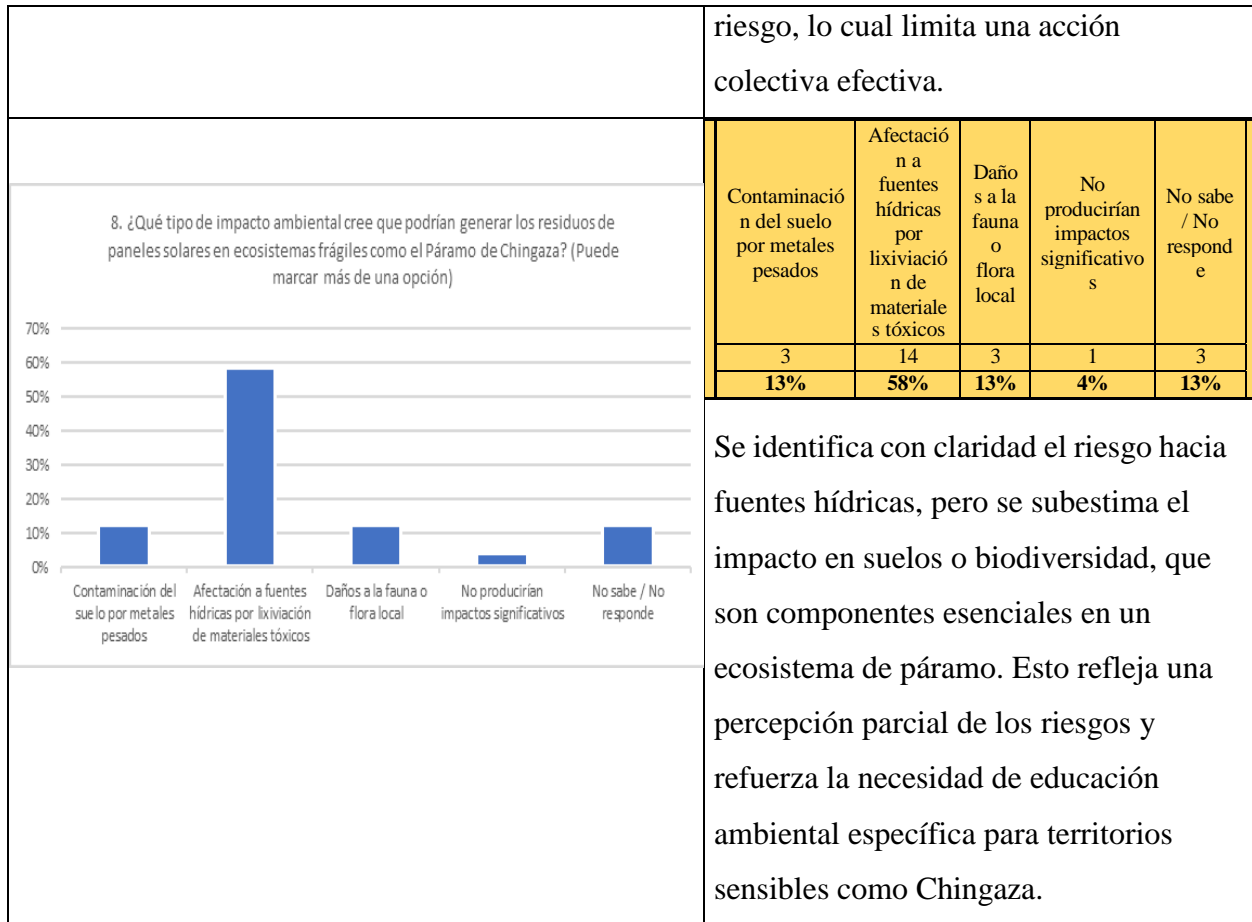
Se llevó a cabo el análisis de ocho (08) preguntas las cuales aportan información relevante del Conocimiento sobre Paneles Fotovoltaicos y sus Residuos (CPF).

Tabla 5 Análisis encuesta parte (CPF).

CPF. Conocimiento sobre Paneles Fotovoltaicos y sus Residuos																			
<p>1. ¿Tiene conocimiento sobre qué es un panel solar y cómo funciona?</p>  <table border="1"> <tr> <td>SI</td> <td>Parcialmente</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>11</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>33%</td> <td>46%</td> <td>21%</td> </tr> </table>	SI	Parcialmente	NO	8	11	5	33%	46%	21%	<table border="1"> <tr> <td>SI</td> <td>Parcialmente</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>11</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>33%</td> <td>46%</td> <td>21%</td> </tr> </table> <p>Aunque una parte significativa de los encuestados (33.3%) tiene conocimiento claro sobre paneles solares, la mayoría (45.8%) solo tiene un conocimiento parcial, lo que sugiere una brecha informativa importante. Es necesario fortalecer la educación ambiental y tecnológica para que las personas comprendan adecuadamente cómo funcionan estos sistemas.</p>	SI	Parcialmente	NO	8	11	5	33%	46%	21%
SI	Parcialmente	NO																	
8	11	5																	
33%	46%	21%																	
SI	Parcialmente	NO																	
8	11	5																	
33%	46%	21%																	
<p>2, ¿Sabe que los paneles solares, al finalizar su vida útil, generan residuos que requieren disposición especial?</p>  <table border="1"> <tr> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>83%</td> <td>17%</td> </tr> </table>	SI	NO	20	4	83%	17%	<table border="1"> <tr> <td>SI</td> <td>NO</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>83%</td> <td>17%</td> </tr> </table> <p>Existe una alta conciencia sobre la existencia de residuos asociados al fin de vida útil de los paneles. Esto indica que el tema está presente en el discurso público, pero no garantiza que las personas conozcan qué hacer con esos residuos. La conciencia sin una guía clara puede generar preocupación o</p>	SI	NO	20	4	83%	17%						
SI	NO																		
20	4																		
83%	17%																		
SI	NO																		
20	4																		
83%	17%																		

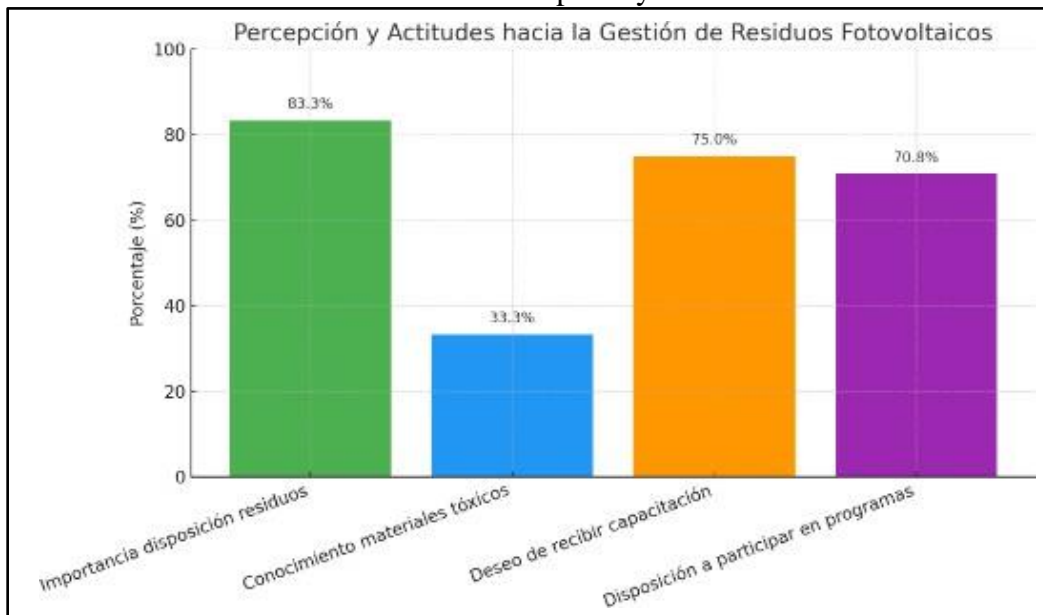
	<p>inacción, si no se traduce en políticas locales o capacitaciones.</p>																		
<p>3. ¿Tiene conocimiento sobre los materiales que componen los paneles solares (ej. silicio, aluminio, vidrio, plomo, etc.)?</p>  <table border="1" data-bbox="1016 308 1300 420"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>Parcialmente</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12</td> <td>9</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td>38%</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table>	SI	Parcialmente	NO	12	9	3	50%	38%	13%	<table border="1" data-bbox="1016 308 1300 420"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>Parcialmente</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12</td> <td>9</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td>38%</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table> <p>La mitad de los encuestados indica conocer los materiales involucrados, lo que es positivo. Sin embargo, un 50% restante (entre parcial o desconocimiento) demuestra que aún se requiere educación específica sobre los componentes, algunos de los cuales pueden ser contaminantes si no se disponen adecuadamente.</p>	SI	Parcialmente	NO	12	9	3	50%	38%	13%
SI	Parcialmente	NO																	
12	9	3																	
50%	38%	13%																	
SI	Parcialmente	NO																	
12	9	3																	
50%	38%	13%																	
<p>4. ¿Considera que los residuos de paneles solares pueden representar un riesgo ambiental si no se manejan adecuadamente?</p>  <table border="1" data-bbox="1040 915 1276 1073"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>No sabe / No responde</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>67%</td> <td>13%</td> <td>21%</td> </tr> </tbody> </table>	SI	NO	No sabe / No responde	16	3	5	67%	13%	21%	<table border="1" data-bbox="1040 915 1276 1073"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>No sabe / No responde</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>67%</td> <td>13%</td> <td>21%</td> </tr> </tbody> </table> <p>El 67% de los encuestados indican que los residuos de paneles solares pueden representar un riesgo ambiental significativo si no se gestionan adecuadamente. De igual manera se evidencia que el 21% de los encuestados requieren fortalecer temas de educación ambiental.</p>	SI	NO	No sabe / No responde	16	3	5	67%	13%	21%
SI	NO	No sabe / No responde																	
16	3	5																	
67%	13%	21%																	
SI	NO	No sabe / No responde																	
16	3	5																	
67%	13%	21%																	

<p>5. En su comunidad, ¿se han instalado paneles solares?</p> <p>■ SI ■ NO ■ No sabe</p>	<table border="1" data-bbox="1052 191 1258 323"> <tr> <td>SI</td> <td>NO</td> <td>No sabe</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>9</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>42%</td> <td>38%</td> <td>21%</td> </tr> </table> <p>Existe una percepción relativamente dividida. La incertidumbre del 21% podría reflejar falta de comunicación sobre proyectos comunitarios.</p>	SI	NO	No sabe	10	9	5	42%	38%	21%									
SI	NO	No sabe																	
10	9	5																	
42%	38%	21%																	
<p>6. ¿Cuáles de los siguientes materiales cree usted que pueden estar presentes en la composición de un panel solar? (Marque los que considere posibles)</p>	<table border="1" data-bbox="927 674 1388 806"> <tr> <td>Vidrio</td> <td>Aluminio</td> <td>silicio</td> <td>Plomo</td> <td>Plásticos</td> <td>No lo se</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>7</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>21%</td> <td>8%</td> <td>17%</td> <td>21%</td> <td>29%</td> <td>4%</td> </tr> </table> <p>Las respuestas reflejan una visión incompleta y en algunos casos inexacta de los componentes de los paneles solares. El silicio, esencial en la mayoría de paneles, solo es reconocido por el 17%. Esto indica una necesidad urgente de alfabetización técnica, especialmente si se espera que la comunidad participe en decisiones sobre su uso o disposición.</p>	Vidrio	Aluminio	silicio	Plomo	Plásticos	No lo se	5	2	4	5	7	1	21%	8%	17%	21%	29%	4%
Vidrio	Aluminio	silicio	Plomo	Plásticos	No lo se														
5	2	4	5	7	1														
21%	8%	17%	21%	29%	4%														
<p>7. ¿Considera usted que algunos de los materiales presentes en los paneles solares podrían generar contaminación si no se gestionan correctamente al final de su vida útil?</p>	<table border="1" data-bbox="1052 1325 1258 1516"> <tr> <td>SI</td> <td>NO</td> <td>No sabe / No responde</td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>79%</td> <td>4%</td> <td>17%</td> </tr> </table> <p>La mayoría reconoce el potencial contaminante, lo cual es un punto fuerte en términos de percepción de riesgo. Esta conciencia puede facilitar campañas de reciclaje o recolección. No obstante, aún existe un 21% que no sabe o niega el</p>	SI	NO	No sabe / No responde	19	1	4	79%	4%	17%									
SI	NO	No sabe / No responde																	
19	1	4																	
79%	4%	17%																	



Fuente. Elaboración Propia. (2025).

