



Vigilada Mineducación

**Transición Energética en Colombia:  
Impacto socioambiental de los desechos tecnológicos provenientes del uso  
de la energía solar**

**Energy transition in Colombia:  
Social and environmental impact of technological waste from the use of solar  
energy**

**Autor**

**José Julián Quiroz Henao**

**Asesores**

**Dra. Beatriz Uribe – Asesora metodológica**

**Dr. Andrés Escobar – Asesor temático**

**Maestría en Administración**

**Universidad EAFIT**

**Escuela de Administración**

**2023**

## Contenido

Lista de tablas.....	5
Listado de figuras.....	5
Resumen.....	6
ABSTRACT.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
JUSTIFICACIÓN.....	21
OBJETIVOS.....	24
OBJETIVO GENERAL.....	24
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
MARCO TEÓRICO.....	25
ANTECEDENTES.....	25
Antecedentes Internacionales.....	25
Antecedentes Nacionales.....	27
MARCO CONCEPTUAL.....	29

Transición Energética Sostenible .....	29
La Posición de Colombia ante la Transición Energética.....	30
Energía Solar Fotovoltaica.....	32
Paneles Solares.....	33
Ventajas y Desventajas de la Energía Fotovoltaica en Colombia.....	34
Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica de uso Residencial.....	35
Residuos Electrónicos Derivados del Uso de los Paneles Solares.....	36
MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL EN COLOMBIA .....	41
DISEÑO METODOLÓGICO.....	43
ENFOQUE.....	43
TIPO.....	43
DISEÑO.....	44
ESTRATEGIAS PARA RECABAR LA INFORMACIÓN.....	45
DESARROLLO DEL TRABAJO .....	46
Impacto del Uso de la Energía Solar .....	46
Riesgos a ser Tomados en Cuenta .....	48

Daño Potencial que Pueden Generar los Componentes de las Paneles Solares .....	49
ESTRATEGIAS DE DISPOSICIÓN EN PAÍSES EUROPEOS.....	50
La Unión Europea.....	50
Alemania, España y Reino Unido .....	53
POLÍTICAS PÚBLICAS Y ESTRATEGIAS DE DISPOSICIÓN EN COLOMBIA PARA LOS RESIDUOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS. ...	56
La Necesidad de Reformar el Sector Energético en Colombia.....	60
CONCLUSIONES .....	62
Referencias.....	66

### **Lista de tablas**

Tabla 1: Contraste de ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica .....	35
Tabla 2: Materiales que componen los paneles solares de silicio policristalino .....	37
Tabla 3: Materiales que componen los paneles solares de películas delgadas.....	37
Tabla 4: Marco normativo de Colombia .....	41
Tabla 5: Estrategias aplicadas en Alemania, España y Reino Unido .....	54

### **Listado de figuras**

Figura 1: Indicadores de actividad económica .....	13
Figura 2: Proyección de demanda de energéticos 2022-2036.....	14
Figura 3: Tendencias del suministro de energía primaria a partir de fuentes de energía renovables .....	15
Figura 4: Capacidad instalada de la energía solar en Colombia.....	16
Figura 5: Partes de un panel solar fotovoltaico .....	34
Figura 6: Edificaciones con Sistemas de energía alternativa.....	36
Figura 7: Comparativa del potencial de reciclaje .....	40
Figura 8: Clasificación de los residuos de los módulos fotovoltaicos.....	41

## Resumen

La necesidad de apelar a fuentes de energía alternativas y al proceso de transición energética que se lleva a cabo en Colombia ha hecho que los sistemas fotovoltaicos sean considerados como una fuente de generación de electricidad amigable con el medioambiente y sin huella de carbono. Sin embargo, los residuos que genera incluyen contaminantes como el plomo, el cadmio, el estaño y el silicio, y de no encontrar procesos adecuados de recolección, traslado y disposición de estos materiales, podrían convertirse en un problema para el medioambiente y para los seres humanos. De acuerdo con Holger (2022), a nivel global se generan más de treinta mil toneladas de residuos de paneles solares al año, y se estima que para el 2035 esa cantidad llegará al millón de toneladas por año. Por lo tanto, se realiza esta investigación documental con el objetivo de analizar el impacto socioambiental que generan los desechos tecnológicos provenientes del uso de la energía solar, estudiando el marco regulatorio colombiano, la forma como otras sociedades han enfrentado el problema y alternativas de solución propuestas en la literatura científica. Para tal fin se practica una investigación cualitativa, descriptiva, documental y no experimental que dará cuenta de los componentes potencialmente dañinos presentes en los paneles fotovoltaicos, el marco regulatorio colombiano y la posición del Estado ante la transición energética.

**Palabras Clave:** Desechos tecnológicos, impacto ambiental, paneles fotovoltaicos, transición energética.

## Abstract

The need to appeal to alternative energy sources and the energy transition process that is taking place in Colombia finds photovoltaic systems as a source of electricity generation that is friendly to the environment and without a carbon footprint. However, the waste it generates includes contaminants such as Lead, Cadmium, Tin, and Silicon that, if adequate collection, transfer, and disposal processes are not found, could become a problem for the environment and for human beings. According to Holger (2022), globally more than 30 thousand tons of waste from solar panels are generated per year and it is estimated that by 2035 that amount will reach one million tons per year. Therefore, this documentary research is carried out with the objective of analyzing the socio-environmental impact generated by technological waste from the use of solar energy, studying the Colombian regulatory framework, the way in which other societies have faced the problem and proposed alternative solutions. in the scientific literature. For this purpose, a qualitative, descriptive, documentary and non-experimental investigation is carried out that revealed the potentially harmful components present in photovoltaic panels, the Colombian regulatory framework and the position of the State regarding the energy transition.

**Keywords:** Energy transition, environmental impact, photovoltaic panels, technological waste.

## Introducción

El desarrollo industrial que tiene la sociedad actual en buena medida está influenciado por el uso de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural; esto ha posibilitado el crecimiento económico e industrial durante los últimos siglos. Sin embargo, ha dejado una huella indeleble en el medioambiente, por lo que se ha vuelto imperiosa la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía renovables, con énfasis en la sostenibilidad; entre las más usadas hoy en día se destacan la energía eólica, la solar, la biomasa, la hidráulica, la oceánica y la geotérmica como alternativas al uso de combustibles fósiles, que además de su agotamiento, producen los gases que causan el efecto invernadero.

En ese sentido, el impacto sobre el medioambiente y la salud de las personas, como consecuencia del consumo de combustibles fósiles, ha hecho que los Estados tomen conciencia sobre la necesidad de diseñar políticas públicas y promover una transición energética que conlleve un proceso de generación, acumulación y distribución de energías cada vez más limpias, sostenibles y eficientes. Con base en estas premisas, en los últimos años el Estado colombiano ha dado pasos importantes en esa dirección, y tomando como referencia la labor de otros países, como Alemania, Australia, España, Estados Unidos y Japón, ha orientado las políticas públicas hacia el uso de energías limpias, sobre todo la eólica y la fotovoltaica.

La situación geográfica de Colombia cerca del radio ecuatorial es, en palabras de Berrío y Zuluaga (2014), privilegiada, pues el país cuenta con ingentes cantidades de luz solar durante todo el año, lo que le permite desarrollar sistemas de generación que beneficiarían tanto a las grandes ciudades como a la zona rural, a escala industrial y en edificaciones de tipo residencial. Por eso se han establecido diferentes normas para regular y promover la inversión en este tipo de energías. Entre ellas se destaca la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015) suscrita por Colombia, que plantea como objetivo fundamental la consolidación de prácticas de eficiencia energética que cumplan con las metas planificadas en la COP21.

Con base en lo anterior, el Gobierno colombiano está dedicado a la consolidación del plan de acción con predominio de la eficiencia energética, y como ejemplo de ello cabe destacar el plan de ciudades energéticas, que incluye pruebas piloto en Fusagasugá, Barranquilla, Montería y Pasto para el aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía. El concepto de *transición energética justa* incluye una transformación del modelo cultural y de las costumbres del consumidor colombiano para que pueda responder a los grandes pasivos ambientales que se han generado durante décadas de actividades extractivas.

En este plan, la energía fotovoltaica cobra especial importancia debido a las ventajas competitivas que tiene el país, pero no se puede obviar la pregunta de qué hacer con los desechos tecnológicos producto del final de la vida útil de estos proyectos, o de la obsolescencia de estos equipos, que tienen algunos

componentes que de no ser dispuestos y tratados de forma adecuada pueden producir graves daños al ecosistema y a la salud de los colombianos. Es por eso que este documento pretende determinar los posibles impactos socioambientales de los desechos tecnológicos a través de una metodología descriptiva no experimental y de recopilación documental.

La investigación pretende conocer las estrategias puestas en práctica para enfrentar esta situación en otras partes del mundo, como es el caso de países como Alemania, España y el Reino Unido, para tomarlas como referencia y que junto a las políticas públicas y los planes diseñados en Colombia nos permitan comprender cuál es la mejor forma de gestionar y disponer estos residuos, teniendo en cuenta el potencial que tienen de afectar a los seres humanos y al medioambiente, sobre todo en a través de los suelos y las fuentes hídricas.

El trabajo está estructurado en cuatro grandes bloques, en los que se describen como aspectos introductorios aquellos elementos que conforman el planteamiento del problema y la justificación de la investigación, para dar lugar a la proposición de un conjunto de objetivos que sirven de guía a la investigación. A continuación, se presenta el cuerpo teórico que sustenta el estudio, comenzando con un grupo de antecedentes de investigaciones similares, llevadas a cabo tanto en Colombia como en universidades del extranjero, el marco conceptual y el ordenamiento jurídico que regula la actividad. Posteriormente se detallan los aspectos metodológicos que establecen la forma, el diseño, la técnica y las

estrategias asociadas al proceso investigativo. El documento finaliza con un conjunto de conclusiones y recomendaciones.

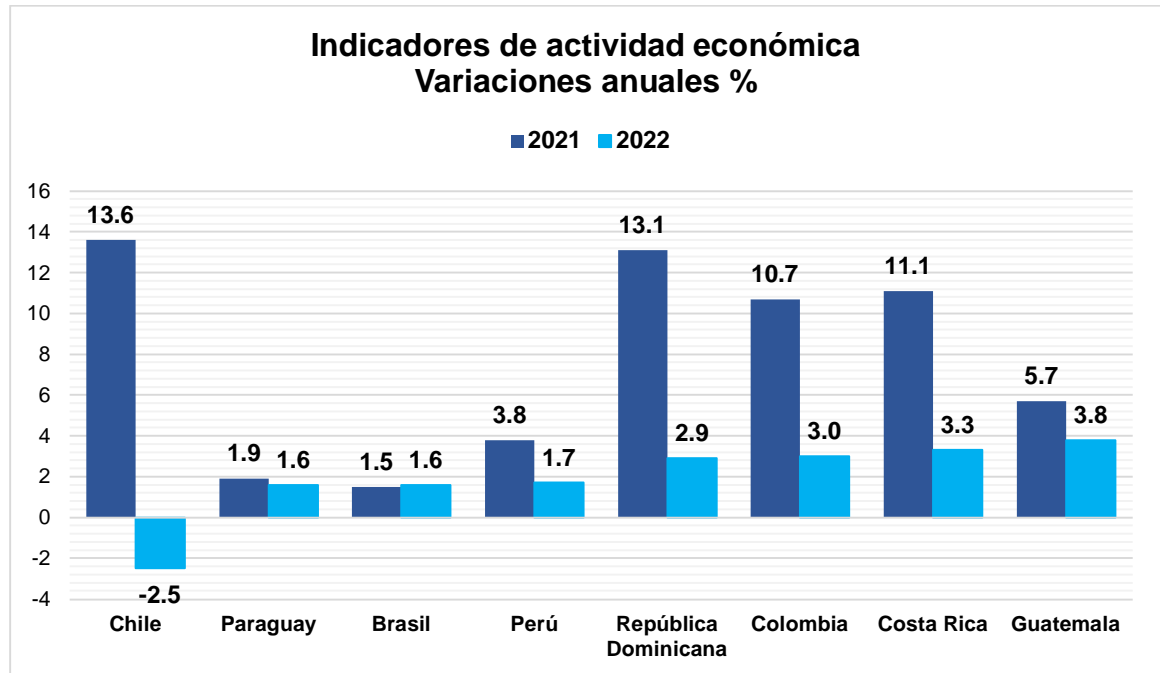
## **Planteamiento del problema**

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022), el año 2019 ocupó el segundo lugar histórico en cuanto a la temperatura promedio de todos los tiempos; de igual forma, los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otros gases de invernadero repuntaron significativamente hasta alcanzar niveles récord para ese año. En consecuencia, la humanidad está viviendo una afectación asociada al cambio climático.

