



Análisis de los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pos pandemia en Colombia

Andrea Paola Moreno Correa

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Asesor

Sebastián Heredia Quintana, Magíster (MSc)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gestión Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia
2022

Cita	(Moreno Correa Andrea Paola, 2022)
Referencia Estilo APA 7 (2020)	Moreno Correa Andrea Paola. (2022). <i>Análisis de los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pos pandemia en Colombia</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Gestión Ambiental, Cohorte XIII.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A Dios, quien ha sido mi guía y acompañante para crecer en mi vida profesional y humana, dueño del tiempo y las facultades del entendimiento pues me dio el permiso de volver a estudiar, y comprender el propósito de la gestión ambiental en los procesos antrópicos, a mi esposo quien desde el primer momento que volví a retomar el ejercicio de la academia me dio su respaldo y ánimo, a mi hijo pues es mi motivo para seguir creciendo profesionalmente y brindarle mejores oportunidades. ¡Muchas gracias!

Agradecimientos

Agradezco a cada uno de los maestros que aportaron de su conocimiento para enriquecer el desarrollo profesional de mi carrera, de sus horas invertidas para instruirnos de conocimiento y herramientas para desempeñarnos mejor en nuestra misión profesional.

Tabla de contenido

Resumen	2
Abstract	3
Introducción	4
1. Objetivos	6
1.1 Objetivo general	6
1.2 Objetivos específicos.....	6
2. Marco Teórico.....	7
2.1 Energía solar fotovoltaicos	7
2.2. Energía renovable.....	11
2.3. Energía no renovable.....	12
2.4. Paneles solar.....	15
2.5 Elementos de un sistema fotovoltaico	17
2.6. Residuo solido aprovechable.....	20
2.7. Clasificación de los residuos generados por los paneles solares.....	21
2.8. Reciclaje	23
2.9. Escenarios pos pandemia sobre el manejo de los residuos provenientes de proyectos solares.....	24
2.9.1. La política pública habilitador de la transición energética en Colombia.....	25
2.9.2. Manejo de los residuos provenientes de proyectos solares.....	26
3. Metodología	28
3.1 Tipo de Investigación	28
3.2. Alcance de la Investigación.....	29
3.3. Operacionalización de los objetivos.....	29

4. Resultados y análisis	31
5. Conclusiones	49
Referencias Bibliográficas	52

Lista de Figura

Figura 1 Estructura básica de una celda fotovoltaica.....	9
Figura 2 Ejemplo Energía Renovable	12
Figura 3 Ejemplo Energía no renovable.....	13
Figura 4 Elementos de un sistema fotovoltaico	19
Figura 5 Clasificación de los residuos	20
Figura 6 Proyección global de la energía renovable	33
Figura 7 Proyección nacional de la energía renovable.....	34
Figura 8 Proyección nacional de la energía solar fotovoltaica	34
Figura 9 Colombia. Proyectos de fuentes renovables no convencionales (FRNC) registrados en la UPME (a febrero de 2019)	47

Lista de Tablas

Tabla 1, Operacionalización de los objetivos.....	29
Tabla 2, Insumos que componen los paneles solares de silicio.....	38
Tabla 3, Insumos que componen los paneles solares de películas delgadas según su capa de estructura	39
Tabla 4, Porcentajes de material recuperado de los residuos generados en cada uno de los tipos de paneles	40

Resumen

Las energías renovables, específicamente la energía solar, se presentan como una solución fundamental a la necesidad energética mundial. La gestión para el desensamble de proyectos solares fotovoltaicos genera un mercado saliente en este sector de la industria. Los residuos generados por un módulo solar aproximadamente pueden ser aprovechados en un 85% aproximadamente, sin embargo, resulta inquietante el desconocimiento por parte de los fabricantes, entidades y consumidores hacia las directrices que permitan una segura y eficaz gestión de los módulos o de los residuos resultantes. Este trabajo tiene como objetivo analizar los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pospandemia en Colombia. La investigación fue desarrollada por medio de 4 etapas fundamentales, en primer lugar, describir los escenarios actuales, en segundo lugar, identificar los tipos de residuos que se generan durante el ciclo de vida de un proyecto solar fotovoltaico y especialmente tras finalizada la vida útil de los elementos principales de estos proyectos, en tercer orden, analizar los componentes actuales de programas de posconsumo existentes en Colombia y por último, analizar los resultados y tendencias de políticas ambientales en Colombia.