Gráfico 2. PA: Percepción y Actitudes




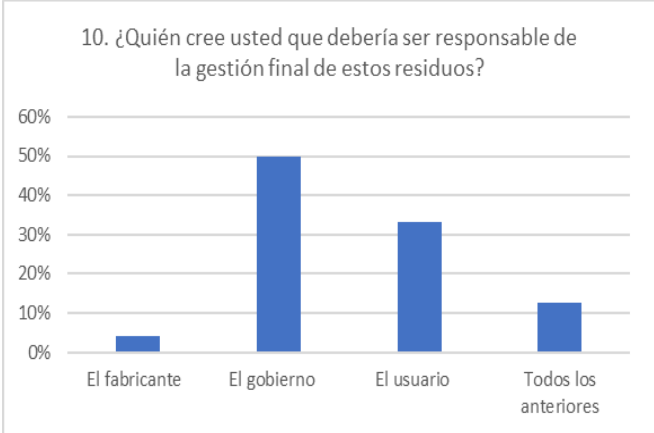
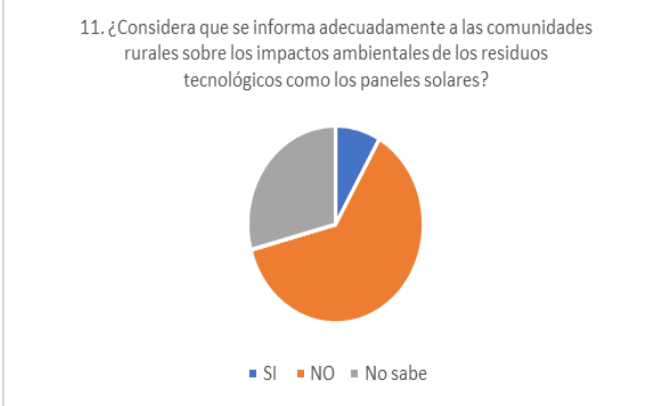
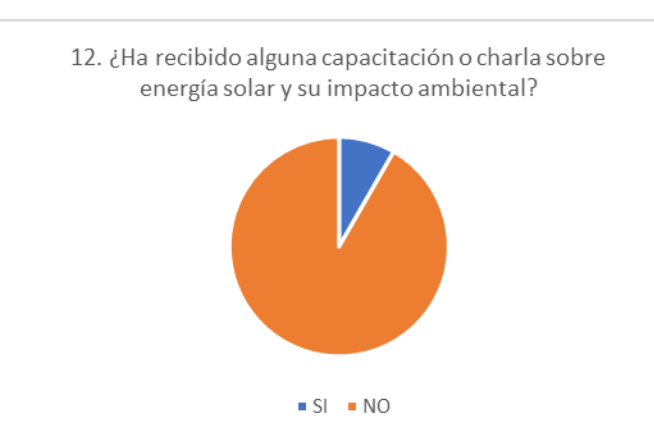
Fuente. Elaboración Propia. (2025).

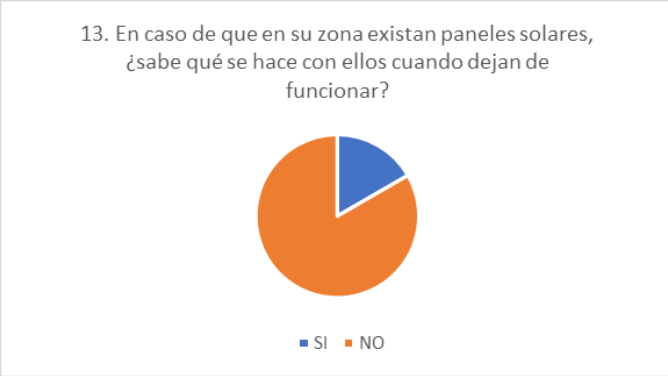
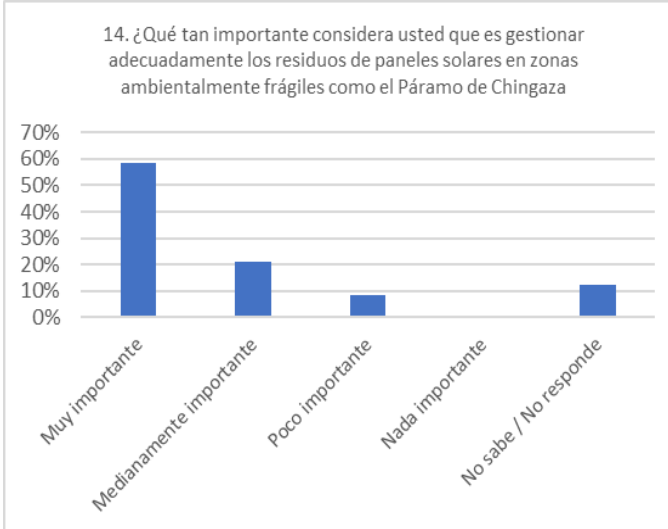
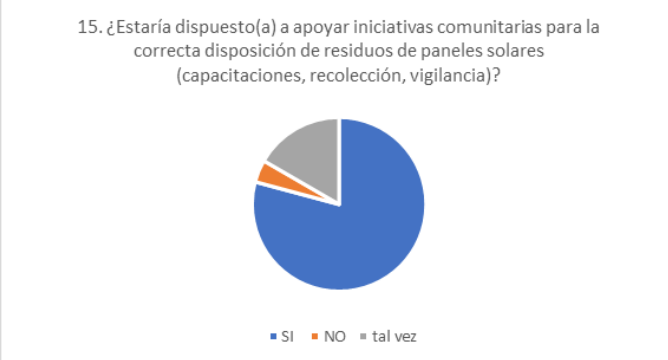
La mayoría de los encuestados reconoce la importancia de gestionar adecuadamente los residuos de paneles fotovoltaicos para proteger el ecosistema del Páramo de Chingaza, y más del 70% está dispuesto a participar en programas de educación ambiental y reciclaje, Tabla 5. Percepción y Actitudes hacia la Gestión de Residuos. Aunque estos resultados reflejan una conciencia ambiental positiva, aún es necesario fortalecer la sensibilización y formación de toda la comunidad para lograr una gestión sostenible y efectiva de estos residuos.

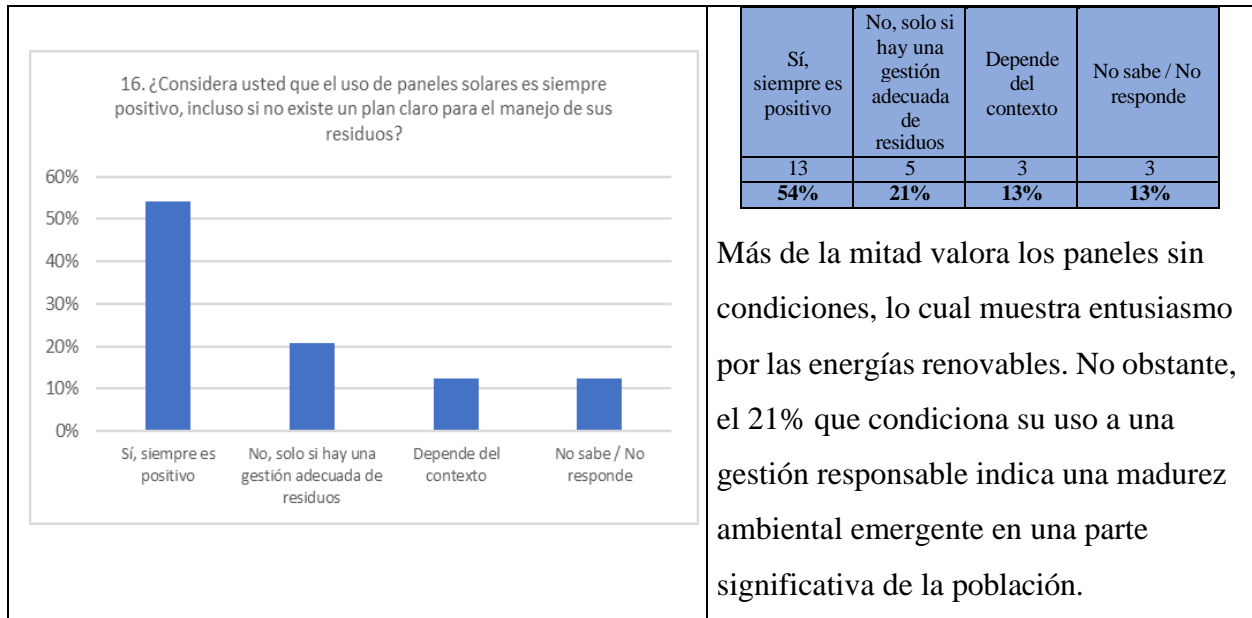
De igual manera se llevó a cabo el análisis de ocho (08) preguntas las cuales aportan información relevante sobre Percepción y Actitudes (PA) que tiene la comunidad frente al tema de paneles fotovoltaicos.

Tabla 6 Análisis encuesta parte (PA).

PA. Percepción y Actitudes								
<p>9.¿Conoce alguna política o norma en Colombia relacionada con el manejo de residuos de paneles solares?</p>  <p>■ SI ■ NO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>17%</td> <td>83</td> </tr> </tbody> </table>	SI	NO	4	20	17%	83	<p>Sorprende positivamente el alto porcentaje de personas que dicen conocer normas. Sin embargo, este resultado debe analizarse con cautela, pues puede tratarse de una percepción más que un conocimiento real. Sería útil validar este dato con preguntas más específicas en el futuro.</p>
SI	NO							
4	20							
17%	83							

<p>10. ¿Quién cree usted que debería ser responsable de la gestión final de estos residuos?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Responsable</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>El fabricante</td> <td>4%</td> </tr> <tr> <td>El gobierno</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>El usuario</td> <td>33%</td> </tr> <tr> <td>Todos los anteriores</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table>	Responsable	Porcentaje	El fabricante	4%	El gobierno	50%	El usuario	33%	Todos los anteriores	13%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>El fabricante</th> <th>El gobierno</th> <th>El usuario</th> <th>Todos los anteriores</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>12</td> <td>8</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>4%</td> <td>50%</td> <td>33%</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Existe una fuerte tendencia a delegar la responsabilidad en el Estado, lo cual es común en contextos donde la institucionalidad es percibida como única responsable. Sin embargo, esto puede limitar la participación activa de usuarios y fabricantes. Es crucial promover la responsabilidad compartida.</p>	El fabricante	El gobierno	El usuario	Todos los anteriores	1	12	8	3	4%	50%	33%	13%
Responsable	Porcentaje																						
El fabricante	4%																						
El gobierno	50%																						
El usuario	33%																						
Todos los anteriores	13%																						
El fabricante	El gobierno	El usuario	Todos los anteriores																				
1	12	8	3																				
4%	50%	33%	13%																				
<p>11. ¿Considera que se informa adecuadamente a las comunidades rurales sobre los impactos ambientales de los residuos tecnológicos como los paneles solares?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Cantidad</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>2</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>15</td> <td>63%</td> </tr> <tr> <td>No sabe</td> <td>7</td> <td>29%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Cantidad	Porcentaje	SI	2	8%	NO	15	63%	No sabe	7	29%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>No sabe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>15</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>8%</td> <td>63%</td> <td>29%</td> </tr> </tbody> </table> <p>El consenso es claro: la información no está llegando a las comunidades rurales. Esto es una señal de alerta para instituciones educativas, autoridades ambientales y ONGs, ya que, sin educación y sensibilización, los impactos podrían ser peores en el futuro.</p>	SI	NO	No sabe	2	15	7	8%	63%	29%	
Respuesta	Cantidad	Porcentaje																					
SI	2	8%																					
NO	15	63%																					
No sabe	7	29%																					
SI	NO	No sabe																					
2	15	7																					
8%	63%	29%																					
<p>12. ¿Ha recibido alguna capacitación o charla sobre energía solar y su impacto ambiental?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Respuesta</th> <th>Cantidad</th> <th>Porcentaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SI</td> <td>2</td> <td>8%</td> </tr> <tr> <td>NO</td> <td>22</td> <td>92%</td> </tr> </tbody> </table>	Respuesta	Cantidad	Porcentaje	SI	2	8%	NO	22	92%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>8%</td> <td>92%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Confirma la percepción anterior. No hay programas de formación o talleres accesibles para la comunidad, a pesar de que los paneles solares están siendo implementados en algunos lugares. Esto demuestra un vacío en la fase de desinstalación o gestión comunitaria.</p>	SI	NO	2	22	8%	92%							
Respuesta	Cantidad	Porcentaje																					
SI	2	8%																					
NO	22	92%																					
SI	NO																						
2	22																						
8%	92%																						