Para muestra, el período 2010-2019 fue la década con el calor más elevado del que se tiene registro en la historia. Obviamente, esta realidad tiene efectos importantes en la naturaleza, la economía y la sociedad en general. La ONU (2022) estimó que como consecuencia de la pandemia del covid-19 y las restricciones a las que obligó, se presentaron una recesión económica y una desaceleración de todos los procesos económicos, lo que redundó en una mejora de los índices de contaminación ambiental. El problema es que se trata de una situación puntual y no de la solución al problema, por lo que el organismo multilateral prevé un repunte en el cambio climático luego de la pandemia, ya que la economía mundial intentará recuperarse y las emisiones serán mayores.

Por otra parte, la economía colombiana ha tenido un repunte importante luego de la crisis de la pandemia del covid-19, en comparación con sus pares latinoamericanos, tal como se evidencia en la figura 1:

Figura 1: Indicadores de actividad económica




Fuente: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022)

Este indicador sintetiza un conjunto de datos macroeconómicos para cuantificar la evolución de la actividad económica real a corto plazo, y evidencia el incremento de la actividad económica colombiana una vez superado el escenario de la pandemia de covid-19. Este panorama de crecimiento que espera tener Colombia requerirá de un incremento en el consumo de energía.

De igual forma, las estimaciones de demanda de energía eléctrica muestran una tendencia de crecimiento sostenido en los diversos escenarios analizados por la Unidad de Planeación Minero Energética 2022-2036 (UPME, 2022) (ver figura 2), que ofrecen estimaciones de mediano plazo del consumo de energía eléctrica a nivel nacional, mediante un análisis técnico, para informar de forma objetiva a


quienes aspiran a llevar a cabo inversiones en el sector energético y orientar sobre los proyectos y las apuestas prioritarias del sector.

Figura 2: Proyección de demanda de energéticos 2022-2036



**Resumen de resultados**

Energético	Tasa de crecimiento 2023	Tasa de crecimiento 2024	Promedio de tasa de crecimiento 2025-2030	Promedio tasa de crecimiento 2031-2036	Promedio tasa de crecimiento 2022-2036
Energía eléctrica	2,22%	2,49%	2,42%	2,43%	2,48%
Gas Natural	0,11%	0,41%	0,41%	0,39%	0,50%
ACPM	0,68%	1,20%	1,05%	0,92%	0,93%
Gasolina	-1,53%	2,46%	1,75%	1,19%	1,28%
Jet Fuel	7,23%	8,35%	4,38%	3,19%	5,91%
GLP	1,96%	1,95%	2,44%	2,17%	2,20%

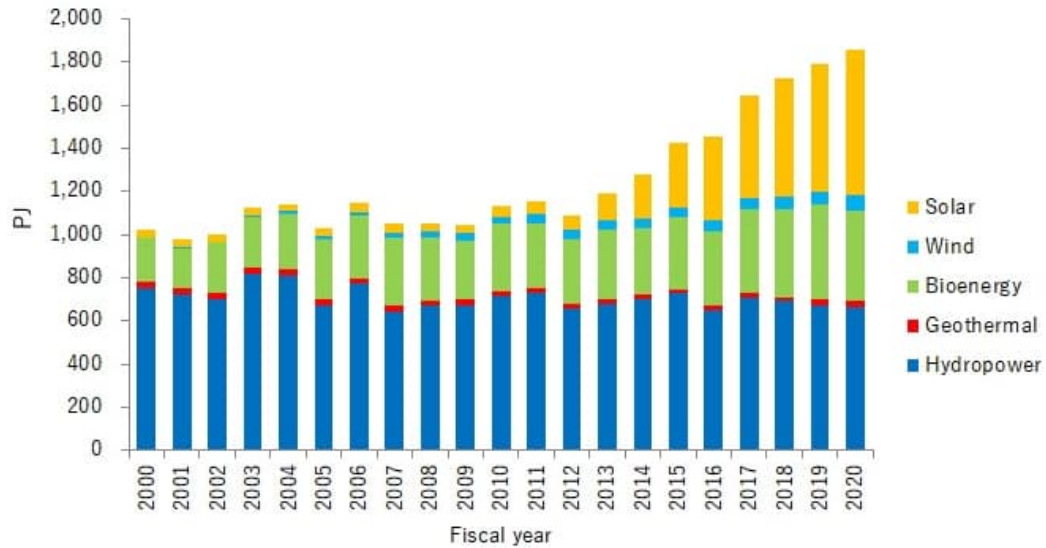


Fuente: UPME (2023)

De igual forma, el Acuerdo de París suscrito por Colombia en el 2015 apuesta por que los Estados tomen acciones coordinadas para atender esta emergencia climática, reforzando la capacidad de los países para enfrentar los efectos del cambio climático con estrategias tecnológicas adecuadas y fuentes de financiación que permitan eliminar las brechas entre países.

A nivel mundial, las estadísticas que maneja el Renewable Energy Institute (2022) evidencian el crecimiento exponencial que ha tenido la generación de energía solar, en comparación con el resto de las fuentes de energía renovable.

Figura 3: Tendencias del suministro de energía primaria a partir de fuentes de energía renovables

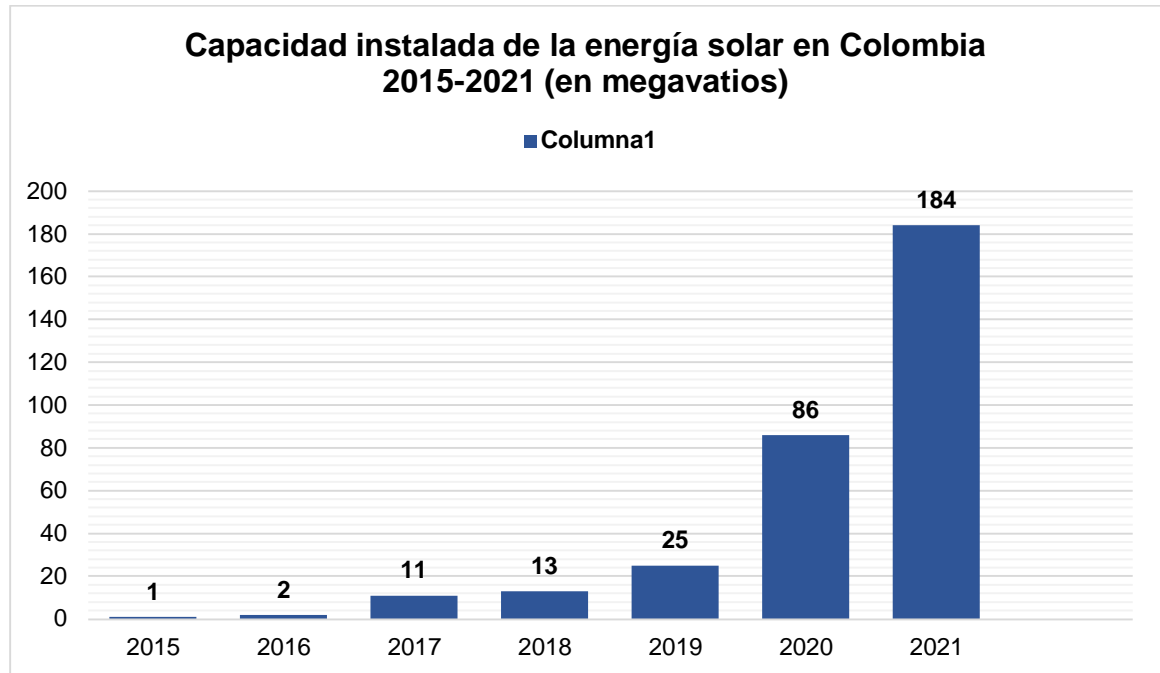


Fuente: Renewable Energy Institute (2022)

Esta proyección permite apreciar el incremento en el uso de la energía solar fotovoltaica como una fuente de energía atractiva, con beneficios económicos, ambientales y sociales, que contribuye significativamente a la reducción de emisiones contaminantes.

Ante este panorama, la decisión del Estado colombiano fue la de enfrentar el cambio climático con una agenda de transformación y transición energética que incluye aspectos legales, tributarios, técnicos, ambientales y educativos. Una de las líneas de desarrollo es el aprovechamiento de paneles fotovoltaicos como alternativas generadoras de energía limpia y eficiente, que han evolucionado positivamente, tal como se desprende de la figura 3.

Figura 4: Capacidad instalada de la energía solar en Colombia



Fuente: Statista (2022)

Es evidente la tendencia alcista que ha registrado la capacidad instalada de generación de energía solar en Colombia, con un aumento constante del indicador para el período evaluado. Para el año 2021, con base en la información de WTW (2023), se logró la meta de 184 megavatios, lo que representó un incremento cercano al 114 % con respecto al año anterior. Hoy en día están operativas plantas solares fotovoltaicas en los departamentos de Cesar, Córdoba, La Guajira, Tolima y Valle del Cauca.

Sin embargo, se espera que para el 2023 la potencia fotovoltaica instalada en Colombia se quintuple debido a las adjudicaciones en subastas estatales (la

del cargo por confiabilidad y la de energías renovables a largo plazo) y los avances de emprendimientos privados ya planificados.

La transición energética en Colombia forma parte fundamental de los 17 objetivos de desarrollo sostenible implementados por el Gobierno colombiano, ya que busca reducir la emisión de carbono y de gases de efecto invernadero, producto del uso de combustibles fósiles. Lo que se quiere es generar electricidad a través de energías limpias, como la solar, la eólica, la biomasa y la geotérmica, buscando lograr un 25 % de la participación de las fuentes no convencionales de energías renovables dentro de la matriz energética de Colombia.

De esta manera se viene implementando una serie de proyectos solares para techos y granjas en todo el territorio colombiano, lo que implica la importación de una cantidad considerable de productos para su instalación. Para la ejecución, se deben importar paneles solares, inversores, baterías para el almacenamiento de energía, estructuras metálicas, reguladores de carga, cables eléctricos, interruptores y algunos elementos más que complementan cada uno de estos planes, lo que a futuro va a generar una acumulación abismal de estos componentes, y por lo tanto, el incremento desmedido de toneladas de basura electrónica.

Ahora bien, este incremento sustancial trae consigo el inconveniente que implica el manejo de los desechos tecnológicos que se derivan de esta actividad, y ante esta situación surgen dudas sobre como manipular, almacenar y disponer de

estos elementos que en buena medida son perjudiciales para el medioambiente y los animales, e incluso pueden provocar daño al ser humano. Esta situación llama la atención de quienes se dedican a la actividad ambientalista por el potencial riesgo que representa. De ahí que se haga necesario conocer tanto el marco jurídico, como las políticas públicas que rigen en este campo, incluyendo las leyes, los decretos y las resoluciones que conforman el normograma que regula esta área en Colombia.

De igual forma es necesario tomar en cuenta que la disminución en el costo de la puesta en funcionamiento de las instalaciones de energía solar ha permitido, según el informe de la International Energy Agency (2021), que en los últimos años la energía renovable sea más accesible, lo que ha generado un incremento en su uso desde una perspectiva no solo industrial, sino también en el ámbito de los hogares a nivel mundial. Sin embargo, la vida útil de los paneles solares se estima entre 25 y 30 años en pleno funcionamiento, lo que significa que los primeros paneles instalados en el mundo ya deben comenzar a ser retirados, y este hecho se irá incrementando progresivamente con el resultado de mayores niveles de residuos y desechos junto a potenciales consecuencias ambientales de gran magnitud.