Palabras claves: Energía renovable, energía solar, paneles solares, fotovoltaicos, residuos, economía circular

Abstract

Renewable energies, specifically solar energy, are presented as a fundamental solution to the global energy need. The management for the disassembly of solar photovoltaic projects generates an outstanding market in this sector of the industry. Approximately 85% of the waste generated by a solar module can be used, however, the lack of knowledge on the part of manufacturers, entities and consumers towards the guidelines that allow safe and effective management of modules or waste is disturbing. This work aims to analyze the challenges associated with the disposal and reuse of waste from solar projects in the energy transition and post-pandemic scenarios in Colombia. The research was developed through 4 fundamental stages, firstly, to describe the current scenarios, secondly, to identify the types of waste that are generated during the life cycle of a photovoltaic solar project and especially after the end of the useful life of the main elements of these projects, in third order, analyze the current components of existing post-consumption programs in Colombia and finally, analyze the results and trends of environmental policies in Colombia.

Keywords: Renewable energy, solar energy, solar panels, photovoltaic, waste, circular economy

Introducción

La energía solar fotovoltaica transforma de manera directa la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico. Al incidir la radiación del sol sobre una de las caras de una célula fotoeléctrica (que conforman los paneles) se produce una diferencia de potencial eléctrico entre ambas caras que hace que los electrones salten de un lugar a otro, generando así una corriente eléctrica.

En un mundo con unos límites de emisiones de carbono cada vez más estrictos, las tecnologías de energía solar representan una de las formas de generación de electricidad más limpias. La energía solar no produce emisiones mientras se genera y los estudios han demostrado claramente que la huella de carbono durante su ciclo de vida es inferior a la de los combustibles fósiles.

La energía fotovoltaica constituye quizás el sector más popular y de mayor crecimiento de la tecnología solar. Los instrumentos fotovoltaicos generan electricidad directamente de la luz solar mediante un proceso eléctrico que se produce de manera natural en determinados tipos de materiales.

La promoción de Colombia en eficiencia energética y sostenibilidad, a través de las obligaciones de compra de energías renovables, debería crear condiciones de mercado para impulsar mejoras y aumentar la confiabilidad en la red eléctrica del país.

Los nuevos incentivos fiscales para financiar el desarrollo de capacidad adicional de almacenamiento, energía solar y eólica, así como eliminación de trámites innecesarios en los procesos de concesión de licencias ambientales, son señales positivas para estimular la inversión privada en todo el país. La integración de la energía renovable en la producción de petróleo y gas es otro paso. Para los mercados financieros centrados en criterios de inversión ASG

(Ambientales, Sociales y de Gobierno corporativo), la integración de la energía renovable en los planes energéticos a largo plazo subraya aún más la estabilidad y el atractivo de las inversiones futuras en Colombia.

De este modo se previenen posibles impactos a la salud y al ambiente por inapropiadas acciones de disposición. Lo que se pretende en este trabajo es analizar y detallar aquellos componentes de un sistema solar fotovoltaico, especialmente detallando en los paneles solares y establecer aquellas estrategias necesarias para la gestión, tratamiento y disposición de los residuos generados.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Analizar los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pospandemia en Colombia.

1.2 Objetivos específicos

Describir los escenarios actuales y proyectados de generación de energía a partir de proyectos solares fotovoltaicos y su efecto en la generación de residuos.