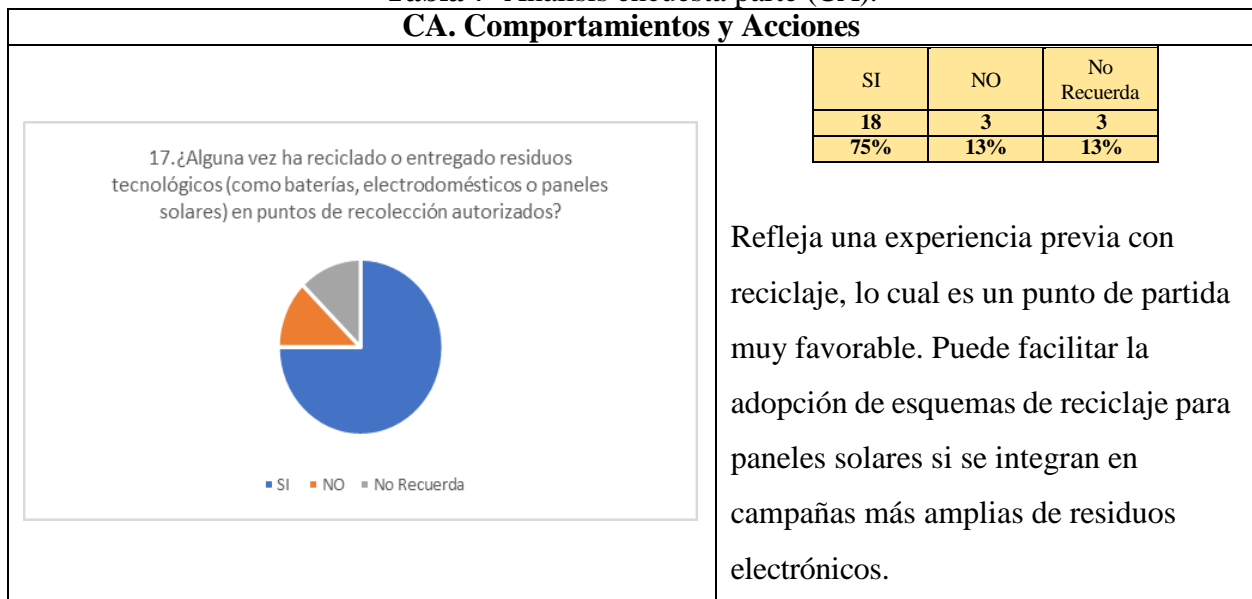
<p>13. En caso de que en su zona existan paneles solares, ¿sabe qué se hace con ellos cuando dejan de funcionar?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>17%</td> <td>83%</td> </tr> </tbody> </table>	SI	NO	4	20	17%	83%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>17%</td> <td>83%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Este desconocimiento es crítico. Refleja que no hay un sistema claro, visible ni educativo sobre el destino final de los paneles, lo que puede llevar a prácticas incorrectas como acumulación o descarte inadecuado.</p>	SI	NO	4	20	17%	83%																		
SI	NO																														
4	20																														
17%	83%																														
SI	NO																														
4	20																														
17%	83%																														
<p>14. ¿Qué tan importante considera usted que es gestionar adecuadamente los residuos de paneles solares en zonas ambientalmente frágiles como el Páramo de Chingaza</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Muy importante</th> <th>Mediamente importante</th> <th>Poco importante</th> <th>Nada importante</th> <th>No sabe / No responde</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>58%</td> <td>21%</td> <td>8%</td> <td>0%</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table>	Muy importante	Mediamente importante	Poco importante	Nada importante	No sabe / No responde	14	5	2	0	3	58%	21%	8%	0%	13%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Muy importante</th> <th>Mediamente importante</th> <th>Poco importante</th> <th>Nada importante</th> <th>No sabe / No responde</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14</td> <td>5</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>58%</td> <td>21%</td> <td>8%</td> <td>0%</td> <td>13%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Alta valoración de la importancia de la gestión, lo que muestra conciencia ecológica local, especialmente en ecosistemas estratégicos. Este dato puede ser usado para impulsar campañas con base en el interés y preocupación ambiental ya existente.</p>	Muy importante	Mediamente importante	Poco importante	Nada importante	No sabe / No responde	14	5	2	0	3	58%	21%	8%	0%	13%
Muy importante	Mediamente importante	Poco importante	Nada importante	No sabe / No responde																											
14	5	2	0	3																											
58%	21%	8%	0%	13%																											
Muy importante	Mediamente importante	Poco importante	Nada importante	No sabe / No responde																											
14	5	2	0	3																											
58%	21%	8%	0%	13%																											
<p>15. ¿Estaría dispuesto(a) a apoyar iniciativas comunitarias para la correcta disposición de residuos de paneles solares (capacitaciones, recolección, vigilancia)?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>tal vez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>79%</td> <td>4%</td> <td>17%</td> </tr> </tbody> </table>	SI	NO	tal vez	19	1	4	79%	4%	17%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>tal vez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>79%</td> <td>4%</td> <td>17%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Excelente predisposición a participar. Si se crean mecanismos comunitarios bien organizados, se podría contar con alto respaldo social, lo cual es fundamental para sostenibilidad de programas locales.</p>	SI	NO	tal vez	19	1	4	79%	4%	17%												
SI	NO	tal vez																													
19	1	4																													
79%	4%	17%																													
SI	NO	tal vez																													
19	1	4																													
79%	4%	17%																													

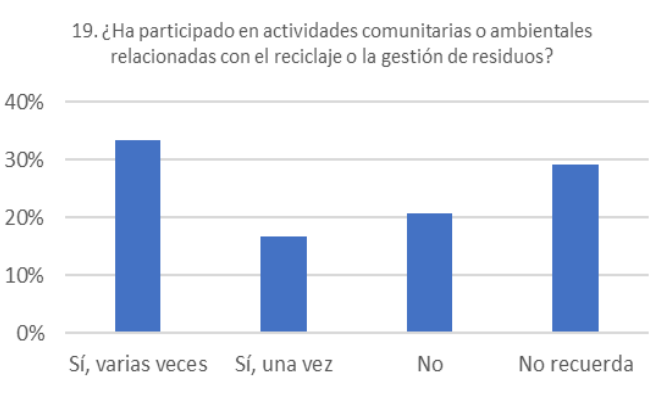
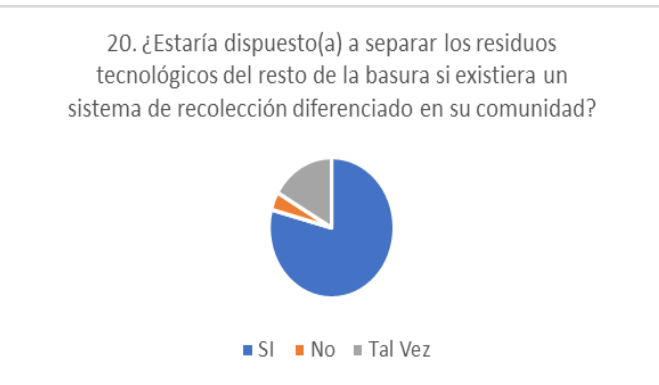


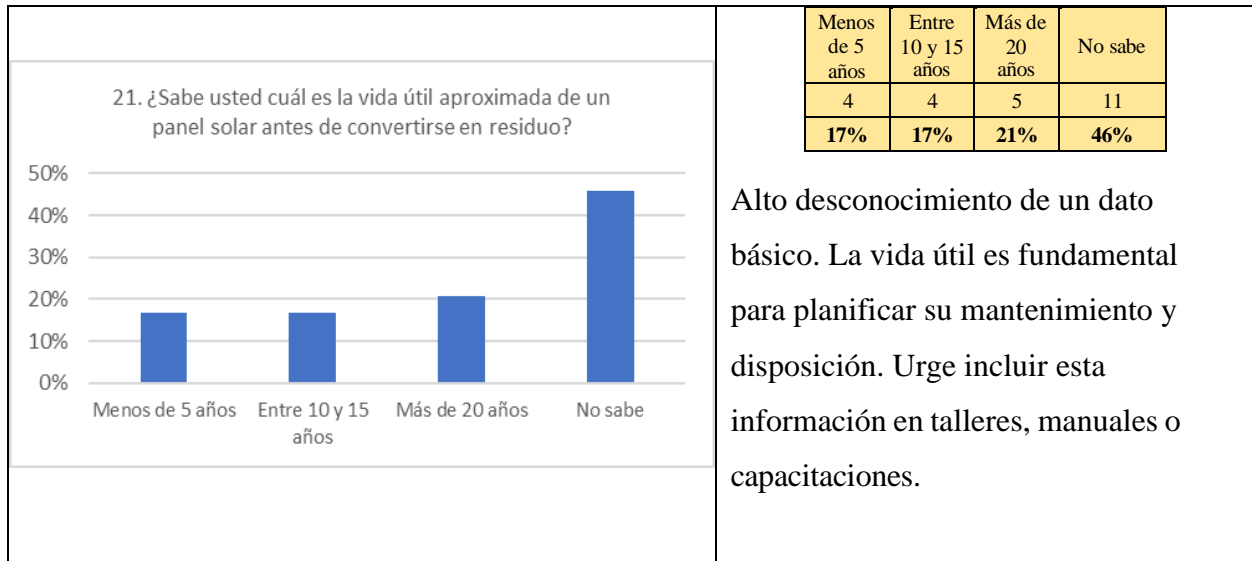
Fuente. Elaboración Propia. (2025).

Por último, se llevó a cabo el análisis de siete (07) preguntas las cuales aportan información relevante sobre Comportamientos y Acciones (CA) que tiene la comunidad frente al tema de paneles fotovoltaicos.