Esta situación obliga a que se analicen las estrategias que puedan proveer soluciones para el asunto del reciclaje y la reutilización de los paneles solares que progresivamente serán sustituidos. De ahí la importancia de que estos sistemas fotovoltaicos proporcionen soluciones de energía renovable y no representen una carga de residuos para las generaciones futuras. Es menester que la sociedad

indague por lo que se puede hacer con los paneles solares usados, tomando en cuenta que la energía solar está teniendo su momento de apogeo. Desde principios del 2000, la cantidad de paneles solares instalados en todo el mundo ha crecido exponencialmente, y se espera que continúe haciéndolo durante décadas.

Esta situación de peligro potencial hace que resulte recomendable dar a conocer a los usuarios y a la comunidad en general información sobre los componentes que podrían generar riesgos para la salud, aportando datos sobre los niveles de concentración de cada uno y sobre todo acerca de la manera correcta de almacenar, utilizar y disponer de este tipo de desechos para evitar que el desconocimiento y la falta de experticia de los usuarios pueda convertirse en una situación que afecte su salud o el medioambiente.

De lo anterior se derivan las siguientes preguntas de investigación:

**¿Cuál es el impacto a nivel socioambiental que pueden producir los desechos tecnológicos provenientes del uso de la energía solar?**

**¿Se pueden identificar los componentes potencialmente riesgosos que forman parte de los paneles fotovoltaicos?**

**¿En Colombia existen normas jurídicas y políticas públicas que contribuyan al manejo adecuado de los desechos que puedan ser dañinos para el medioambiente y para las personas?**

**¿Cuáles estrategias se pueden sugerir para disponer adecuadamente de los desechos tecnológicos?**

## Justificación

El escenario energético mundial se mueve bajo una espada de Damocles debido al impacto que han causado décadas de extracción y consumo de combustibles fósiles. En ese sentido, la energía solar surge como alternativa gracias a que no emite gases de efecto invernadero y no aumenta en el calentamiento global. Por lo tanto, es una tecnología renovable y eficiente, y un elemento importante en la lucha contra el cambio climático.

Una de sus características es que no produce elementos tóxicos ni contaminantes que perjudiquen al medioambiente y al ser humano con sustancias que pueden acidificar tanto los suelos como las fuentes hídricas. La energía solar no genera residuos ni contaminación del agua, un factor muy importante que contrasta con las fuentes tradicionales de energía, como el carbón, el gas, el petróleo y la energía nuclear. Otros factores que se deben considerar son la cantidad de reservas y la disponibilidad de la materia prima. En ese sentido, la posición geográfica de Colombia la hace muy atractiva, ya que cuenta con radiación solar durante todo el año y esto le da un carácter sostenible a mediano y largo plazo.

Sin embargo, el incremento en el uso de sistemas fotovoltaicos como consecuencia del proceso de transición energética le está aportando positivamente al planeta, combatiendo el calentamiento global, pero a la vez está generando un gran desperdicio, cuando los sistemas terminan su vida útil. Hasta el momento ningún país del mundo cuenta con un plan real para manejar de forma eficiente

estos desperdicios. Según estimaciones de la ONU (2022), para el año 2050 los proyectos generadores de energías renovables producirán aproximadamente 78 millones de toneladas de basura electrónica.

Los desperdicios tóxicos generados a partir de los paneles solares requieren ser incluidos, de forma urgente, en proyectos de reciclaje enfocados en la basura electrónica. Esto plantea un problema serio y requiere de soluciones especializadas; de lo contrario, estaríamos inmersos en millones de toneladas de desperdicios cada año. Uno de los problemas más importantes tiene que ver con el lugar a donde llevaremos todos estos desperdicios electrónicos y la manera en que se hará la disposición final de los mismos en nuestro país.

El cambio en la matriz energética en Colombia para los próximos 20 años, de acuerdo con el IDEAM (2023), prevé un incremento exponencial en la utilización de paneles solares para la generación de energía a través de fuentes fotovoltaicas, algo que beneficiará el país desde el punto de vista de la generación de energía limpia; pero un aspecto negativo es que se estarán incrementando considerablemente las toneladas de basura electrónica y la contaminación que emiten todos estos productos cuando finalicen su vida útil.

Estudios realizados en España (El País, 2021) y Chile (Induambiente, 2022) ponen en evidencia la cantidad de residuos que pueden convertirse en un problema ambiental. Las celdas de silicio que conforman los parques solares fotovoltaicos deben ser sustituidas en promedio cada 25 años, y eso deja abierto el

cuestionamiento sobre a dónde irán a parar estos paneles una vez desechados. Esto puede transformarse en un problema mayor, ya que el recambio de los parques solares fotovoltaicos requerirá de políticas claras de manejo y disposición, lo que obliga a estimar la contaminación que tendrá Colombia a partir de estos paneles solares, y si se tiene una norma clara y precisa acerca de su reciclaje.

La disposición final de los residuos electrónicos determinará la manera en que afectarán las zonas geográficas donde se depositen, a nivel ambiental y social, dado que las comunidades de estas zonas serán las directamente afectadas con este reciclaje, y lo más grave, que también sucede en otros países, es que este reciclaje proviene de otras zonas.

Con este estudio se pretende dar a conocer los aspectos positivos que implica la utilización de energía limpia generada por paneles solares fotovoltaicos, sin dejar de lado los potenciales efectos desfavorables que implica el uso de esta tecnología y que deben ser tomados en cuenta en el momento de evaluar el desarrollo de proyectos de estas características, de tal forma que todos los involucrados conozcan las mejores prácticas y así evitar probables riesgos para el medioambiente y la salud humana, específicamente en las comunidades más vulnerables, que son las que finalmente terminan más afectadas por la disposición incorrecta de la basura electrónica.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Analizar el impacto socioambiental que generan los desechos tecnológicos provenientes del uso de la energía solar.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar los componentes riesgosos que forman parte de las células fotovoltaicas.
- Determinar el marco regulatorio colombiano sobre el tema de los desechos electrónicos.
- Establecer, con base en la literatura, el potencial impacto socioambiental de los desechos tecnológicos de los paneles fotovoltaicos.
- Proponer algunas estrategias para la correcta disposición de estos materiales peligrosos.

## **Marco teórico**

### **Antecedentes**

Con la finalidad de ampliar las perspectivas de la investigación y conocer los resultados de investigaciones similares sobre el tema del impacto socioambiental de los desechos tecnológicos provenientes del uso de la energía solar (con base en el proceso de transición energética en Colombia), se realiza una búsqueda de artículos y documentos que permiten establecer un estado del arte del asunto y encontrar coincidencias. A continuación, se referencian los documentos que se consideran de mayor importancia:

### ***Antecedentes internacionales***

Un primer antecedente se presenta en el trabajo de Zambrano (2022), titulado “El manejo de los residuos electrónicos y el derecho de la reparación integral al ecosistema en el Ecuador”, quien realiza un análisis del impacto que los residuos electrónicos causan en el medioambiente; para esto contrastó diversos textos, tanto técnicos, como jurídicos. En la investigación, de carácter dogmático-histórico y de tipo explicativo, se practicaron encuestas y entrevistas a una muestra de ciudadanos, y entrevistas a profesionales en el área medioambiental. El investigador determinó la necesidad de adoptar procesos alternativos para el tratamiento de esos desechos, tomando en cuenta el vacío jurídico que encontró en la normativa ecuatoriana. En ese sentido, propone la generación de planes y protocolos

específicos, que incluyan sanciones por incumplimiento, para disponer de forma efectiva de estos residuos, procurando la reparación integral del medioambiente.

De igual forma Orellana (2021), en su trabajo de grado titulado “Transición energética sostenible y régimen energético de Argentina y Bolivia” planteó la necesidad de identificar y analizar los avances que se han dado gracias a la aplicación de las políticas de transición energética en Argentina y Bolivia, y su impacto sobre el cambio climático. Para cumplir con este objetivo, estudiaron las contribuciones nacionales determinadas, sus procesos y las metas propuestas por los dos Gobiernos sobre la ruta de transición de las fuentes de energía fósil a las energías renovables. Igualmente, se destaca la necesidad de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, incorporando otras fuentes de generación renovables y no convencionales, de tal manera que se puedan regular los atributos y la velocidad de expansión, además del impacto sobre el medioambiente, lo que requiere de un rol protagónico del Estado, junto a una participación relevante de la empresa privada, para conformar una nueva gobernanza del sistema energético con nuevas estructuras institucionales y normativas, y planes e instrumentos de gestión.

Merchán *et al.* (2020), por su parte, analizaron el manejo de los desechos tecnológicos y su impacto ambiental debido al desconocimiento que se tiene de la obsolescencia y a la necesidad de retirar cada cierto tiempo los aparatos tecnológicos. En ese orden de ideas, los investigadores evaluaron el impacto que esta acumulación de chatarra tecnológica genera en el entorno. Además, proponen incentivar la reutilización y el reciclaje de los desechos tecnológicos como acción

primordial para solucionar el fenómeno. Aplicaron una metodología descriptiva, correlacional y no experimental sobre una población de 10 proveedoras de servicios tecnológicos en el cantón de Jipijapa. La recolección de datos estuvo concentrada en la aplicación de una encuesta sobre un cuestionario de tipo Lickert. Para analizar los resultados, los autores aplicaron conceptos de estadística descriptiva que les permitieron evidenciar cómo el 80 % de los desechos tecnológicos que generan las empresas se deposita en la basura residencial, con una profunda ineficiencia en su manejo y su disposición por parte de las empresas.

### ***Antecedentes nacionales***

Moreno (2022), en su trabajo de investigación titulado “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”, concentró su atención en la gestión para el desensamble de proyectos solares fotovoltaicos que generan una cantidad de residuos aprovechables que por desconocimiento de los fabricantes y los consumidores se han convertido en un problema de contaminación ambiental; la mala gestión y la disposición inadecuada de los desechos generan impactos importantes sobre el medioambiente. La investigación partió de la identificación y la descripción tanto de los espacios, como del tipo de residuos que se generan una vez concluida la vida útil de los componentes de un proyecto solar fotovoltaico. El estudio fue de carácter descriptivo con enfoque cualitativo, se apoyó en la observación documental y concluyó que la mayoría de los paneles solares usados en Colombia tienen un porcentaje superior al 90 % de

recuperación y reutilización en nuevos procesos industriales, aunque existe un grupo de elementos con alto grado de toxicidad. En cuanto a la normatividad ambiental, se concluye que las políticas de manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos son insuficientes para minimizar los impactos sobre el medioambiente, por lo que se sugiere el diseño de políticas públicas sobre el tema.

Castro (2021), en su investigación titulada “Evaluación para proyectos de implementación de sistemas solares fotovoltaicos en la infraestructura gubernamental de Sabana Centro”, realizó una evaluación del uso de sistemas solares fotovoltaicos con énfasis en los aspectos legales, técnicos, financieros y ambientales. Desde el punto de vista metodológico, los investigadores se decidieron por una revisión bibliográfica para identificar las categorías investigadas, diseñar una herramienta de evaluación y contrastar los resultados de la puesta en funcionamiento del proyecto con respecto al diseño y al impacto que genera sobre las variables técnicas, financieras y ambientales. Los resultados evidenciaron la necesidad de analizar el impacto de la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en la transformación de la matriz energética, en la que se incluyen la eficiencia energética, la disminución de emisiones y el impacto sobre el medioambiente como consecuencia de estas.

Novoa (2020), por su parte, analizó la viabilidad ambiental de la implementación de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica de la finca Cardón del municipio Iconozo (Tolima), evaluando las condiciones económicas y los beneficios medioambientales, y contrastando los

efectos de los paneles fotovoltaicos en la finca. Metodológicamente, el investigador se decantó por un método mixto a través de la observación directa y las encuestas a los involucrados en el desarrollo del proyecto, para identificar el impacto medioambiental apoyado en una matriz de Leopoldo, que contrastó la magnitud y la importancia de los factores evaluados. El investigador demostró que financieramente no había viabilidad para el proyecto, y sin embargo es una alternativa que favorece al medioambiente, al ser una fuente de energía mucho más limpia. Otro aspecto relevante es que a partir de los resultados obtenidos se determinó que implementar un sistema de energía fotovoltaica disminuye significativamente el impacto sobre el entorno ambiental que causa la energía convencional, y que esta energía alternativa puede ser utilizada en sectores rurales dada la condición de inestabilidad y vulnerabilidad del servicio de energía eléctrica. De igual forma, se prevé que gracias a la progresiva masificación en el uso de este tipo de equipos, los costos disminuirán y harán rentable financieramente el proyecto.

## **Marco conceptual**

### ***Transición energética sostenible***

El concepto de transición energética sostenible hace referencia al proceso mediante el cual la sociedad tiende a reemplazar los insumos energéticos derivados de combustibles fósiles por recursos renovables sostenibles, de tal manera que el nivel de suministro energético sea suficiente para satisfacer la demanda per cápita (Banco Interamericano de Desarrollo, 2020). En ese sentido, la transición no está

signada solamente o principalmente por un cambio de fuentes de energía, sino de políticas macroeconómicas, sociales y ambientales.

Este concepto, de acuerdo con el criterio del Observatorio de Sostenibilidad de España (2022), se relaciona con la necesidad de modificar la estructura y los esquemas de producción, distribución y consumo de energía, haciendo que estos sean más amigables con el medioambiente, los recursos naturales y la biodiversidad. Ahora bien, con base en la opinión de Fornillo (2018), esa transformación incluye un cambio social que incluya el diseño de políticas públicas, la contribución de la empresa privada y la toma de conciencia de la ciudadanía con respecto al uso responsable de las fuentes de energía.

### ***La posición de Colombia ante la transición energética***

Entre las políticas adelantadas por el Ministerio de Minas y Energía (Minenergía, 2021), se incluyen tres objetivos prioritarios: en primer lugar, migrar a un sistema energético eficiente y competitivo, en el que se promueva el uso masivo de energías renovables no convencionales, junto a la adopción de nuevas tecnologías; de igual forma, eliminar las brechas energéticas, gracias a la masificación en el territorio nacional; y convertir a Colombia en líder de la lucha contra el cambio climático. Estos aspectos incluyen la promoción de sistemas de movilidad sustentables, el uso de combustibles de baja emisión de carbono, incentivando un parque automotor que utilice combustibles de baja o ninguna

emisión, junto al diseño de un conjunto de políticas públicas que fomenten consumos eficientes en las empresas, los comercios y el área residencial.

El Estado, a través del Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2019), introdujo en el Plan Nacional de Desarrollo un conjunto de medidas específicas para incentivar el uso de energías renovables no convencionales y la eficiencia energética. En ese sentido, se eliminaron los trámites burocráticos innecesarios para promover el uso de sistemas fotovoltaicos con exenciones al impuesto a las ventas para las compras de paneles solares y controladores de carga; además, se promulgó la Ley 1943 (2018), que incluía incentivos especiales para el sector energético, como la disminución progresiva de la alícuota de impuesto sobre la renta, que pasó del 33 % en el 2019 al 30 % para el año 2022, teniendo en cuenta que el total del impuesto a las ventas pagado por concepto de compra o construcción de activos productivos se asumiría como deducción en el impuesto de renta y el impuesto de industria y comercio.

Desde el 2023, el Gobierno ha reiterado el compromiso con la transición de una economía que depende de los combustibles fósiles a una productiva (Minenergía, 2023), manifestando la importancia que tiene la lucha contra el cambio climático a través de la descarbonización global de la economía. Es una responsabilidad artera e insistió en que esta urgencia radica en el deber vital y ambiental asociado a la lucha contra el cambio climático, pero también a la responsabilidad política frente a la necesidad de preparar al país para el escenario de la descarbonización global de la economía, gracias a una transición energética

justa, para la que se ha diseñado un instrumento llamado *Hoja de ruta de la transición energética justa en Colombia*.

### ***Energía solar fotovoltaica***

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) define la energía solar fotovoltaica como “la energía producida por reacciones nucleares al interior del sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio” (2023, párr. 1). Por tanto, es una energía renovable e inagotable. Aprovechando esta materia prima se han diseñado sistemas basados en células fotovoltaicas que funcionan mediante generadores compuestos por paneles interconectados que transforman la energía solar captada a corriente alterna o directa. De esta manera, se convierte en una fuente de energía limpia y sin emisiones, capaz de contribuir significativamente con la salud del medioambiente.

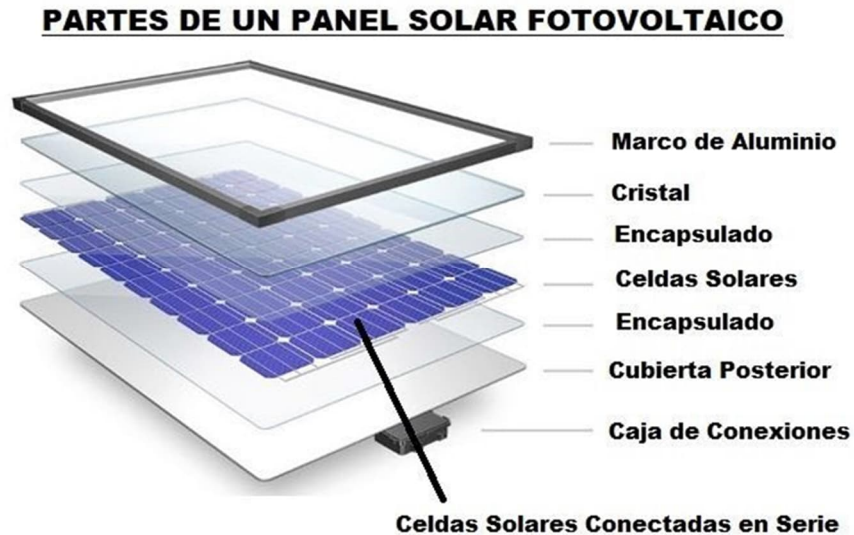
Los sistemas de energía fotovoltaica se componen de células capaces de absorber la luz del sol y transformarla en electricidad aprovechando las características de los materiales que actúan como semiconductores, por los que fluyen los electrones que circulan creando desequilibrios de carga que generan tensión en los terminales de la batería.

### ***Paneles solares***

Con base en el criterio expuesto por Martínez (2018), son dispositivos que captan la energía solar para generar calor o electricidad. En ese sentido, se utilizan tanto a nivel industrial como residencial para producir energía térmica. Un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía del sol para generar calor o electricidad. Están compuestos por celdas que son capaces de transformar fotones en electrones. La luz solar que reciben divide los electrones, y se crea una diferencia de polaridad entre dichos electrones y la célula, generando un flujo eléctrico. Cada panel está compuesto por varias células fotovoltaicas y la cantidad de estas determina la cantidad de energía que puede generar.

Entre los materiales que se utilizan para construir estas células se destacan el arseniuro de galio (GaAs) y el Silicio (Si). Un ejemplo de la conformación de un panel solar se detalla en la siguiente figura:

Figura 5: Partes de un panel solar fotovoltaico



Fuente: Soliclima Energía Solar (2019)

Por tanto, estamos ante dispositivos electrónicos que transforman la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. Con respecto a los indicadores de eficiencia, hay factores que afectan este índice, como la propia estructura del panel, la reflexión, la suciedad y la temperatura de funcionamiento, que influyen significativamente tanto en el nivel de rendimiento como en la potencia de salida (Shahrestan *et al.*, 2017).

### ***Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica en Colombia***

Diversos puntos a favor y en contra se encuentran asociados a este tipo de generadores de energía. En la tabla 1 se muestra la relación de las ventajas y las desventajas más importantes que se encontraron en la literatura estudiada.

Tabla 1: Contraste de ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Amigable con el entorno	Altos costos de instalación
Tecnología limpia	El almacenamiento no es eficiente
Amplitud de los rangos de potencia	Distribución geográfica desigual
Movilidad y fácil manejo	Para uso industrial suele requerir grandes extensiones de terreno
Requiere de poco mantenimiento	Impacto visual
Vida útil prolongada	Intermitencia en la potencia

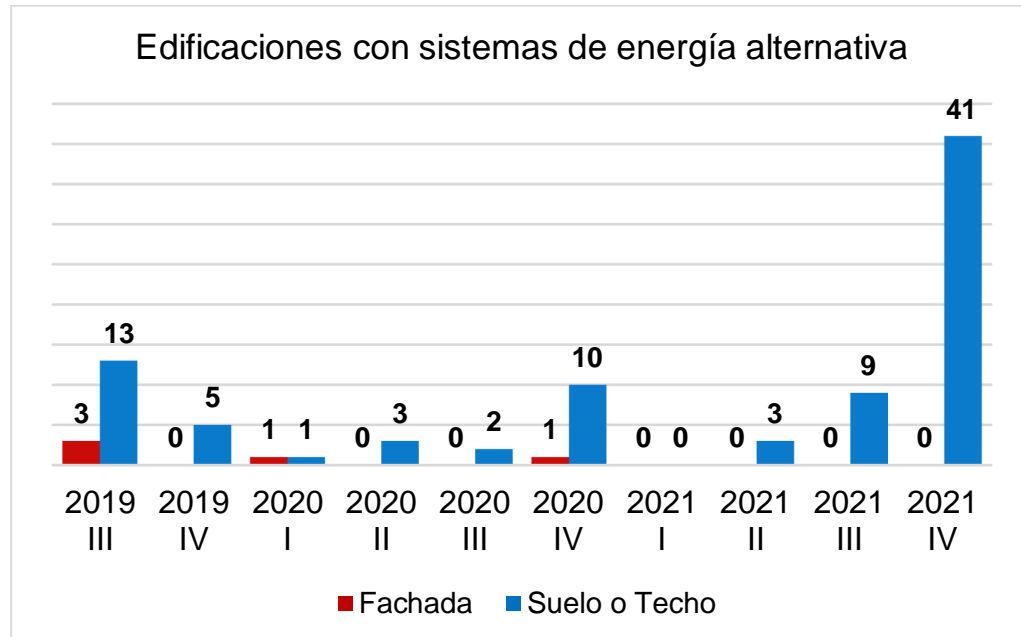
Fuente: Elaboración propia con datos de Celsia (2018)

Tal como destacan Pasqualino *et al.* (2015), se requiere seguir trabajando en el desarrollo de la tecnología para disminuir el impacto de la intermitencia que causan la nubosidad y la lluvia, y maximizar la efectividad haciendo más rentable la inversión.

### ***Sistemas de energía solar fotovoltaica de uso residencial***

De acuerdo con la información que revela el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2022), los datos sobre el uso en Colombia de edificaciones que aplican algún sistema de energía alternativa son los siguientes:

Figura 6: Edificaciones con sistemas de energía alternativa



Fuente: Censo de Edificaciones del DANE (2021)

La tendencia de esta gráfica revela el crecimiento que ha tenido el uso de los sistemas de energía alternativa, que tomando en cuenta las políticas del Estado colombiano y la tendencia mundial de avanzar hacia un esquema en el que se dependa cada vez menos de los combustibles fósiles hacen necesario anticiparse al impacto que tendrán los elementos que se desechen, producto de la generación de energía alternativa.