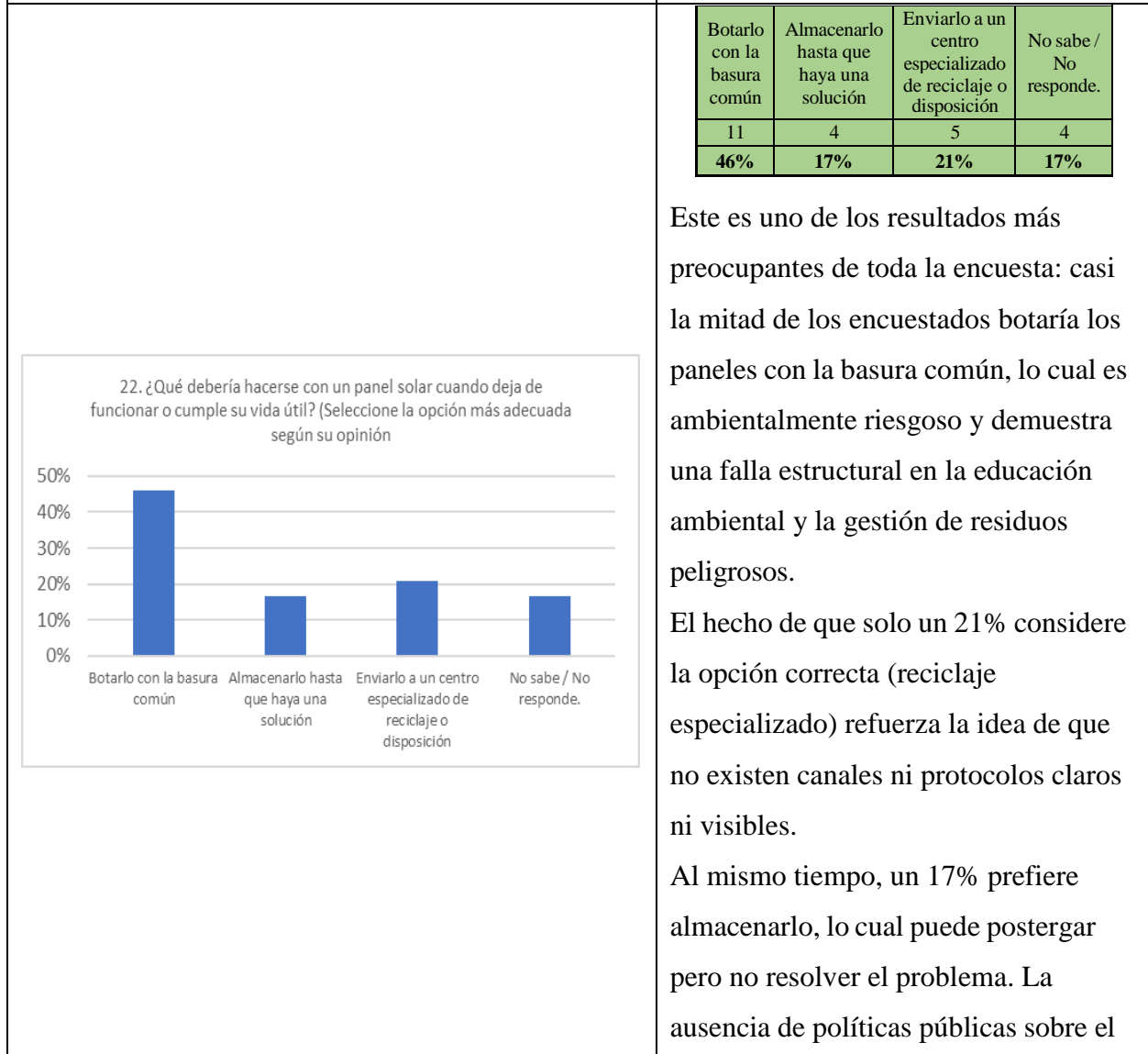
Tabla 7 Análisis encuesta parte (CA).
CA. Comportamientos y Acciones



<p>18. Si tuviera un panel solar en su vivienda o comunidad y este dejara de funcionar, ¿qué haría con él?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lo guardaría sin saber qué hacer</th> <th>Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)</th> <th>Lo desearía con los residuos comunes</th> <th>Consultaría con autoridades o técnicos</th> <th>No sabe / No responde</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>13%</td> <td>17%</td> <td>33%</td> <td>17%</td> <td>21%</td> </tr> </tbody> </table>	Lo guardaría sin saber qué hacer	Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)	Lo desearía con los residuos comunes	Consultaría con autoridades o técnicos	No sabe / No responde	3	4	8	4	5	13%	17%	33%	17%	21%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lo guardaría sin saber qué hacer</th> <th>Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)</th> <th>Lo desearía con los residuos comunes</th> <th>Consultaría con autoridades o técnicos</th> <th>No sabe / No responde</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>13%</td> <td>17%</td> <td>33%</td> <td>17%</td> <td>21%</td> </tr> </tbody> </table> <p>El manejo incorrecto es la opción más común, lo cual plantea un grave riesgo ambiental. Las respuestas indican ausencia de rutas formales de recolección y de educación para la toma de decisiones responsables.</p>	Lo guardaría sin saber qué hacer	Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)	Lo desearía con los residuos comunes	Consultaría con autoridades o técnicos	No sabe / No responde	3	4	8	4	5	13%	17%	33%	17%	21%
Lo guardaría sin saber qué hacer	Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)	Lo desearía con los residuos comunes	Consultaría con autoridades o técnicos	No sabe / No responde																											
3	4	8	4	5																											
13%	17%	33%	17%	21%																											
Lo guardaría sin saber qué hacer	Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)	Lo desearía con los residuos comunes	Consultaría con autoridades o técnicos	No sabe / No responde																											
3	4	8	4	5																											
13%	17%	33%	17%	21%																											
<p>19. ¿Ha participado en actividades comunitarias o ambientales relacionadas con el reciclaje o la gestión de residuos?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sí, varias veces</th> <th>Sí, una vez</th> <th>No</th> <th>No recuerda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>33%</td> <td>17%</td> <td>21%</td> <td>29%</td> </tr> </tbody> </table>	Sí, varias veces	Sí, una vez	No	No recuerda	8	4	5	7	33%	17%	21%	29%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Sí, varias veces</th> <th>Sí, una vez</th> <th>No</th> <th>No recuerda</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>33%</td> <td>17%</td> <td>21%</td> <td>29%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Buena base comunitaria para trabajo ambiental, aunque se percibe cierta desorganización o informalidad, dado el alto porcentaje que no recuerda. Se sugiere formalizar y comunicar mejor estas actividades.</p>	Sí, varias veces	Sí, una vez	No	No recuerda	8	4	5	7	33%	17%	21%	29%						
Sí, varias veces	Sí, una vez	No	No recuerda																												
8	4	5	7																												
33%	17%	21%	29%																												
Sí, varias veces	Sí, una vez	No	No recuerda																												
8	4	5	7																												
33%	17%	21%	29%																												
<p>20. ¿Estaría dispuesto(a) a separar los residuos tecnológicos del resto de la basura si existiera un sistema de recolección diferenciado en su comunidad?</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>No</th> <th>Tal Vez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>79%</td> <td>4%</td> <td>17%</td> </tr> </tbody> </table>	SI	No	Tal Vez	19	1	4	79%	4%	17%	<table border="1"> <thead> <tr> <th>SI</th> <th>No</th> <th>Tal Vez</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>79%</td> <td>4%</td> <td>17%</td> </tr> </tbody> </table> <p>Clara disposición a participar en esquemas diferenciados, lo que refuerza la necesidad de infraestructura adecuada y campañas educativas para aprovechar esta voluntad.</p>	SI	No	Tal Vez	19	1	4	79%	4%	17%												
SI	No	Tal Vez																													
19	1	4																													
79%	4%	17%																													
SI	No	Tal Vez																													
19	1	4																													
79%	4%	17%																													



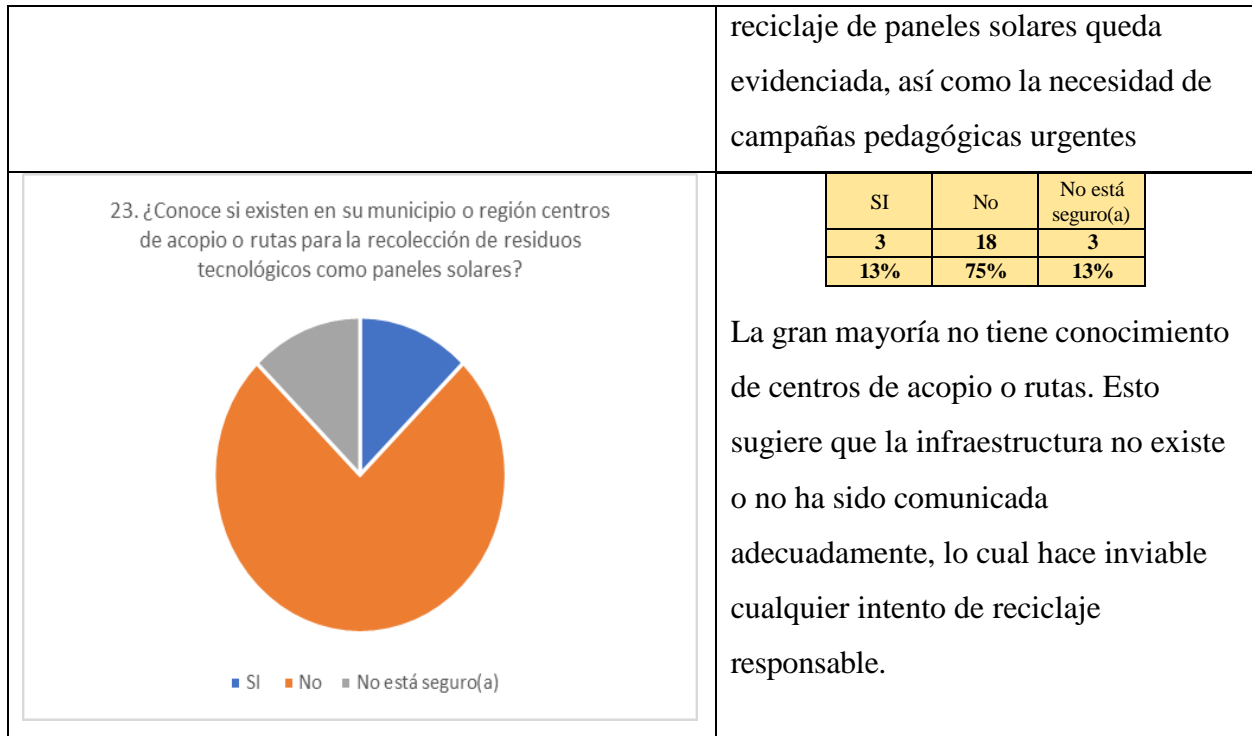
Alto desconocimiento de un dato básico. La vida útil es fundamental para planificar su mantenimiento y disposición. Urge incluir esta información en talleres, manuales o capacitaciones.



Este es uno de los resultados más preocupantes de toda la encuesta: casi la mitad de los encuestados botaría los paneles con la basura común, lo cual es ambientalmente riesgoso y demuestra una falla estructural en la educación ambiental y la gestión de residuos peligrosos.

El hecho de que solo un 21% considere la opción correcta (reciclaje especializado) refuerza la idea de que no existen canales ni protocolos claros ni visibles.

Al mismo tiempo, un 17% prefiere almacenarlo, lo cual puede postergar pero no resolver el problema. La ausencia de políticas públicas sobre el



Fuente. Elaboración Propia. (2025).

Según los resultados obtenidos en los encuestados, CA: Comportamientos y Acciones, es claro la población está dispuesta a actuar de forma responsable, muchos aún requieren educación, recursos e infraestructura para llevar a cabo una gestión ambiental adecuada. Los resultados destacan tres necesidades clave: Educación ambiental focalizada sobre la disposición de residuos fotovoltaicos, creación o divulgación de normativas específicas e implementación de puntos de recolección o acopio accesibles.

5.2 Propuesta al sector

Con base en la información recopilada durante la investigación, así como en los antecedentes de estudios técnicos y ambientales relacionados con el uso de paneles fotovoltaicos en ecosistemas estratégicos, se plantean las siguientes propuestas orientadas a optimizar su adopción, aprovechamiento, gestión y la adecuada disposición de los residuos que estos generan:

5.2.1 Propuesta técnica para la gestión de residuos fotovoltaicos en ecosistemas de páramo.

Implementar una estrategia participativa en donde se identifique las características físico-químicas y composición de los residuos de paneles fotovoltaicos, evaluar su riesgo ambiental en el ecosistema de páramo y fomentar prácticas sostenibles de gestión, teniendo en cuenta:

Vulnerabilidad del Ecosistema de Páramo: Alta capacidad de retención de agua y biodiversidad endémica, suelos ácidos y frágiles, con baja capacidad de recuperación y presencia de cuerpos de agua que pueden ser contaminados por lixiviados.