### ***Residuos electrónicos derivados del uso de los paneles solares***

Esta tecnología trae consigo un inconveniente representado por los residuos que se generan una vez que termina la vida útil de los paneles solares. Los estudios de Bonilla (2016) demuestran que en la actualidad la mayor parte de los paneles

solares que se instalan son los de silicio cristalino y los de películas delgadas, cada tipo con componentes distintos que se exponen a continuación:

Tabla 2: Materiales que componen los paneles solares de silicio policristalino

Capa	Nombre	Materiales	Elementos
1	Vidrio protector	Vidrio templado - sosa	Sodio
			Calcio
			Sílice
			Hierro
2	Encapsulante	Polímero de etil-vinil-acetato	Etileno
			Acetato de vinilo
			Silicio
			Plata
3	Celdas solares	Cintas metálicas	Aluminio
			Plomo
			Estaño
4	Cubierta posterior	Subcapa 1: Polivinilo fluoruro	Polivinilo fluoruro
		Subcapa 2: Tereftalato de polietileno	Tereftalato de polietileno
		Subcapa 3: Polivinilo fluoruro	Polivinilo fluoruro
5	Marco	Aluminio anodizado	Aluminio
6	Cubierta final	Polifenil éter	Polifenil éter

Fuente: Bonilla (2016)

Tabla 3: Materiales que componen los paneles solares de películas delgadas

Capa	Nombre	Materiales	Elementos
------	--------	------------	-----------

			Sodio
1	Vidrio protector	Vidrio templado - sosa	Calcio Sílice Hierro
2	Encapsulante	Polímero de etil-vinil-acetato	Etileno Acetato de vinilo Selenio Galio
3	Celdas solares	Cintas metálicas	Indio Plata Cadmio Telurio
4	Cubierta posterior	Láminas de aluminio	Aluminio
5	Marco	Aluminio anodizado	Aluminio

Fuente: Bonilla (2016)

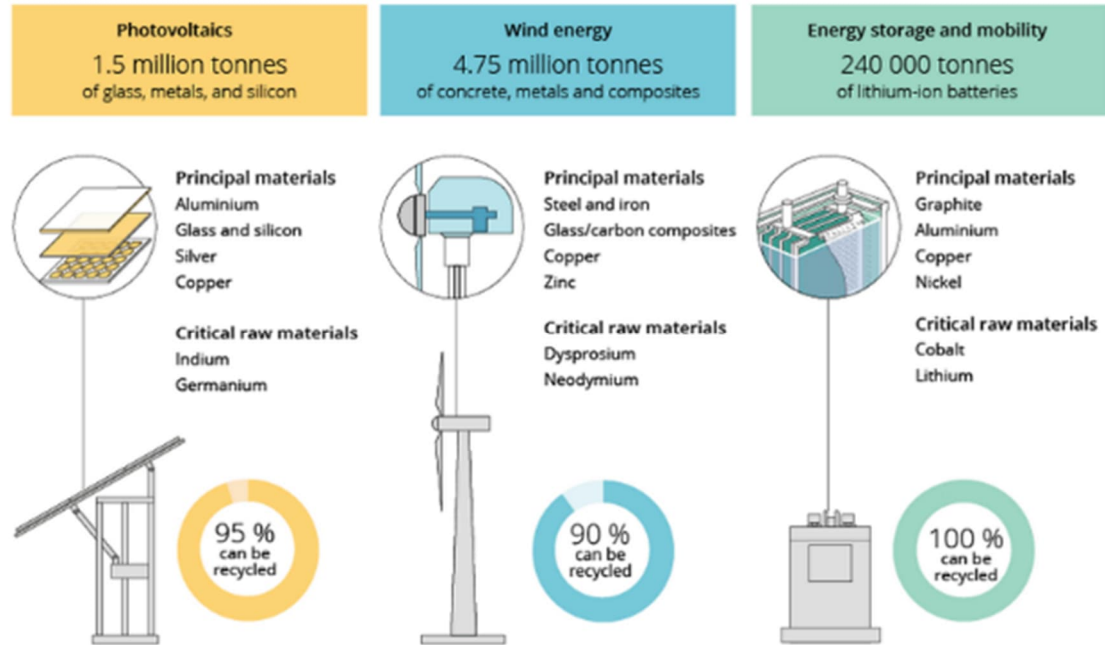
De estos componentes de los paneles solares quedan residuos importantes, y de acuerdo con los informes de la International Renewable Energy Agency (2019), buena parte de ellos se recupera, como en el caso del vidrio, el etil-vinil-acetato y el aluminio; sin embargo, otro grupo de componentes tiene un porcentaje de aprovechamiento muy bajo, tomando en cuenta el alto costo y la gran inversión que hay que realizar para reinsertarlos en las cadenas de producción, de tal manera que resulta más económico desecharlos, creando un gran problema de contaminación ambiental. Entre estos se destacan el sílice, el plomo y el cadmio, que presentan un alto grado de peligrosidad y son potencialmente contaminantes de las fuentes

hídricas, con consecuencias para los suelos, las especies animales y el ser humano, tal como lo establecen las observaciones de Berrío y Zuluaga (2014).

Con base en la información descrita por la Renewable Energy Magazine (2021), puede afirmarse que actualmente los desechos son bajos, tomando en cuenta que las instalaciones generadoras son de reciente data y que aún disfrutan de vida útil. Sin embargo, se advierte que este sector experimentará un alto crecimiento que obligará a tomar medidas al respecto, antes de que se produzca un problema real para la salud de los humanos y el bienestar del medioambiente.

Al contrastar los índices del potencial de reutilización que tienen los componentes de las células fotovoltaicas con los sistemas de energía eólica y los sistemas de baterías, la siguiente figura revela la capacidad estimada de reutilización de estos residuos.

Figura 7: Comparativa del potencial de reciclaje

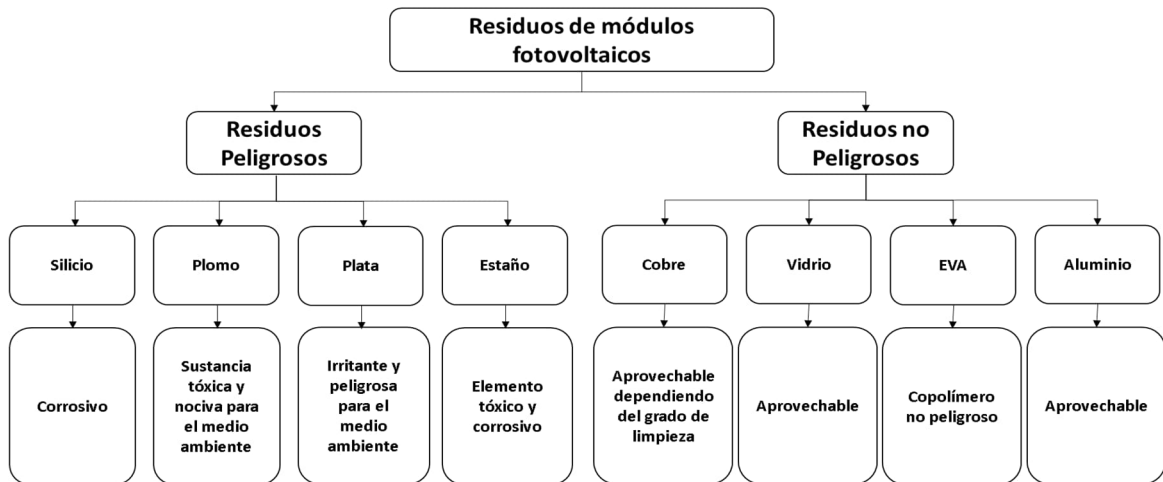


Fuente: International Renewable Energy Agency (2021)

La energía generada por celdas fotovoltaicas tiene un índice de reciclaje potencial del 95 % de los materiales, entre los que destacan el aluminio, el vidrio, la plata y el cobre, entre otros componentes, lo que resulta superior a la capacidad de reciclaje derivado del uso de la energía eólica. Ahora bien, el hecho de que puedan ser reciclados no implica que este proceso sea fácil, económico ni sencillo. En ese sentido, la Environment Agency (2019) es del criterio de que esta tarea se convierte en uno de los retos más importantes desde el punto de vista tecnológico, ya que los procesos que se deben aplicar incluyen la deslaminación, la separación del silicio y la purificación, entre otros.

Los residuos de los módulos fotovoltaicos se describen a continuación con un somero detalle del potencial pernicioso de algunos de sus componentes, con base en los estudios de Rodríguez (2018).

Figura 8: Clasificación de los residuos de los módulos fotovoltaicos



Fuente: Elaboración propia con datos de Rodríguez (2018)

## Marco legal e institucional en Colombia

Tabla 4: Marco normativo de Colombia

Norma	Año	Descripción
Constitución	1991	Principios fundamentales, derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y deber del Estado de proteger la diversidad y la integridad del ambiente
Ley 143	1994	Generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en Colombia
Ley 697	2001	Uso racional y eficiente de la energía, y utilización de energías alternativas
NTC-1736	2005	Nomenclatura asociada a la energía solar fotovoltaica

Ley 1715	2014	Integración de las energías renovables no convencionales al sistema interconectado nacional
Decreto 2469	2014	Lineamientos sobre excedentes de autogeneración
Decreto 2492	2014	Promoción de la gestión eficiente de la energía
Decreto 1623	2015	Expansión de la cobertura del servicio eléctrico
Resolución 281	2015	Límites de potencia de la autogeneración eléctrica
Decreto 348	2017	Gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes
Resolución 030	2018	Regulación de la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida en el sistema interconectado nacional
Resolución 098	2019	Mecanismos de incorporación de sistemas de almacenamiento al sistema interconectado nacional
Resolución 060	2019	Ajustes al reglamento de operación para la conexión y la operación de plantas fotovoltaicas conectadas al sistema interconectado nacional
Resolución 002	2021	Regular aspectos operativos y comerciales para incorporar los autogeneradores a pequeña escala al Sistema Interconectado Nacional
NTC-2050	2020	Lineamientos técnicos sobre los riesgos del uso de la electricidad

Fuente: Elaboración propia (2023)

## Diseño metodológico

### Enfoque

Se trata de una investigación con enfoque cualitativo, en la que se agrupan estudios que guardan relación con el fenómeno del manejo de los diseños y la implementación de políticas públicas. Como lo describe Ruiz (2012), se procura entender de forma global el tema de estudio desde una perspectiva integral del fenómeno objeto de estudio. En ese sentido, Clavijo *et al.* (1982) opinan que este tipo de investigación tiene como objetivo describir y analizar la cultura y el comportamiento de los seres humanos y sus grupos desde la perspectiva del investigador, y se fundamentan en estrategias flexibles e interactivas que se concentran en la interpretación de las experiencias y el significado que estas generan. En este caso se pretende describir el fenómeno para estudiar el impacto socioambiental que causan los desechos tecnológicos provenientes del uso de la energía solar como parte del proceso de transición energética en Colombia.

### Tipo

El alcance del proceso investigativo, con base en la opinión de Hernández *et al.* (2014), es descriptivo, ya que se pretende describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos relacionados con el impacto de los desechos tecnológicos provenientes del uso de energía solar sobre el medioambiente colombiano, y se plantea descifrar, de acuerdo con Vain (2012), por un lado, la forma en que las personas interpretan la realidad social que han construido, y por otro lado, el modo

en que el investigador intenta comprender cómo se construyeron esas realidades sociales. Es una forma de entender el conocimiento científico y la realidad. De acuerdo con Ruiz (2012), se trata de un modelo de investigación que se basa en la comprensión profunda de la realidad y de las causas que la han llevado a ser así, en lugar de quedarse simplemente en lo general y en las explicaciones casuales. Se pretende estudiar un tema en profundidad para comprenderlo plenamente. Lo anterior aplica puesto que, de acuerdo con Merriam (1988), se busca describir los factores y las características de las políticas públicas, y dar explicación acerca de las consecuencias sobre su capacidad de solucionar los problemas de las comunidades. Esta idea coincide con el criterio de Cea D'Ancona (2015), quien opina que esta clasificación de estudios hace énfasis en el fenómeno contextualizado dentro de la cotidianidad.

Todo esto desde un enfoque no experimental, dado que las variables no son intervenidas y se limitan únicamente a la observación, la recopilación de datos y la demostración de las características de la problemática (Hernández *et al.*, 2014).

## **Diseño**

La investigación tiene un diseño documental de carácter hermenéutico. Sobre este tipo de diseños, Flick (2015) afirma que se procura indagar sobre la manera como los seres humanos edifican su entorno y los eventos significativos que les ocurren. Además, se deduce la conveniencia de interpretar la bibliografía en relación con el tema que se aborda, pues desde allí se plasman otras realidades

que permiten conocer cómo otros investigadores interpretaron esas realidades. En el caso de la investigación bibliográfica que se realiza, resulta conveniente este enfoque debido a que propone interpretar y analizar diferentes trabajos y artículos con respecto al tema para lograr la comprensión de las distintas facetas de la misma problemática y las posibles soluciones que se pueden poner en práctica.

### **Estrategias para recabar la información**

De acuerdo con Sánchez (2001), los procesos de investigación aprovechan los cánones que se generan a partir de la revisión de la bibliografía consultada profundizando en sus detalles, características y particularidades, que permiten describir las categorías y las subcategorías en relación con la caracterización de un problema, a fin de complementar el contenido hallado para su estudio.

En ese orden de ideas, se realizó una investigación documental que atendiendo al criterio de Bavaresco (2006), se refiere a la interpretación de textos y la creación de nuevas teorías basadas en esa interpretación. La información usada en esta investigación tiene en cuenta trabajos de investigación anteriores, información consultada en fuentes electrónicas especializadas y el marco jurídico legal de la nación, obtenido a través de Google Scholar.

## **Desarrollo del trabajo**

### ***Impacto del uso de la energía solar***

Son diversos los efectos documentados que genera la energía solar fotovoltaica sobre el medioambiente, el ecosistema y el entorno del ser humano. A continuación se describen algunos de ellos.

#### **Clima**

Una de las principales características de este sistema de generación es que al aprovechar directamente la luz solar, no produce ningún tipo de combustión, de tal manera que no se causa contaminación térmica ni se emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). La generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no produce polución térmica ni emisiones de CO<sub>2</sub> que favorezcan el efecto invernadero.

#### **Geología**

Tomando en cuenta que en el proceso de fabricación de las células fotovoltaicas se utiliza el silicio, y que este elemento se obtiene de la arena que es muy abundante, no se generan alteraciones significativas en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno (Guzmán, 2017).

#### **Suelo**

Con base en el criterio de Pearsall y Hill (2011), puede afirmarse que no existen efectos en este caso, ya que al no haber elementos contaminantes, ni cambios en el terreno, como movimientos de tierra, no hay incidencia en las características ni en la composición fisicoquímicas del suelo; de igual forma, el índice de erosionabilidad es nulo.

### **Aguas superficiales y subterráneas**

Las fuentes acuíferas no son alteradas ni por consumo, ni por contaminación de residuos, lo que hace negativo su impacto (Gómez, 2017).

### **Flora y fauna**

En este caso, la ausencia de tendidos eléctricos elimina el potencial efecto perjudicial sobre las aves, y no existe, tal como resaltan Pearsall y Hill (2011), repersusiones sobre la vegetación.

### **Paisaje**

La capacidad que tienen los paneles solares de integrarse de manera armónica con el entorno disminuye significativamente el impacto visual cuando se trata de pequeñas instalaciones, tanto industriales como residenciales, con la ventaja de que se eliminan los postes y los tendidos eléctricos, que afectan la visual del paisaje; sin embargo, en el caso de las instalaciones más grandes, se presenta un impacto en la transformación del paisaje.

## **Ruidos**

Los sistemas fotovoltaicos operan en silencio, y esto contrasta con el nivel de contaminación sonora que se produce en los sistemas generadores tradicionales.

## **Medioambiente social**

El espacio que se requiere para instalar sistemas generadores fotovoltaicos es, en opinión de Méndez y Cuervo (2017), una cantidad insignificante que no genera graves impactos, además de que en muchos casos los paneles se pueden integrar en los techos de los hogares, disminuyendo más aún el impacto sobre las mismas.

## ***Riesgos tomar en cuenta***

Con base en buena parte de la bibliografía consultada, la energía generada por células fotovoltaicas tiene impactos que son de poca significación a lo largo del ciclo de vida de estas instalaciones. Sin embargo, esta tecnología implica algunos riesgos y potenciales efectos negativos. La fabricación de los paneles solares implica invertir ingentes fuentes de energía, y como afirma Lamas (2020), durante la producción se genera gran cantidad de gases de efecto invernadero y desechos tóxicos.

Otro de los aspectos a tomar en cuenta se relaciona con el consumo de agua durante el proceso de fabricación y ensamblaje, que es bastante alto. De igual forma, los estudios de Bonilla indican que “tanto en la construcción, como en el

desmantelamiento de los parques solares se presentan importantes emisiones de gases, partículas, vertidos líquidos, consumo de recursos, generación de residuos y afectación permanente del medio biótico” (2016, p. 52). Sobre todo en el caso del procesamiento de los módulos de silicio mono y multicristalinos, que presentan un alto consumo de recursos en la obtención y la purificación de la materia prima, y debido al dilema sobre la manera de hacer más efectivo el proceso de recolección y disposición de los paneles solares, una vez se haya cumplido con su vida útil.

### ***Daño potencial que pueden generar los componentes de los paneles solares***

El manejo inadecuado de los desechos derivados del uso de paneles solares fotovoltaicos trae consecuencias sobre el medioambiente a través de la contaminación de los suelos, los recursos hídricos y el aire, con pérdida de biodiversidad e incluso posibles problemas de salud en algunos sectores de la población.

Los procesos asociados a la purificación del silicio incluyen, según Greenmatch (2018), el uso de compuestos tóxicos como xilanos, diborano, fosfina y ácido sulfúrico, entre otros, que son dañinos para el ser humano y el medioambiente. En el caso del cadmio y el telurio, que igualmente forman parte de los componentes con los que se construyen los paneles, ambos son escasos en la naturaleza, lo que pone en entredicho la viabilidad económica de su uso a largo plazo. Otros componentes considerados como potencialmente riesgosos incluyen el ácido clorhídrico, el ácido nítrico, el fluoruro de hidrógeno, los tricloroetanos, el

arseniuro de galio y la acetona con efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud humana.

Merece especial mención el caso del trifluoruro de nitrógeno, que en forma de gas se utiliza en la limpieza de los microcircuitos durante la fabricación de los paneles fotovoltaicos, y que de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004), contribuye con mayor potencia que el dióxido de carbono con el calentamiento global, además de generar afectaciones en el hígado y los riñones.

Las cantidades y las concentraciones de cada uno de estos elementos son variables de acuerdo con el proceso de fabricación y el tipo de célula fotovoltaica que se fabrique, los cuales de no ser manejados y desechados adecuadamente pueden amenazar a la salud pública (OMS, (2004).

## **Estrategias de disposición en los países europeos**

### ***La Unión Europea***

La European Commission (2018) estableció en el informe Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE) tanto los objetivos como los resultados que se esperan que alcancen los Estados miembros con respecto al manejo de los residuos derivados de aparatos eléctricos y electrónicos que junto a las normas establecidas por el Parlamento Europeo desde comienzos del siglo dieron lugar al diseño de los primeros esquemas de devolución de residuos, como potencial solución al incremento en la generación de este tipo de residuos y la necesidad de proteger tanto el medioambiente como la salud humana a través de medidas de prevención

del impacto causado por la generación y la manera en que se estaban gestionando los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

En el caso específico de los paneles fotovoltaicos se destacan las siguientes consideraciones:

### **Recolección separada**

Cada uno de los Estados de la Unión debe promover la adopción de estrategias encaminadas a minimizar la disposición de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Se procura otorgar prioridad a los casos en los que la separación es de especial importancia, tal como ocurre con los paneles fotovoltaicos. En ese sentido, se debe proveer de sistemas que les faciliten al usuario final y a los distribuidores reintegrar los residuos sin costo, abriendo la posibilidad de que empresas privadas gestionen estos sistemas de recolección de desechos colectivos.

### **Trasporte y disposición de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos**

La institucionalidad de cada Estado debe regular la disposición de los residuos ya recogidos y separados cuando no hayan sido sometidos al tratamiento adecuado, promoviendo en todo caso su reutilización en la medida de lo posible.

### **Índice de recolección**

Las autoridades establecerán metas progresivas en el índice de recolección de residuos con base en un porcentaje sobre la base poblacional de cada país. A partir del año 2019 y con base en la información suministrada por la Unión Europea, “se debe recolectar el 65 % del promedio anual del peso de aparatos eléctricos y electrónicos introducidos al mercado del Estado miembro en los tres años anteriores, o el 85 % de los residuos generados en su territorio en ese año” (2018, p. 4).

### **Tratamiento apropiado**

Cada país miembro de la Unión debe garantizar que los residuos eléctricos y electrónicos que se hayan podido recuperar de forma separada sean direccionados para recibir un tratamiento adecuado que los prepare para procesos de reutilización y reciclaje.

En ese sentido, la normativa plantea que las organizaciones que se encarguen de estos procedimientos deben diseñar sistemas que mediante el uso de la tecnología disponible permitan proteger el medioambiente, gracias a la aplicación de estándares de calidad en el tratamiento de los residuos recolectados.

### **Fuentes de financiamiento**

Con base en el criterio del Fraunhofer Institute for Solar Energy System (2018), los países que integran la Unión Europea deben fomentar que los proveedores de los paneles fotovoltaicos suministren recursos para financiar las

actividades relacionadas con la recolección, el tratamiento y la disposición final de los residuos eléctricos y electrónicos, de tal forma que puedan ser depositados en instalaciones de recolección adecuadas. Las empresas proveedoras pueden cumplir con estas actividades individualmente o unidas en algún esquema colectivo con amplitud de criterio, para establecer acuerdos de financiación que contribuyan al correcto manejo y la adecuada disposición de los desechos, siempre manteniendo como objetivo primario la preservación del medioambiente.

### **Sistemas de información**

La normativa propone que los usuarios deben recibir la información necesaria sobre las condiciones de riesgo de los componentes de las celdas fotovoltaicas y de la responsabilidad que tienen en manejar de forma adecuada estos materiales. En ese sentido y de acuerdo con lo señalado por la Environment Agency (2019), los usuarios deben ser informados de su rol en cuanto a la forma de recolección separada y la correcta preparación para la disposición de los residuos; la obligación de no incluir estos residuos dentro de los desechos urbanos tradicionales y la toma de conciencia con respecto al aprovechamiento, el reciclaje y la valorización de sus residuos con base en los efectos nocivos que estas sustancias peligrosas pueden tener sobre el medioambiente y la salud humana.

### ***Alemania, España y Reino Unido***

A pesar de que forman parte de la Unión Europea y que se rigen por su normativa, los países individualmente amplían y adaptan la normativa, de acuerdo

con sus propias características. Específicamente Masson *et al.* (2019) destacan las estrategias puestas en práctica por Alemania, España y Reino Unido, que se exponen en la tabla 5.

Tabla 5: Estrategias aplicadas en Alemania, España y Reino Unido|

<b>País</b>	<b>Responsable</b>	<b>Acciones</b>
	Fabricante	<p>Registro y demostración de que pueden garantizar la financiación de la gestión de residuos</p> <p>Recolección de los desechos en los puntos correspondientes</p> <p>Suministro de los contenedores</p> <p>Tratamiento o reutilización cumpliendo con los estándares medioambientales</p>
Alemania	Comercializador o distribuidor	<p>Recepción de los residuos al final de su vida útil</p> <p>Reciclaje o entrega al fabricante</p>
	Entidades públicas	<p>Recolección en las viviendas privadas</p> <p>Traslado a las instalaciones dispuestas por los fabricantes</p>
	Ciudadanos	<p>Separación de los residuos</p> <p>Colocación en los puntos de recolección</p>

---



---

	Recyclia	Conformada por Ecoasimelec, Ecopilas, Ecofímica, Ecolum y Tragamóvil, que disponen de distintos tipos de desechos
España		Facilitación del cumplimiento normativo
	Pv Cycle	<p>Coordinación de las funciones de productores, distribuidores y comercializadores</p> <p>Gestión del tratamiento y la disposición final de los residuos recolectados de paneles solares</p>
	Productor	<p>Registro anual como productor</p> <p>Identificación de las unidades producidas por ellos</p> <p>Organización y financiación del proceso de recuperación, tratamiento y disposición de residuos</p>
Reino Unido		Ofrecimiento al cliente de una forma de deshacerse del material
	Comercializador o distribuidor	<p>Ofrecimiento del servicio de devolución gratuito</p> <p>Suministro de información escrita sobre el sistema de devolución, recolección y reutilización</p> <p>Información sobre la forma adecuada de separar y recolectar los elementos riesgosos</p>

---

Fuente: Elaboración propia con datos de Environment Agency (2019)

## **Políticas públicas y estrategias de disposición en Colombia para los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos**

La posición del Estado colombiano sobre este tema comienza con la política nacional para la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), formulada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017), en la que se establecieron los antecedentes para la aplicación de una política fundamentada en un marco referencial, conceptual, normativo, institucional y socioeconómico, elaborado por el Ministerio a través de un diagnóstico sobre la realidad del país.