Justificación Técnica: Identificación de composición de los materiales que componen un panel fotovoltaico.

Silicio cristalino (base de las células solares).

Vidrio templado (hasta el 75-80% del peso del panel).

Marcos de aluminio, plásticos poliméricos

Metales pesados y semimetales, como plomo, cadmio, selenio y galio, algunos de los cuales son tóxicos y persistentes.

Estos materiales no son biodegradables y pueden liberar sustancias contaminantes por lixiviación, especialmente en condiciones de humedad y cambios de temperatura propios del páramo.

Actividades a ejecutar:

Tabla 8 Propuesta técnica para la gestión de residuos

Actividad Principal	1. Identificación y Caracterización de Residuos Fotovoltaicos
Sub Actividad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Talleres comunitarios para divulgar los resultados de la caracterización y riesgos. ○ Programas de formación sobre economía circular y reciclaje de componentes FV. ○ Fortalecimiento de capacidades locales para la vigilancia y seguimiento.

Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> ○ Base de datos local de los tipos y volúmenes de residuos generados. ○ Informe técnico sobre los materiales con mayor potencial contaminante.
Actividad Principal	2. Evaluación del Potencial de Riesgo Ambiental en Ecosistemas de Páramo
Sub Actividad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aplicación de matrices de riesgo ambiental ○ Evaluación del impacto en: suelos, agua, flora endémica y fauna del páramo. ○ Identificación de rutas de exposición: lixiviación de metales, liberación de partículas de plásticos (fibras).
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mapa de zonas vulnerables dentro del ecosistema. ○ Informe de riesgos priorizados y recomendaciones técnicas
Actividad Principal	3. Educación y Participación Social
Sub Actividad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Talleres comunitarios para divulgar los resultados de la caracterización y riesgos. ○ Programas de formación sobre economía circular y reciclaje de componentes de los paneles solares. ○ Fortalecimiento de capacidades locales para la vigilancia y seguimiento.
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> ○ Comunidad sensibilizada y empoderada. ○ Creación de redes locales de monitoreo ambiental.
Actividad Principal	4. Propuesta de Manejo y Disposición Final de los Residuos
Sub Actividad	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de rutas de recolección diferenciada y puntos verdes para paneles fuera de uso. ○ Vinculación con empresas recicladoras certificadas a nivel regional.
Resultados Esperados	<ul style="list-style-type: none"> ○ Modelo de gestión sostenible replicable en otras zonas de páramo. ○ Reducción del riesgo de contaminación por residuos FV

Fuente. Elaboración Propia. (2025).

5.2.2 Propuesta de Programa Especial para la Gestión de Residuos Fotovoltaicos en Ecosistemas de Páramo

Aunque Colombia ha logrado avances significativos en la regulación de residuos peligrosos y en la implementación del principio de responsabilidad compartida para fabricantes e importadores de paneles solares, aún persiste una brecha normativa importante, el tratamiento de residuos de paneles solares se enmarca principalmente dentro de la legislación sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), dado que los paneles fotovoltaicos, por sus componentes eléctricos y electrónicos, es de resaltar que no se ha desarrollado un enfoque específico que responda a las condiciones particulares de ecosistemas estratégicos como los páramos. En estos territorios frágiles, la disposición inadecuada de residuos fotovoltaicos podría generar impactos graves sobre recursos vitales como el agua, el suelo y la biodiversidad, por ello se plantea la formulación de Lineamientos Estratégicos para la Gestión de Residuos de Paneles Solares partiendo de:

Tabla 9 Propuesta de Programa Especial para la Gestión de Residuos

Enfoque Preventivo y de Responsabilidad Extendida del Productor	Exigir a los fabricantes, importadores y distribuidores de paneles solares la inclusión de un plan obligatorio de recolección, reciclaje o disposición final segura de los paneles al culminar su vida útil, especialmente en proyectos instalados en áreas de páramo
Fortalecimiento de la Regulación Local	Impulsar la inclusión de lineamientos específicos en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y en los Planes de Manejo Ambiental (PMA) para proyectos que contemplen energía solar en ecosistemas de alta montaña
Capacitación y Sensibilización Comunitaria	Aprovechar el alto interés comunitario en la conservación ambiental identificado en la encuesta para promover campañas de educación ambiental y formación técnica sobre la gestión adecuada de estos residuos

Articulación Interinstitucional	Promover la coordinación entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y las demás autoridades ambientales y alcaldías regionales para definir protocolos específicos que rijan el manejo de residuos fotovoltaicos en zonas de páramo
Vigilancia y Monitoreo Ambiental	Implementar sistemas de trazabilidad y monitoreo de residuos desde la instalación hasta la disposición final, con mecanismos de seguimiento ambiental que evalúen impactos potenciales en el ecosistema del páramo.

Fuente. Elaboración Propia. (2025).

Esta recomendación tiene como propósito garantizar que el avance hacia la transición energética en Colombia se lleve a cabo sin afectar la integridad ecológica de los ecosistemas más vulnerables, promoviendo una gestión de residuos que se base en principios de legalidad, sostenibilidad y participación comunitaria

5.2.3 Lineamientos para el Gestión Responsable de Residuos Fotovoltaicos en Páramo de Chingaza.

Con base en los resultados obtenidos en la encuesta, donde se evidencia un interés significativo por parte de la comunidad en la conservación ambiental se propone los lineamientos base para formular un plan integral de gestión de residuos fotovoltaicos adaptado a las particularidades ecológicas del Páramo de Chingaza

Tabla 10 Propuesta lineamientos para el Gestión Responsable de Residuos Fotovoltaicos

Objetivo General
Formular una estrategia de gestión de residuos fotovoltaicos que minimice impactos ambientales y promueva la conservación del Páramo de Chingaza.
Lineamientos estratégicos

1. Prevención y disminución de residuos	<ul style="list-style-type: none"> ○ Promover la compra de paneles solares con certificaciones internacionales de calidad ambiental. ○ Fomentar el uso de paneles con diseño modular que permitan el reemplazo de partes individuales en lugar de desechar el panel completo
2. Principio de Responsabilidad	<p>Formalizar convenios con empresas gestoras de RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos) certificadas, para asegurar el tratamiento adecuado de residuos fotovoltaicos fuera del ecosistema del páramo.</p>
3. Creación de acopio temporal controlado	<ul style="list-style-type: none"> ○ Habilitar puntos de recolección temporal con protocolos estrictos de almacenamiento, con todos los permisos ambientales que correspondan, que el responsable y seguimiento legal sea de la autoridad local (municipio dónde se autorice el acopio). ○ Capacitación a autoridades locales, líderes comunitarios y cualquier persona que le interese el tema sobre el manejo adecuado de estos residuos
4. Educación ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elaborar campañas educativas dirigidas a las comunidades locales, orientadas a sensibilizar sobre los riesgos asociados a la inadecuada disposición de residuos fotovoltaicos. ○ Incorporar la gestión de residuos fotovoltaicos en programas de educación

	ambiental escolar y en actividades comunitarias, fomentando una cultura de corresponsabilidad en la protección del ecosistema
5. Capacitaciones por Autoridad Ambiental referente al fortalecimiento del marco normativo local	<ul style="list-style-type: none"> ○ Articulación de la legislación sobre protección de páramos, estableciendo protocolos locales específicos que fortalezcan las acciones preventivas ante riesgos ambientales derivados de residuos tecnológicos. ○ Tramitar adopción de acuerdos municipales que incluyan directrices específicas para la gestión de residuos fotovoltaicos en zonas de páramo.
6. Monitoreo ambiental	Evaluación periódica por la autoridad ambiental para verificar el cumplimiento las normas establecidas y evaluar la efectividad de la gestión de residuos, con participación activa de la comunidad.

A través de los lineamientos descritos en la anterior tabla, se busca no solo reducir los riesgos ecológicos y proteger la biodiversidad del páramo, sino también fortalecer la participación activa de la comunidad en los procesos de conservación ambiental.

5.3 Discusión

Los resultados de la encuesta realizada en la región del Páramo de Chingaza y los antecedentes académicos y técnicos recopilados en la investigación, se identifican notables coincidencias, pero también vacíos significativos entre el conocimiento comunitario y los hallazgos científicos. Por ejemplo, mientras estudios como los de IRENA & IEA-PVPS (2016) y Recyclia & Recyberica Ambiental (2017) destacan la peligrosidad de los componentes como el teluro de cadmio y la

necesidad urgente de infraestructura de reciclaje, la encuesta revela que un 50% de los encuestados desconoce o solo tiene un conocimiento parcial sobre los materiales que componen los paneles solares, y solo el 17% identifica el silicio como parte esencial, lo que sugiere una brecha en la alfabetización técnica de la comunidad.

Asimismo, aunque más del 79% de los encuestados reconoce que los residuos de paneles solares pueden ser contaminantes, este conocimiento no siempre se traduce en comportamientos responsables: un preocupante 46% afirmó que botaría un panel solar dañado junto con la basura común. Esta aparente contradicción entre la conciencia ambiental y las acciones concretas revela una brecha significativa entre el conocimiento teórico y la práctica cotidiana. Tal disonancia podría explicarse por la falta de mecanismos institucionales que faciliten la gestión adecuada de estos residuos, así como por la escasa divulgación de información sobre el impacto real que estos pueden generar en ecosistemas sensibles. En este sentido, lo expuesto por Ramírez Agudelo (2018) y Freddy (2024) cobra especial relevancia, al advertir sobre la inexistencia de una normativa específica y de canales de recolección diferenciados para este tipo de residuos en Colombia. La ausencia de un marco regulatorio claro y de infraestructura logística adecuada no solo dificulta la correcta disposición, sino que también impide la consolidación de una cultura ambiental sólida. Por tanto, los resultados confirman que, si bien existe una percepción de riesgo entre la población, esta no está acompañada de herramientas prácticas, campañas educativas continuas ni incentivos que promuevan una acción coherente con dicha percepción.

Además, el hecho de que la mayoría de los encuestados desconozca la existencia de centros de acopio o rutas específicas para la disposición de residuos tecnológicos, y que la mayoría no haya recibido ningún tipo de capacitación al respecto, pone en evidencia una grave falencia en la implementación de políticas públicas orientadas a la gestión ambiental. Esta situación, lejos de ser un hecho aislado, ya había sido advertida por Gualdrón Rodríguez (2023) y García (2022), quienes destacan la desconexión entre la normativa vigente y su aplicación en contextos locales, especialmente en zonas rurales o ambientalmente sensibles como los ecosistemas de páramo. La falta de acceso a información clara, formación ciudadana y herramientas operativas limita significativamente la capacidad de las comunidades para actuar de manera ambientalmente responsable. Esta brecha no solo impide una correcta gestión de los residuos fotovoltaicos, sino que también debilita el compromiso ciudadano frente a la sostenibilidad. En este sentido, los

resultados obtenidos refuerzan la urgencia de diseñar e implementar estrategias de base comunitaria y mecanismos de articulación interinstitucional, como los propuestos en los lineamientos del documento, que integren procesos de educación ambiental, fortalecimiento del marco normativo y aplicación de la responsabilidad extendida del productor como principios fundamentales de una política pública coherente y efectiva.