A partir de ella se establecieron los objetivos y las metas que el Estado consideraba determinantes para la protección del medioambiente y la salud humana. De igual forma se establecieron los principios orientadores y los responsables de llevar a cabo cada una de las tareas allí planteadas. Se incluyó un esquema de seguimiento que permitiera evaluar los resultados de la aplicación de esta política pública y quedaron conformadas las metas estratégicas definidas como el plan de acción de esta política nacional.

En primer término, se busca promover la prevención y la minimización en la producción de residuos mediante una concientización que favorezca un consumo responsable de estos componentes. Igualmente, se busca mejorar las estrategias de manejo y gestión integral para disminuir el potencial riesgo sobre la salud y el medioambiente, así como el fomento de la participación de las empresas productoras, distribuidoras y comercializadoras, junto a los consumidores, en el

diseño de los planes, proyectos y estrategias que involucren el manejo adecuado de los residuos.

Esta macropolítica incluía procesos de verificación en los que se contrastarían los resultados; con base en estos indicadores se proponen las mejoras al sistema, mediante la corrección de las falencias detectadas y sujetas a mejoras en los procesos de este plan de acción, y este tema fue incluido en los planes nacionales de desarrollo correspondientes tanto al 2014-2018, como al 2018-2022.

El Plan Nacional de Desarrollo (2014-2018) “Todos por un Nuevo País” (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2015) hace referencia a la necesidad de promover el uso de energías renovables no convencionales dando paso a que se reglamenten las funciones del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE). Entre los detalles se establece la necesidad de desarrollar una política pública para fortalecer la gestión integral de estos residuos y promover las inversiones tanto públicas como privadas para garantizar la correcta ejecución de los procesos de recolección, aprovechamiento y disposición final.

En el caso del Plan Nacional de Desarrollo (2018-2022) “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad” (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2019) existe un apartado titulado Pacto por los Recursos Minero-Energéticos, en el que se detalla un conjunto de medidas destinadas a hacer crecer de manera sostenible y diversificada una matriz energética que garantice el suministro para el país.

Este plan incluye entre sus expectativas y objetivos el aprovechamiento de otras fuentes de generación de energía para enfrentar el calentamiento global y una propuesta de incrementar la capacidad de generación de energías limpias de 22,4MW a 1.500MW, junto al fortalecimiento de instrumentos de control ambiental y una regulación técnica y ambiental sobre el desarrollo de fuentes no convencionales de energía.

En el momento de realizar esta investigación, el Plan Nacional de Desarrollo (2016-2023) “Colombia Potencia Mundial de la Vida” no ha sido aprobado; sin embargo, las bases del plan emitidas por el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2023) incluyen entre sus premisas una transición energética justa, en la que se acelerará la generación de energías renovables y se apoyará el desarrollo de tecnologías que posibiliten el desarrollo del potencial de las energías eólica, solar, geotérmica, biomasa y otras no convencionales.

De esta manera, el Gobierno colombiano planea impulsar el desarrollo de nuevas fuentes de generación de energía eléctrica a partir de fuentes no convencionales de energía renovable, junto a un conjunto de normas y mecanismos regulatorios de la actividad, líneas de crédito y programas de financiamiento para este tipo de proyectos.

El peligro potencial que representa este tipo de residuos obliga a plantear estrategias para su manejo integral, y estas incluyen campañas de educación sobre el consumo responsable de aparatos eléctricos y electrónicos, procurando que los

consumidores extiendan la vida útil apoyados en el mantenimiento, la reutilización y la reparación de los mismos; información sobre la posibilidad de que se presenten efectos dañinos a causa de algunos componentes de estos residuos; el desarrollo de programas de concientización ambiental, además del diseño de los lineamientos de acuerdo con criterios ambientales para la instalación de equipos eléctricos y electrónicos, desarrollando el esquema de información que deben suministrar los productores a los usuarios, especialmente cuando estén involucradas sustancias peligrosas para prevenir riesgos para la salud humana y el ambiente, y estructurar la metodología de recolección de información estadística sobre los hábitos de consumo de los colombianos.

Otro elemento se refiere al conjunto de estrategias orientado al desarrollo de los mecanismos de recolección y disposición de los residuos. En ese sentido, se debe adecuar la Ley 1672 (2013), especialmente en lo que se refiere a las responsabilidades de los participantes en el proceso. Esto abarca incluso el control de las importaciones de estos equipos de la mano de un fortalecimiento institucional a través de plataformas tecnológicas que mejoren la gestión integral de los residuos eléctricos y electrónicos. Es vital que estas acciones se implementen de manera concertada y con la participación de alianzas entre el sector público y la empresa privada, creando espacios en los que las autoridades ambientales, las entidades territoriales, el sector privado y la sociedad civil logren acuerdos sobre la mejor forma de enfrentar la gestión integral de estos residuos.

### ***La necesidad de reformar el sector energético en Colombia***

El Estado colombiano tiene una visión muy clara sobre la necesidad de dar un paso al frente en la reducción de la huella de carbono y del impacto del efecto invernadero sobre el ecosistema mundial, y a través del Gobierno ha manifestado de forma reiterada la necesidad de aplicar una transición del modelo energético actual, basado en la explotación de combustibles fósiles, a un esquema no extractivo que pueda preservar el medioambiente para las generaciones futuras.

Un conjunto de elementos ha marcado la posición del Gobierno actual, entre los que se destaca que más temprano que tarde el crudo colombiano se agotará y es responsabilidad del Estado garantizar fuentes alternas a este. El fenómeno mundialmente reconocido del cambio climático implica un incremento de la temperatura como consecuencia de los gases de efecto invernadero. Ante esta situación, un grupo importante de naciones suscribieron el Protocolo de Kioto fijando la postura del mundo civilizado frente al cambio climático con el compromiso de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Más adelante, promovido por la Organización de las Naciones Unidas, se firmó el Acuerdo de París, que contiene un conjunto de metas más ambiciosas con respecto a la necesidad de limitar el aumento de la temperatura en el planeta y que propone reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2 °C, aumentar la capacidad de adaptación a los efectos del cambio climático y promover la resiliencia frente al clima y un desarrollo con bajas emisiones.

Por tanto, es evidente el fundamento que tiene el Estado colombiano en el desarrollo de energías sustentables basadas en la generación fotovoltaica como parte de su compromiso con sus habitantes y con la construcción de un mundo mejor.

## Conclusiones

Con base en el incremento en el uso de paneles fotovoltaicos y la proyección del consumo creciente para el corto y el mediano plazo, Colombia enfrentará el dilema de qué hacer con los residuos derivados de estos, una vez terminada su vida útil, sobre todo tomando en cuenta que no todos los componentes son aprovechables y que algunos representan un severo riesgo para el medioambiente y la salud humana. Los autores consultados coinciden en que la mayor parte de los paneles utilizados en Colombia son de silicio policristalino e incluyen entre sus componentes potencialmente contaminantes plomo, plata, silicio, cadmio y estaño, los cuales tienen efectos tóxicos e irritantes para el ser humano, además de ser perjudiciales para el medioambiente. Sobre todo, tomando en cuenta que a pesar del esfuerzo por hacer cada vez más aprovechables los componentes, hay una proporción de residuos en los semiconductores y en las propias células fotovoltaicas que no son recuperables de ninguna forma, lo que puede generar un potencial impacto sobre el medioambiente, específicamente en el suelo y en los cuerpos de agua sujetos a afectación.

De igual forma, se procuró que la investigación evidenciara el conjunto de leyes y regulaciones con que cuenta Colombia para normativizar el proceso de recolección, la disposición y los desechos de residuos provenientes de equipos eléctricos y electrónicos, además de la voluntad manifiesta del Estado de poner en marcha un proceso de transición energética cónsono con una sociedad que no abuse de los combustibles fósiles y que tenga una menor huella de carbono, en

concordancia con los objetivos del milenio que han sido adoptados por Colombia. En ese sentido, es evidente que la posición de los Gobiernos en los dos últimos planes nacionales de desarrollo promueve actividades energéticas más amigables con el medioambiente, lo que ha sido reiterado por el Gobierno actual. En el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) especifica entre sus metas “aumentar la capacidad de generación con energías limpias en 1.500 MW, frente a 22,4 MW actuales” (2019, p. 9). Para cumplir este objetivo se plantearon medidas para reducir emisiones de gases de efecto invernadero con base en el Acuerdo de París para el año 2030, implementando una estrategia nacional para incrementar el reciclaje de residuos, la reutilización y la eficiencia energética.

La investigación permitió revelar el potencial daño al ser humano y al ecosistema como consecuencia de la probable contaminación de los suelos y el agua cercanos. En ese sentido, se cuenta con un conjunto de políticas públicas destinadas al manejo integral de los residuos derivados de la generación eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos. Merece especial atención el hecho de que, a pesar de contar con un sólido conjunto de normas, las mismas deben ser analizadas para profundizar su impacto sobre todo en materia de los deberes de los involucrados, mejorando los estudios ambientales y fomentando procesos educativos para los usuarios finales.

La generación de energía eléctrica basada en el aprovechamiento de paneles fotovoltaicos viene a presentarse como una alternativa frente a la necesidad de

preservar el medioambiente y un mundo con una menor huella de carbono. Sin embargo, el impacto de los residuos que se derivan de esta actividad requiere de un tratamiento interdisciplinario con el que las autoridades regulen y la academia refleje la mejor manera de aplicar la tecnología para tal fin, para que productores, fabricantes y distribuidores tomen conciencia de que además de su ganancia económica, se requiere de su concurso, junto al de usuarios informados y capacitados, para asumir el reto de una transición energética que provea un ambiente libre de contaminación para las futuras generaciones.

La energía solar suele ir acompañada de la percepción de que es limpia y amigable con el medioambiente y que no produce contaminantes. Sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que en el proceso de elaboración y desecho de los componentes que conforman las células y los paneles fotovoltaicos se generan algunos contaminantes y emisiones que pueden ser perjudiciales para el ser humano. Lo que corresponde es contrastar los beneficios que tiene con respecto al uso de los combustibles fósiles.

De tal manera que el énfasis debe estar orientado al tratamiento, el almacenaje y la disposición adecuados de los residuos para minimizar el impacto ambiental. La literatura consultada y las reglas nacionales e internacionales permiten que la industria de la generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos avance de forma progresiva en la disminución de su impacto ambiental, mejorando la eficiencia de sus procesos industriales y analizando la posibilidad de aplicar nuevos métodos y materias primas.