En síntesis, los resultados de la encuesta respaldan muchos de los argumentos encontrados en la literatura científica y técnica sobre los riesgos e ineficiencias actuales en la gestión de residuos fotovoltaicos. En particular, la propuesta de Gualdrón Rodríguez (2023) y el análisis técnico de Quinio Palta (2024) resaltan la importancia de implementar sistemas de recolección y reciclaje con apoyo tanto empresarial como gubernamental. Sin embargo, los hallazgos evidencian que estas soluciones aún no llegan a las comunidades: la mayoría de los encuestados no tiene acceso a infraestructura básica ni a canales formales para la disposición de residuos tecnológicos. Esta carencia se agrava por la inexistencia de normativas específicas, la debilidad de las políticas públicas locales y la falta de procesos de formación comunitaria sobre el manejo adecuado de residuos. De este modo, se confirma que la distancia entre el conocimiento técnico y su implementación práctica persiste, especialmente en contextos rurales o ambientalmente frágiles como los ecosistemas de páramo. Esta situación plantea la necesidad urgente de trascender el diagnóstico y avanzar hacia una implementación efectiva y participativa, que considere las condiciones educativas, sociales y territoriales de cada comunidad. Por tanto, resulta esencial impulsar programas educativos continuos, reformas normativas adaptadas al contexto y estructuras logísticas funcionales que permitan cerrar la brecha entre la disposición comunitaria y las capacidades reales de gestión ambiental en zonas altamente vulnerables.

6 CONCLUSIONES

Los hallazgos evidencian una clara preocupación de la comunidad del Páramo de Chingaza por el riesgo ambiental que representan los residuos de paneles fotovoltaicos, pero también dejan ver una profunda brecha en el conocimiento técnico sobre la composición y peligrosidad de estos materiales. Aunque está claro y se ha identificado que componentes como plomo, cadmio, vidrio y polímeros forman parte de los residuos y pueden comportarse como agentes contaminantes en su fase postconsumo, gran parte de la población encuestada desconoce tanto su presencia como su impacto. Este desconocimiento no solo limita la capacidad de las comunidades para tomar decisiones informadas, sino que también dificulta su participación activa en la vigilancia ambiental, la denuncia de prácticas inadecuadas y la implementación de acciones preventivas. La falta de acceso a información clara y adaptada al contexto educativo y cultural de la población refuerza un ciclo de vulnerabilidad, donde la ignorancia técnica se traduce en prácticas potencialmente dañinas. Esta desinformación se agrava por la inexistencia de normativas específicas y protocolos diferenciados que garanticen una disposición final segura, especialmente en un ecosistema tan frágil como el páramo, lo cual confirma la hipótesis de que el desconocimiento y la ausencia de directrices técnicas aumentan el riesgo ecológico. Además, la limitada comprensión sobre procesos fisicoquímicos producto de la combinación de elementos adversos al ecosistema junto con los procesos ambientales y biológicos que en tan importante ecosistema conllevan a daño irreparable para el agua y el suelo así mismo la acumulación en cadenas tróficas impide dimensionar correctamente la magnitud del problema. Por tanto, la identificación de los componentes y su potencial contaminante es bastante importante de conocer, de igual manera revela la urgencia de traducir este conocimiento técnico en acciones pedagógicas, normativas y operativas que se ajusten al territorio y permitan la formulación de planes de manejo localizados, sostenibles y participativos

Desde la perspectiva del marco legal y las políticas públicas, los resultados son abrumadores: no existe en Colombia una regulación específica que contemple la gestión diferenciada de residuos fotovoltaicos en ecosistemas ambientalmente vulnerables como el páramo. el análisis normativo demuestra que la legislación actual se limita a lineamientos generales sobre residuos peligrosos y RAEE, pero no establece categorías ni protocolos especializados para los residuos derivados de tecnologías solares, a pesar de su creciente

presencia en el territorio nacional. Esta omisión es especialmente crítica en zonas como el Páramo de Chingaza, donde las condiciones de suelos, climáticas e hidrológicas hacen que cualquier tipo de contaminación, como la lixiviación de metales pesados o la fragmentación de polímeros, tenga efectos acumulativos y de largo plazo sobre el equilibrio ecológico.

Técnicamente, el tratamiento de estos residuos requiere procedimientos específicos de recolección, clasificación y confinamiento, dada la presencia de materiales como cadmio, plomo, selenio o vidrio templado, cuya degradación puede generar impactos irreversibles. Sin embargo, la ausencia de estándares técnicos y de un sistema de trazabilidad ambiental deja en manos del usuario final decisiones críticas sobre la disposición, sin acompañamiento institucional, rutas habilitadas ni incentivos para una gestión segura. Las prácticas actuales evidencian esta falla estructural: no existen centros de acopio diferenciados, ni se ha integrado la responsabilidad extendida del productor en la gestión postconsumo en contextos rurales o de alta montaña. Esto no solo limita la eficacia de la política pública, sino que también compromete la legitimidad de los instrumentos de planificación ambiental, haciendo evidente que el segundo objetivo — analizar el marco legal y su pertinencia— no solo se cumple, sino que demanda una reforma profunda que incorpore un enfoque ecosistémico, preventivo y adaptado a las realidades locales, especialmente frente al auge de las energías renovables.

Por último, aunque existen antecedentes técnicos y marcos de referencia en la literatura consultada que sugieren alternativas como la economía circular, el reciclaje especializado y la responsabilidad extendida del productor, estos lineamientos aún no se han traducido en prácticas concretas ni en políticas públicas que respondan a las particularidades de contextos rurales y ecosistemas estratégicos como el del Páramo de Chingaza. La falta de implementación de estos modelos se debe, en gran medida, a la ausencia de incentivos normativos, de esquemas de seguimiento ambiental diferenciados y de una articulación efectiva entre los distintos niveles de gobierno, el sector privado y las comunidades locales. La encuesta revela que, si bien existe una notable voluntad de participación y acción ambiental entre los habitantes, persiste un desconocimiento técnico profundo sobre aspectos clave como la composición química de los paneles, su ciclo de vida y los riesgos asociados a su disposición inadecuada. Esta situación genera una brecha estructural entre la intención de actuar y la capacidad real para hacerlo, debido a la falta de información accesible, formación comunitaria y recursos operativos. Este contraste reafirma la urgencia de avanzar hacia una estrategia integral que no solo promueva la educación

ambiental focalizada, sino que también fortalezca el marco normativo local, cree infraestructura técnica para la gestión diferenciada de residuos y promueva la articulación interinstitucional e intersectorial. Solo mediante un enfoque territorializado, con participación activa de las comunidades y con respaldo técnico-científico, será posible garantizar que la transición energética en Colombia no se convierta en un nuevo factor de presión ambiental sobre sus ecosistemas más frágiles, sino en una oportunidad para fortalecer la sostenibilidad y la equidad socioambiental.

7 REFERENCIAS

- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Springer
- Alusín Solar. (2024). El futuro del reciclaje de paneles solares: innovaciones y retos en la gestión de residuos fotovoltaicos
- Bernal Torres, C. A. (2016). Descripción y análisis de resultados. En Metodología de la investigación (pp. 314-315). Pearson Educación
- Bjørk, R., & Nielsen, K. K. (2015). The performance of a combined solar photovoltaic (PV) and thermoelectric generator (TEG) system.
- Esteban-Amaro, R., Lengua, I., & Estellés Miguel, S. (2022). Sostenibilidad en la gestión de residuos de paneles solares en España. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Freddy, J. (2024). Manejo Integral de Residuos Generados por los paneles solares fotovoltaicos en Colombia. Academia.edu.
- Fthenakis, V. M., & Kim, H. C. (2014). End-of-life management and recycling of PV modules. *Energy Policy*, 67, 729–735
- García, L., & López, M. (2021). Gestión de residuos de paneles solares en Colombia: retos y oportunidades. *Revista Energía Limpia*, 15(2), 45-59
- García, N. (2022, noviembre 5). Del "usar y tirar" a la circularidad de los materiales. Cadena SER.
- Green, M. A. (2015). Monocrystalline silicon solar cells. In A. Luque & S. Hegedus (Eds.), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering* (2nd ed., pp. 300–346). Wiley.
- Gualdrón Rodríguez, N. (2023). Propuesta de línea base para aprovechar residuos provenientes de paneles solares fotovoltaicos por Enel Colombia.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). Metodología de la investigación (5ta ed.). McGraw-Hill.
- Hernández Sampieri, R. y Mendoza Torres, C. P. (2018). Análisis de datos en la ruta cuantitativa. En Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (pp. 310-386). McGraw-Hill.

- Hernández Sampieri, R. y Mendoza Torres, C. P. (2018). Recolección y análisis de datos en la ruta cualitativa. En Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (pp. 440-521). McGraw-Hill.
- Hofstede, R. G. M., Segarra, P., & Mena, P. (2014). Los páramos: ecosistemas frágiles en los Andes del Norte. GIZ Ecuador.
- IRENA & IEA-PVPS. (2016). *End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels*. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme.
- Jaimés-Quintanilla, M. A., & Zabala-Vargas, S. (2024). Inteligencia artificial en la gestión de proyectos: Caso construcción y obra civil. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1-21. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-1615>
- Kusch, S., & Helbig, C. (2022). Photovoltaic waste: Challenges and solutions for a sustainable future. *Renewable Energy Journal*, 85(3), 245-259.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Breaking the barriers to the circular economy: Evidence from the European Union. *Ecological Economics*, 150, 264–272
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). Lineamientos para la gestión ambientalmente adecuada de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos en Colombia.
- Moreno Correa, A. P. (2022). Análisis de los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pospandemia en Colombia.
- Morales, D. (2022). El reciclaje de paneles solares en Colombia: Una industria emergente. *Boletín Energías Renovables*, 18(1), 12-18.
- Piñeros, D. A., & Cepeda, M. F. (2023). Investigación y análisis sobre la disposición final de los residuos generados por los paneles solares como medida de la transición energética en Colombia.
- Presidencia de la Republica, Decreto 4741 de 2005 – se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.

- Quinio Palta, J. L. (2024). Estudio técnico y económico sobre posibles técnicas de reciclaje de paneles solares fotovoltaicos a implementar en Chile
- Quintana, M. A. (2019). Fundamentos de la energía solar fotovoltaica. Editorial Alfaomega.
- Ramírez Agudelo, A. (2018). Análisis y propuestas para la disposición final de paneles solares fotovoltaicos en Colombia.
- Ramírez Ramírez, J. C. (2019). Evaluación técnica y económica de tecnologías fotovoltaicas: comparación entre módulos de silicio cristalino y de película delgada en condiciones climáticas de Colombia.
- Recyclia & Recyberica Ambiental. (2017). El reciclaje de paneles fotovoltaicos permite recuperar el 88% de sus materiales. EnergyNews.
- Rodríguez, J., & Salinas, P. (2022). Impactos ambientales de los residuos de paneles solares en ecosistemas de páramo: un estudio de caso en Chingaza. *Revista Colombiana de Ecología*, 40(1), 85-102
- Silva García, L. M. (2024, 12 de noviembre). *Desarrollo de un protocolo para la adecuada gestión de RAEE procedentes de paneles fotovoltaicos en Colombia*
- Stokkermill. (2024). Reciclaje de paneles solares: Mejores métodos para la recuperación de paneles solares.
- Schmidt, L., et al. (2012). Bioeconomic forecasting of invasive species by ecological syndrome. *Ecosphere*.
- UNESCO. (2021). Ciencia abierta para enfrentar los desafíos del siglo XXI. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- UPME (Unidad de Planeación Minero Energética). (2016). Guía técnica para la evaluación de proyectos de generación fotovoltaica en Colombia (1.ª ed.). Ministerio de Minas y Energía
- Zabala-Vargas, S., & Jaimes-Quintanilla, M. (2025). Tecnologías 4.0 (IOT y ciencia de datos) orientada a optimizar la gestión de proyectos de construcción. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-21. <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/1621>
- Zabala-Vargas, S., Álvarez-Pizarro, Y., Sánchez-Galvis, I., & Rubio-Vásquez, K. (2024). Blockchain-Based Strategy to Optimize Certified Notifications from Government Entities. *Administrative Sciences*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/admsci14090195>

Zabala-Vargas, S., Jaimes-Quintanilla, M., & Ramírez-Martínez, D. (2024). PROJECT- BASED LEARNING AND EMERGING TECHNOLOGIES. A STRATEGY TO IMPROVE ACADEMIC PERFORMANCE IN THE TRAINING OF PROJECT MANAGERS. 18th International Technology, Education and Development Conference, 5642-5646.

<https://doi.org/10.21125/inted.2024.1469>

Zabala-Vargas, S., Jiménez-Barrera, M., Vargas-Sanchez, L., & Jaimes-Quintanilla, M. (2023). Big data in construction project management: The Colombian northeast case. Life-Cycle of Structures and Infrastructure Systems, 1, 3476-3483.

<https://doi.org/0.1201/9781003323020>

Anexos

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

Anexo I. Encuesta sobre Gestión de Residuos de Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza.

Objetivo: Identificar patrones de conocimiento, percepción y comportamiento sobre la disposición final de residuos de paneles fotovoltaicos en el ecosistema del páramo, con el fin de proponer estrategias de gestión adecuadas

Descripción: Esta encuesta está dirigida a personas mayores de 18 años y busca recopilar información sobre el conocimiento y comportamiento respecto a la disposición de residuos de paneles solares en el Páramo de Chingaza y áreas aledañas. Sus respuestas serán utilizadas con fines académicos y contribuirán al diseño de estrategias para una gestión ambiental responsable en ecosistemas de alta fragilidad ecológica

Ubicación: Residentes del Páramo de Chingaza y áreas aferentes.

Autor: Victor Alonso Daza Ardila.

Declaración Inicial

La presente encuesta hace parte del proyecto de investigación Análisis y Gestión de los Residuos Generados por el Uso Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y Áreas Aferentes; De la Corporación Universitaria Minuto de Dios. – UNIMINUTO.

Este instrumento tiene una intención estrictamente académica e investigativa, busca información sobre el conocimiento y comportamiento respecto a la disposición de residuos de paneles solares en el Páramo de Chingaza y áreas aledañas.

Toda la información recolectada será tratada con altos estándares de confidencialidad, presentada de manera anónima (datos generalizados) y cumpliendo con la legislación vigente en Colombia.

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

Definiciones importantes.

Panel Solar Fotovoltaico Un panel solar fotovoltaico es un dispositivo compuesto por celdas solares, generalmente hechas de silicio, que convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico.

Residuos de Paneles Fotovoltaicos Los residuos de paneles fotovoltaicos son aquellos materiales desechados provenientes de módulos solares que han llegado al final de su vida útil, ya sea por degradación, daño, obsolescencia tecnológica o fallas técnicas. Estos residuos incluyen una variedad de materiales como vidrio, aluminio, semiconductores, plásticos y metales pesados, algunos de los cuales pueden ser reciclables o potencialmente peligrosos si no se gestionan adecuadamente.

Contaminación por Metales Pesados La contaminación por metales pesados ocurre cuando elementos como plomo, cadmio, arsénico y selenio, presentes en residuos como los paneles solares, se liberan al ambiente, contaminando suelos y cuerpos de agua. Estos metales son persistentes, bioacumulativos y tóxicos para los ecosistemas y la salud humana, pudiendo causar enfermedades crónicas y afectar la biodiversidad.

IG. Información general del encuestado

- a. Nombre del Encuestado: _____
- b. Edad:
- 18-25 26-35 36-45 46-60 Más de 60
- c. Género:
- Femenino Masculino Otro / Prefiero no decir
- d. Nivel educativo alcanzado:
- Básica primaria Secundaria Técnica/Tecnológica Universitaria
- Posgrado
- e. Reside en el Páramo de Chingaza: _____
- f. Datos de Contacto
- Teléfono móvil: _____
- Correo Electrónico: _____

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

CPF. Conocimiento sobre Paneles Fotovoltaicos y sus Residuos

1. ¿Tiene conocimiento sobre qué es un panel solar y cómo funciona?
 - Sí
 - Parcialmente
 - No
2. ¿Sabe que los paneles solares, al finalizar su vida útil, generan residuos que requieren disposición especial?
 - Sí
 - No
3. ¿Tiene conocimiento sobre los materiales que componen los paneles solares (ej. silicio, aluminio, vidrio, plomo, etc.)?
 - Sí
 - Parcialmente
 - No
4. ¿Considera que los residuos de paneles solares pueden representar un riesgo ambiental si no se manejan adecuadamente?
 - Sí
 - No
 - No sabe / No responde
5. En su comunidad, ¿se han instalado paneles solares?
 - Sí
 - No
 - No sabe
6. ¿Cuáles de los siguientes materiales cree usted que pueden estar presentes en la composición de un panel solar? (*Marque los que considere posibles*)
 - Vidrio
 - Aluminio
 - Silicio

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

- Plomo
 - Plásticos
 - No lo sé
7. ¿Considera usted que algunos de los materiales presentes en los paneles solares podrían generar contaminación si no se gestionan correctamente al final de su vida útil?
- Sí
 - No
 - No sabe / No responde
8. ¿Qué tipo de impacto ambiental cree que podrían generar los residuos de paneles solares en ecosistemas frágiles como el Páramo de Chingaza? (*Puede marcar más de una opción*)
- Contaminación del suelo por metales pesados
 - Afectación a fuentes hídricas por lixiviación de materiales tóxicos
 - Daños a la fauna o flora local
 - No producirían impactos significativos
 - No sabe / No responde

PA. Percepción y Actitudes

9. ¿Conoce alguna política o norma en Colombia relacionada con el manejo de residuos de paneles solares?
- Sí
 - No
10. ¿Quién cree usted que debería ser responsable de la gestión final de estos residuos?
- El fabricante
 - El gobierno
 - El usuario
 - Todos los anteriores
11. ¿Considera que se informa adecuadamente a las comunidades rurales sobre los impactos ambientales de los residuos tecnológicos como los paneles solares?

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

Sí

No

No sabe

12. ¿Ha recibido alguna capacitación o charla sobre energía solar y su impacto ambiental?

Sí

No

13. En caso de que en su zona existan paneles solares, ¿sabe qué se hace con ellos cuando dejan de funcionar?

Sí

No

14. ¿Qué tan importante considera usted que es gestionar adecuadamente los residuos de paneles solares en zonas ambientalmente frágiles como el Páramo de Chingaza?

Muy importante

Medianamente importante

Poco importante

Nada importante

No sabe / No responde

15. ¿Estaría dispuesto(a) a apoyar iniciativas comunitarias para la correcta disposición de residuos de paneles solares (capacitaciones, recolección, vigilancia)?

Sí

No

Tal vez

16. ¿Considera usted que el uso de paneles solares es siempre positivo, incluso si no existe un plan claro para el manejo de sus residuos?

Sí, siempre es positivo

No, solo si hay una gestión adecuada de residuos

Depende del contexto

No sabe / No responde

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

CA. Comportamientos y Acciones

17. ¿Alguna vez ha reciclado o entregado residuos tecnológicos (como baterías, electrodomésticos o paneles solares) en puntos de recolección autorizados?
- Sí
 - No
 - No recuerda
18. Si tuviera un panel solar en su vivienda o comunidad y este dejara de funcionar, ¿qué haría con él?
- Lo guardaría sin saber qué hacer
 - Lo llevaría a un punto de recolección (si existiera)
 - Lo desecharía con los residuos comunes
 - Consultaría con autoridades o técnicos
 - No sabe / No responde
19. ¿Ha participado en actividades comunitarias o ambientales relacionadas con el reciclaje o la gestión de residuos?
- Sí, varias veces
 - Sí, una vez
 - No
 - No recuerda
20. ¿Estaría dispuesto(a) a separar los residuos tecnológicos del resto de la basura si existiera un sistema de recolección diferenciado en su comunidad?
- Sí
 - No
 - Tal vez
21. ¿Sabe usted cuál es la vida útil aproximada de un panel solar antes de convertirse en residuo?
- Menos de 5 años
 - Entre 10 y 15 años

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

Más de 20 años

No sabe

22. ¿Qué debería hacerse con un panel solar cuando deja de funcionar o cumple su vida útil? (*Seleccione la opción más adecuada según su opinión*)

Botarlo con la basura común

Almacenarlo hasta que haya una solución

Enviarlo a un centro especializado de reciclaje o disposición

No sabe / No responde.

23. ¿Conoce si existen en su municipio o región centros de acopio o rutas para la recolección de residuos tecnológicos como paneles solares?

Sí

No

No está seguro(a)

**ANEXO II – AUTORIZACIÓN TRATAMIENTO DE DATOS PERSONALES HABEAS
DATA (COLOMBIA) - LEY ESTATUTARIA 1581 DE 2012**

(El presente anexo lo diligenciará toda persona (encuestada) que al momento de presentar la investigación propuesta contenga datos sensibles, para que la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO., garantice el tratamiento adecuado a esos datos)

Señores

Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO

Dg. 81d #72c20

Bogotá D.C.

Ciudad

REFERENCIA: Monografía presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Objeto: Análisis y Gestión de los Residuos Generados por el Uso Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y Áreas Aferentes.

Cumpliendo la Ley 1581 de 2012 “Por el cual se dictan disposiciones para la protección de datos personales” y conforme al Decreto 1377 de 2013, con la firma de este documento manifiesto que he sido informado por Victor Alonso Daza Ardila - victor.daza-a@uniminuto.edu.co (Estudiante) de lo siguiente:

- 1) La finalidad de los datos obtenidos es netamente para uso académico, el Estudiante y UNIMINUTO actuarán como responsable del tratamiento de datos personales, podrán recolectar, almacenar y usar para hacer efectivo el análisis de datos

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

Finalidad	Autoriza	
	SÍ	NO
<p><i>Encuesta sobre Gestión de Residuos de Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza.</i></p> <p>Identificar patrones de conocimiento, percepción y comportamiento sobre la disposición final de residuos de paneles fotovoltaicos en el ecosistema del páramo, con el fin de proponer estrategias de gestión adecuadas.</p>		

- 2) Entiendo que son datos sensibles aquellos que afectan la intimidad del titular o cuyo uso indebido puede generar discriminación, tales como aquellos que revelen el origen racial o étnico, la orientación política, las convicciones religiosas o filosóficas, la pertenencia a sindicatos, organizaciones sociales, de derechos humanos o que promueva intereses de cualquier partido político o que garanticen los derechos y garantías de partidos políticos de oposición así como los datos relativos con la salud, la vida sexual y los datos biométricos.
- 3) Manifiesto que me informaron que los datos sensibles que se recolectarán serán utilizados para Identificar patrones de conocimiento, percepción y comportamiento sobre la disposición final de residuos de paneles fotovoltaicos en el ecosistema del páramo.

Derechos del titular

Sus derechos como titular de los datos son los previstos en la Constitución y en la Ley 1581 de 2012, especialmente los siguientes:

- a) Acceder en forma gratuita a los datos proporcionados que hayan sido objeto de tratamiento.
- b) Solicitar la actualización y rectificación de su información frente a los datos parciales, inexactos e incompletos.

USO PANELES FOTOVOLTAICOS EN EL PÁRAMO DE CHINGAZA

- c) Solicitar prueba de la autorización otorgada.
- d) Presentar ante la Superintendencia de Industria y Comercio quejas por infracciones a lo dispuesto en la normatividad vigente.
- e) Revocar la autorización y/o solicitar la supresión del dato, a menos que exista un deber legal o contractual que haga imperativo conservar la información.
- f) Abstenerse de responder las preguntas sobre datos sensibles o sobre datos de las niñas y niños y adolescentes.

Por todo lo anterior, he otorgado mi consentimiento a (Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO - Victor Alonso Daza Ardila - victor.daza-a@uniminuto.edu.co (Estudiante)) para que trate mi información personal de acuerdo con la Política de Tratamiento de Datos Personales dispuesta en la *Encuesta sobre Gestión de Residuos de Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza* y que me dio a conocer antes de recolectarlos.

Manifiesto que la presente autorización me fue solicitada y puesta de presente antes de entregar mis datos y que la suscribo de forma libre y voluntaria una vez leída en su totalidad.