## Referencias

- Banco Interamericano de Desarrollo (2020). *Misión de transformación energética y modernización de la industria eléctrica: Hoja de ruta para la energía del futuro*.
- [https://www.minenergia.gov.co/documents/7686/Foco\\_4.\\_Cierre\\_de\\_brechas\\_mejora\\_de\\_la\\_calidad\\_y\\_dise%C3%B1o\\_y\\_formulacion\\_eficient\\_JTF0ADK.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/7686/Foco_4._Cierre_de_brechas_mejora_de_la_calidad_y_dise%C3%B1o_y_formulacion_eficient_JTF0ADK.pdf).
- Bavaresco, A. (2006). *Proceso metodológico de la investigación: Cómo hacer un diseño de investigación*. Maracaibo: Editorial de la Universidad del Zulia.
- Berrío, L., y Zuluaga, C. (2014). Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: Una revisión en el contexto energético mundial. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(2), 369-396.
- Bonilla, N. (2016). *Análisis del ciclo de vida del proceso de recuperación de un panel fotovoltaico de silicio policristalino en Costa Rica*. San José: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Castro, A. (2021). *Evaluación para proyectos de implementación de sistemas solares fotovoltaicos en la infraestructura gubernamental de Sabana Centro*. [Tesis de maestría, Universidad de la Sabana]. Repositorio Institucional Universidad de La Sabana, Chía.

Cea D'Ancona, M. (2015). *Metodología cuantitativa: Estrategias y técnicas de investigación social*. Madrid: Síntesis.

Celsia (5 de mayo del 2018). *Celsia*. <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>.

Clavijo, D., Guerra, D., y Yáñez, D. (1982). *Método, metodología y técnicas de la investigación aplicada al derecho*. Bogotá: Grupo Editorial Ibáñez.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2022). Cuentas Nacionales - Principales resultados. *DANE*. [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/presentacion\\_ISE\\_nov2022.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/presentacion_ISE_nov2022.pdf).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2022). Sistema de Información de Economía Circular (SIEC). *DANE*. <https://doi.org/https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/ambientales/economia-circular/sistema-de-consulta-de-informacion>.

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2015). *Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018: Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad*. Bogotá: DNP.

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2019). *Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad. Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Retos, estrategias y metas. Todo lo que no le han contado del Plan*. Bogotá: DNP. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/PND-Resumen-2018-2022.pdf>.

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2023). *Plan Nacional de Desarrollo (2016-2023). Colombia Potencia Mundial de la Vida*. Bogotá: DNP. <https://doi.org/https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/portaIDNP/PND-2023/2023-02-06-Bases-PND-2023.pdf>.

El País (28 de marzo del 2021). Un estudio calcula que los paneles solares generarán 80 millones de toneladas de residuos en tres décadas. *El País*. <https://elpais.com/ciencia/2021-03-29/un-estudio-calcula-que-los-paneles-solares-generaran-80-millones-de-toneladas-de-residuos-en-tres-decadas.html>.

Environment Agency (2019). *Electrical and electronic equipment (EEE): producer responsibilities*. <https://www.gov.uk/guidance/electrical-and-electronic-equipment-eee-producer-responsibility>.

European Commission (18 de enero del 2018). Waste and recycling/waste electrical and electronic equipment (WEEE). *European Commission*. [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/waste-electrical-and-electronic-equipment-weee_en).

Flick, U. (2015). *El diseño en la investigación cualitativa*. Madrid: Morata.

Fornillo, B. (2018). Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: Antropoceno, geopolítica y desarrollo. *Prácticas de Oficio*, 2(20), 46-53. <https://static.ides.org.ar/archivo/www/2012/04/5-FORNILLO.pdf>.

Fraunhofer Institute for Solar Energy System (2018). *Photovoltaics report*.

<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics>.

Greenmatch (2018). How popular are solar panels in the UK. *Solar panels*.

<https://www.greenmatch.co.uk/blog/2015/08/how-popular-are-solar-panels-in-the-uk>.

Guzmán, C. (2017). *Análisis del impacto ambiental de diferentes tipos de paneles solares según los materiales utilizados*. [Tesis de posgrado, Fundación

Universitaria de América]. Repositorio Institucional Fundación Universitaria de América, Bogotá.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D. F.: McGraw Hill.

Holger, D. (2022). The solar boom will create millions of tons of junk panels. *The*

*Wall Street Journal*. [https://www.wsj.com/articles/the-solar-boom-will-create-millions-of-tons-of-junk-panels-11651658402?mod=hp\\_minor\\_pos16](https://www.wsj.com/articles/the-solar-boom-will-create-millions-of-tons-of-junk-panels-11651658402?mod=hp_minor_pos16).

Induambiente (5 de septiembre del 2022). Al 2050 se generaría en Chile cerca de 1

millón de toneladas de desechos fotovoltaicos. *Induambiente*.

[https://www.induambiente.com/noticias/al-2050-se-generaria-en-chile-cerca-de-1-millon-de-toneladas-de-desechos-](https://www.induambiente.com/noticias/al-2050-se-generaria-en-chile-cerca-de-1-millon-de-toneladas-de-desechos-fotovoltaicos#:~:text=Inicio%20%2F%20Noticias%20actualidad-)

[fotovoltaicos#:~:text=Inicio%20%2F%20Noticias%20actualidad-](https://www.induambiente.com/noticias/al-2050-se-generaria-en-chile-cerca-de-1-millon-de-toneladas-de-desechos-fotovoltaicos#:~:text=Inicio%20%2F%20Noticias%20actualidad-)

,Al%202050%20habr%C3%ADa%20en%20Chile%20cerca%20de%201%20mill%C3%B3n%20de,5%20de%20se.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2023).

*Ideam.gov.co*. [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20solar%20es%20la,emitida%20por%20la%20superficie%20solar.)

[solar#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20solar%20es%20la,emitida%20por%20la%20superficie%20solar.](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar#:~:text=La%20radiaci%C3%B3n%20solar%20es%20la,emitida%20por%20la%20superficie%20solar.)

International Energy Agency (2021). *Photovoltaic power systems programme*. París: IEA.

International Renewable Energy Agency (28 de abril del 2019). *International Renewable Energy Agency*. <https://www.irena.org/solar>.

Lamas, D. (2020). Las Sombras de la energía solar fotovoltaica. Análisis de los impactos negativos de su aprovechamiento en el medio ambiente. *Revista Perspectivas Metodológicas*, 20(1), 30-46. <https://doi.org/https://doi.org/10.18294/pm.2020.3046>.

Martínez, O. (2018). *Qué es y cómo funciona un panel solar*. Nueva York: McGraw Hill.

Masson, G., Orlandi, S., y Rekinge, M. (2019). *Global market outlook for photovoltaics 2014-2018*.

[http://www.epia.org/fileadmin/user\\_upload/Publications/EPIA\\_Global\\_Market\\_Outlook\\_for\\_Photovoltaics\\_2014-2018\\_-\\_Medium\\_Res.pdf](http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/EPIA_Global_Market_Outlook_for_Photovoltaics_2014-2018_-_Medium_Res.pdf).

Méndez, J., y Cuervo, R. (2017). *Energía solar fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal.

Merchán, E., Campozano, Y., y Figueroa, G. (2020). El manejo de los desechos tecnológicos y su impacto ambiental. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud. Salud y Vida*, 4(7), 156-171. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.35381/s.v.v4i7.665>.

Merriam, S. (1988). *Case study research in education. A qualitative approach*. San Francisco: Jossey-Bass.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). *Minambiente*. <http://www.minambiente.gov.co/imag>.

Ministerio de Minas y Energía (Minenergía) (16 de octubre del 2021). Proyectos de energía. *Minenergía*. <https://minenergia.gov.co/es/misional/cierre-de-brechas/mapa-de-energia/>.

Ministerio de Minas y Energía (Minenergía) (20 de enero del 2023). Minenergía ratificó en Davos su compromiso con la transición energética y la política de hidrocarburos del Gobierno nacional. *Minenergía*. <https://minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/minenerg%C3%ADa-ratific%C3%B3-en-davos-su-compromiso-con->

la-transici%C3%B3n-energ%C3%A9tica-y-la-pol%C3%ADtica-de-hidrocarburos-del-gobierno-nacional/.

Moreno, A. (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*. [Trabajo de Grado de especialización, Universidad de Antioquia]. Repositorio Institucional Universidad de Antioquia, Medellín.

Novoa, J. (2020). *Análisis de viabilidad ambiental de la implantación de un sistema solar fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica en la finca Cardón en Tolima*. [Tesis de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia, Bogotá.

Observatorio de Sostenibilidad de España (27 de febrero del 2022). *Observatorio de sostenibilidad*. <https://www.observatoriosostenibilidad.com/observatorio-sostenibilidad/>.

Orellana, R. (2021). *Transición energética sostenible y régimen energético en Argentina y Bolivia*. [Tesis de maestría, Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO-Argentina)]. Repositorio Institucional Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO-Argentina, Buenos Aires.

Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Génova: ONU.

Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2022). *Objetivos de desarrollo sostenible: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático*. Génova: ONU.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2004). Exposición y efectos sobre la salud del trifluoruro de nitrógeno. *ILO.org*.  
[https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=1234&p\\_version=2&p\\_lang=es](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=1234&p_version=2&p_lang=es).

Pasquialino, J., Cabrera, C., y Vanegas, M. (2015). Los impactos ambientales de la implementación de las energías eólica y solar en el Caribe colombiano. *Prospectiva*, 13(1), 68-75.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.15665/rp.v13i1.361>.

Pearsall, N., y Hill, R. (2011). Photovoltaic modules, systems and applications. *Rensselaer*, 1, 4-5. <https://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/Su2011>.

Renewable Energy Institute (2022). *Renewable Energy Institute*.  
<https://www.renewable-ei.org/en/statistics/energy/>.

Renewable Energy Magazine (2023). *Renewable Energy Magazine*.  
[https://www.renewableenergymagazine.com/pv\\_solar](https://www.renewableenergymagazine.com/pv_solar).

Rodríguez, S. (2018). *Plan de manejo para disposición final de paneles solares de Energía Integral Andina, S. A.* [Tesis de grado, Universidad del Bosque]. Repositorio Institucional Universidad del Bosque, Bogotá.

- Ruiz, J. (2012). *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: Universidad de Deusto.
- Sánchez, A. (2001). El método hermenéutico aplicado a un nuevo canon: Hacia la autorización de la producción escrita de los estudiantes de inglés. *CAUCE. Revista de Filosofía y su Didáctica*, 32(1), 290-296.
- Shahrestani, M., Yao, R., Essah, E., Shao, L., Oliveira, A., Hepbasli, A., Lechón, J., *et al.* (2017). Experimental and numerical studies to assess the energy performance of naturally ventilated PV façade systems. *Sol Energy*, 147(1), 37-51. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.034> A.
- Soliclima Energía Solar (14 de mayo del 2019). *Soliclima.es*. <https://news.soliclima.com/noticias/energia-solar/cuales-son-los-problemas-comunes-en-la-reparacion-de-paneles-solares>.
- Statista (2022). *Statista*. <https://es.statista.com/estadisticas/1238176/capacidad-instalada-energia-solar-colombia/#:~:text=La%20capacidad%20instalada%20para%20la,en%20relaci%C3%B3n%20al%20a%C3%B1o%20previo>.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2022). *UPME.gov.co*. [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Presentacion\\_Proyeccion\\_demanda\\_energeticos\\_2022.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Presentacion_Proyeccion_demanda_energeticos_2022.pdf).

Unión Europea (9 de abril del 2018). Commission notice on technical guidance on the classification of waste. *EUR-Lex*. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C\\_.2018.124.01.0001.01.ENG&toc=OJ:C:2018:124:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.C_.2018.124.01.0001.01.ENG&toc=OJ:C:2018:124:TOC).

Vain, P. (2012). El enfoque interpretativo en la investigación educativa: Algunas consideraciones teórico-metodológicas. *Educación*, 37-45. [https://fh.mdp.edu.ar/revistas/index.php/r\\_educ/article/view/83/146](https://fh.mdp.edu.ar/revistas/index.php/r_educ/article/view/83/146).

WTW (17 de diciembre del 2023). *WTWCO*. <https://www.wtwco.com/es-CO/insights/2020/12/proyectos-de-energia-solar-en-colombia>.

Zambrano, K. (2022). *El manejo de los residuos electrónicos y el derecho de la reparación integral al ecosistema en el Ecuador* [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio Institucional Universidad Técnica de Ambato, Ambato.