Nombre:

Firma:

Datos de Contacto

Fecha:

Anexo III - Corpus de Conocimiento

Título del trabajo de grado

“Análisis y Gestión de los Residuos Generados por el Uso Paneles Fotovoltaicos en el Páramo de Chingaza y Áreas Aferentes”

Corpus de Conocimiento

Objetivo: Identificar las características y composición de los residuos generados por los paneles fotovoltaicos, evaluando su potencial de riesgo ambiental en ecosistemas de páramo o ecosistemas similares.

Estrategia de búsqueda

Bases de datos:

Repositorios institucionales de universidades colombianas (UNAD, Universidad Libre, Externado, Distrital), Google Scholar, y fuentes especializadas nacionales como Portafolio

Palabras clave de la búsqueda.

Residuos paneles solares Colombia.
Riesgos ambientales residuos fotovoltaicos.
Paneles solares páramos
Disposición final residuos tecnológicos Colombia
Residuos fotovoltaicos impacto ambiental

Criterios de inclusión:

Publicaciones entre 2015 y 2024
Estudios aplicados en contexto colombiano y algunos estudios a nivel internacional teniendo en cuenta información plasmada en matriz leopold y método conesa
Enfoque en residuos de paneles solares fotovoltaicos
Identificación de composición y/o riesgos ambientales
Acceso completo a documento o fuente verificada

Elaborado por:

Victor Alonso Daza Ardila
victor.daza-a@uniminuto.edu.co

Resultados del Corpus de Conocimiento Documental

N°	Referencia	Año	Título/Estudio	Enfoque Principal	Desarrollo temático
1	Silva García, L. M	2024	Desarrollo de un protocolo para la adecuada gestión de RAEE procedentes de paneles fotovoltaicos	Protocolo técnico	Formulación de un protocolo técnico para la recolección, clasificación y tratamiento de residuos RAEE fotovoltaicos
2	Quinio Palta, J. L.	2024	Estudio técnico y económico sobre posibles técnicas de reciclaje...	Análisis técnico y económico de reciclaje de paneles solares en Chile.	Se propone un sistema de reciclaje para módulos fotovoltaicos, sugiriendo una planta con un flujo de 1.300 kg/h. Se realiza un estudio técnico y económico para evaluar su viabilidad, confirmando que el proyecto es rentable y destacando la importancia de métodos mecánicos para maximizar la recuperación de materiales.
3	Stokkermill	2024	Reciclaje de paneles solares: Mejores métodos para la recuperación...	Tecnologías avanzadas para recuperación de más del 98% de materiales.	Destacando tecnologías mecánicas y electromecánicas que permiten recuperar más del 98% de los materiales. Se enfatiza la eficiencia de sistemas como la separación densimétrica, electrostática y el reconocimiento óptico, optimizados mediante software inteligente y algoritmos de autoaprendizaje basados en inteligencia artificial
4	Alusín Solar	2024	El futuro del reciclaje de paneles solares: innovaciones y retos...	Innovaciones y retos tecnológicos en reciclaje fotovoltaico.	Uso de métodos térmicos, químicos, trituración y separación electrostática para maximizar recuperación y minimizar impacto, discute las innovaciones y retos en la gestión de residuos fotovoltaicos, destacando tecnologías como la trituración y separación electrostática, métodos térmicos para descomposición de encapsulantes, sistemas de fresado y succión, y reciclaje químico. Se subraya la importancia de estas tecnologías para maximizar la recuperación de materiales y minimizar los impactos ambientales.
5	Freddy, J.	2024	Manejo Integral de Residuos Generados por los paneles solares...	Investigación sobre residuos, composición y toxicidad.	Plantea una investigación documental y monográfica sobre los principales componentes de fabricación de los paneles solares más utilizados a nivel mundial, así como los residuos que generarían y su grado de toxicidad. Se concluye que, aunque la mayor parte de los residuos es aprovechable, existe una porción conformada por compuestos tóxicos que pueden generar lixiviados si no se gestionan adecuadamente
6	Claudia Montes	2024	Segunda vida, una mirada holística al reciclaje de paneles solares en proyectos a gran escala	Exploración de modelo de economía circular y planta de reciclaje	Revisa panorama colombiano: sin regulación específica y crecimiento exponencial de paneles. Paneles contienen materiales tóxicos; enfatiza reciclaje para minimizar impacto, pero sin regulación local.
7	Gualdrón Rodríguez, N.	2023	Propuesta de línea base para aprovechar residuos provenientes de paneles solares fotovoltaicos por Enel Colombia	Propuesta para gestión de residuos fotovoltaicos en operaciones de Enel Colombia.	Este proyecto de investigación propone una línea base para la gestión adecuada de los paneles solares fotovoltaicos al final de su vida útil en Colombia, específicamente en las operaciones de Enel Colombia. Se busca aportar soluciones a la problemática de la responsabilidad extendida del productor, proponiendo alternativas para la contaminación por residuos eléctricos y fomentando la construcción de nuevos parques fotovoltaicos.
8	José Julián Quiroz Henao	2023	Transición energética en Colombia: impacto socioambiental de los desechos tecnológicos provenientes del uso de la energía solar	Análisis documental del impacto socioambiental de residuos FV y revisión del marco regulatorio	Identifica plomo, cadmio, estaño, silicio; analiza normativa colombiana y comparativa internacional. Componentes contaminantes (Pb, Cd, Sn), alerta sobre disposición inadecuada y riesgo ambiental
9	Piñeros, D. A., & Cepeda, M. F	2023	Investigación y análisis sobre la disposición final de los residuos generados por los paneles solares como medida de la transición energética en Colombia	Diagnóstico de ventajas/desventajas en reciclaje post-vida útil	Enfoque en reciclaje y reutilización de químicos tras final de vida útil en contexto nacional. Describe potencial reciclaje de vidrio, metales, plásticos; destaca necesidad de esquemas de reúso.
10	Piñeros Huertas, F. S., & Cepeda Triana, J. E.	2023	Investigación y análisis sobre la disposición final de los residuos generados por los paneles solares	Política Pública	Evaluación de vacíos normativos y propuestas de política para mejorar la disposición final de residuos fotovoltaicos.

11	Natalia Guadrón	2023	Propuesta de línea base para aprovechar residuos provenientes de paneles solares fotovoltaicos por Enel Colombia – Natalia Guadrón	Línea base para gestión post-ciclo de vida en operación de Enel	Señala carencia normativa, propone alternativas de gestión de residuos eléctricos/FV. Centra en responsabilidad extendida del productor; aborda contaminación y propuestas de mitigación
12	García, N.	2022	“Usar y Tirar”	Promoción de economía circular mediante el reciclaje de paneles.	Aborda la necesidad de avanzar hacia la sostenibilidad mediante la transición a energías renovables y la circularidad de los materiales. Se destaca el desarrollo de una planta de reciclaje de paneles fotovoltaicos en Teruel, capaz de recuperar hasta el 96% de sus materiales. Este modelo económico circular y descentralizado busca optimizar el uso y reutilización de recursos, alineándose con las exigencias de la Unión Europea para lograr la neutralidad climática en 2050.
13	Esteban-Amaro, R., Lengua, I., & Estellés Miguel, S.	2022	Sostenibilidad en la gestión de residuos de paneles solares en España	Evaluación de métodos mecánicos, químicos y térmicos de reciclaje.	Se centran en los procedimientos existentes para la recuperación de materiales de paneles solares en España, analizan métodos mecánicos, químicos y térmicos, destacando que cada uno presenta inconvenientes dependiendo de la composición de los residuos, enfatizan la necesidad de optimizar estos procesos para minimizar los impactos ambientales y mejorar la eficiencia en la recuperación de materiales valiosos.
14	Moreno Correa, A. P.	2022	Análisis de los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares	Transición energética	Identificación de desafíos logísticos, normativos y sociales en el manejo postconsumo de residuos solares.
15	Bernal Aparicio, D. A., Martínez Cañón, J. C., & Valencia Zuluaga, L. A	2022	Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida en Colombia	Diseño de guía técnica y propuesta de políticas para disposición post-vida útil	Analiza la ausencia de normativas específicas, propone políticas preventivas y recomendadas para ecosistemas sensibles ante aumento de residuos proyección 25–30 años
16	Chaverra Padilla, A. F	2021	Estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos producidos por las celdas fotovoltaicas	Economía circular	Evaluación de alternativas sostenibles para la gestión de residuos fotovoltaicos con enfoque en producción más limpia
17	Giraldo Quiroz, J., & Medina Buelvas, M. C	2021	Evaluación de modelos de negocio basados en economía circular para paneles solares	Modelos de Negocio	Propuesta de esquemas de reutilización y reciclaje con enfoque de economía circular para el sector solar.
18	Ramírez Agudelo, A.	2018	Análisis y propuestas para la disposición final de paneles solares	Análisis del contexto colombiano en gestión de residuos de paneles solares.	Se considera la situación de Colombia respecto a la disposición final de paneles solares fotovoltaicos, identifica la falta de infraestructura y normativa específica para la gestión de estos residuos, lo que podría generar problemas ambientales y pérdida de oportunidades en economía circular, propone que Colombia adopte estrategias de países como Alemania, España y Reino Unido, adaptándolas a su contexto nacional
19	Alejandra Ramírez	2018	Análisis y propuestas para la disposición final de paneles solares fotovoltaicos en Colombia	Evaluación de normativas, estrategias técnicas y reglamentación	Revisión de normativa sobre residuos electrónicos, propuesta de reglamento técnico para productores. Identifica metales pesados (cadmio, plomo, fósforo, boro silicicos dopados); riesgo de lixiviación en ecosistemas sensibles.
20	Recyclia & Recyberica Ambiental	2017	El reciclaje de paneles fotovoltaicos permite recuperar el 88%...	Importancia de procesos adecuados de reciclaje para evitar liberación de materiales peligrosos.	Se puede recuperar hasta el 88% de los materiales. Necesidad de tecnologías eficientes para maximizar recuperación y minimizar impacto ambiental. enfatiza la importancia de procesos adecuados para evitar la liberación de materiales contaminantes como el telurio de cadmio y el dióxido de silicio. La investigación subraya la necesidad de tecnologías de tratamiento eficientes para maximizar la recuperación y minimizar los impactos ambientales
21	IRENA & IEA-PVPS	2016	End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels	Gestión de residuos al final de la vida útil de paneles solares.	Presenta una proyección detallada sobre la gestión de residuos de paneles solares fotovoltaicos al final de su vida útil. Se estima que para 2050, los residuos de paneles podrían alcanzar los 78 millones de toneladas a nivel mundial. El estudio destaca que, si se reciclan adecuadamente, estos residuos podrían generar un valor económico superior a los 15.000 millones de dólares, al recuperar materiales como vidrio, aluminio y silicio. Además, se enfatiza la necesidad de establecer marcos regulatorios específicos, ampliar la infraestructura de reciclaje y fomentar la innovación tecnológica para manejar eficientemente estos residuos. La Unión Europea se menciona como pionera en la implementación de normativas específicas para el reciclaje de paneles solares, exigiendo a los productores financiar la recogida y reciclaje de los mismos.
22	Björk, R., & Nielsen, K. K.	2015	The performance of a combined solar PV and TEG system	Evaluación del rendimiento de un sistema combinado de PV y TEG.	analiza el rendimiento de un sistema combinado de paneles solares fotovoltaicos (PV) y generadores termoelectrónicos (TEG). Se evaluaron cuatro tipos de paneles comerciales: silicio cristalino (c-Si), silicio amorfo (a-Si), seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS) y telurio de cadmio (CdTe), junto con un TEG de telurio de bismuto. Los resultados indican que, en general, la integración de TEG con paneles PV no mejora significativamente la eficiencia del sistema debido a la baja eficiencia de los TEG y al aumento de temperatura que afecta negativamente al rendimiento de los paneles. Sin embargo, en el caso específico de los paneles de silicio amorfo, se observó una ligera mejora en el rendimiento al combinarse con TEG. Este estudio resalta la importancia de considerar las características térmicas y de eficiencia al diseñar sistemas híbridos para optimizar la generación de energía y minimizar los residuos.