Identificar el tipo de residuos que se obtienen durante la vida útil de un proyecto solar y las tecnologías-estrategias para su disposición final y reciclaje.

Analizar los componentes actuales de programas de posconsumo existentes en Colombia que pueden ser aplicables a la gestión de residuos en proyectos solares fotovoltaicos.

Analizar los resultados y tendencias de políticas ambientales en Colombia relacionadas con la disposición final y reciclaje de residuos generados en proyectos solares fotovoltaicos.

2. Marco Teórico

2.1 Energía solar fotovoltaicos

De acuerdo con el autor (Arancibia Bulnes & Best y Brown, 2010), “la radiación solar no se transforma en calor, sino que se convierte directamente en electricidad, mediante el llamado efecto fotovoltaico”.

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas fotovoltaicas. (IBERDROLA, 2020).

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y limpia que utiliza la radiación solar para producir electricidad. Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica.

Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo, o bien otros materiales semiconductores de capa fina. Las de silicio monocristalino se obtienen a partir de un único cristal de silicio puro y alcanzan la máxima eficiencia, entre un 18 % y un 20 %. Las de silicio policristalino se elaboran en bloque a partir de varios cristales, por lo que resultan más baratas y poseen una eficiencia media de entre el 16 % y el 17,5 %. Por último, las de silicio amorfo presentan una red cristalina desordenada, lo que conlleva peores prestaciones (eficiencia media de entre un 8 % y un 9 %) pero también un precio menor.

El efecto fotovoltaico consiste en que la luz puede generar una corriente eléctrica al iluminar ciertos materiales. Fue descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. A pesar de este temprano descubrimiento, fue hasta la década de los años cincuenta del siglo XX que se encontró un material que presentaba el efecto fotovoltaico de manera eficiente: el silicio.

Al principio, las celdas solares de silicio eran muy caras como para usarlas de manera comercial. Sin embargo, se les encontró una aplicación ideal en la que su precio no era un obstáculo: suministrar energía a los satélites. De esta manera, la carrera espacial entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, en los años sesenta, dio un importante impulso al mejoramiento de las celdas solares, cuyas eficiencias llegaron más allá del 15 por ciento en aquella época; a la fecha han alcanzado hasta el 39 por ciento. Esto ha venido acompañado de importantes reducciones en sus costos.

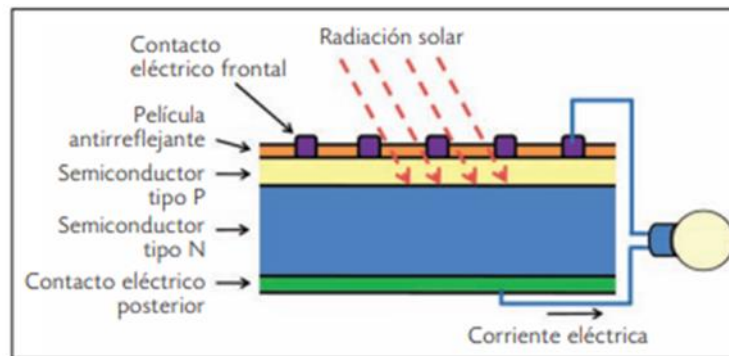
El efecto fotovoltaico se basa en el uso de materiales semiconductores. Éstos se caracterizan porque conducen la electricidad mejor que un aislante y menos efectivamente que un metal, pero sobre todo porque mejoran su capacidad para conducir la electricidad. Cuando incide luz sobre un semiconductor, la energía suministrada ayuda a darle mayor movilidad a algunos de los electrones presentes en el material, por lo que su capacidad para conducir la electricidad aumenta.

Sin embargo, para producir el efecto fotovoltaico no basta con liberar electrones. Es necesario que aparezca un voltaje que mueva a estos electrones en una dirección preferencial, generando una corriente eléctrica. La forma más común de lograr esto es unir dos materiales semiconductores de características electrónicas diferentes: uno de ellos debe ser capaz de ceder

parte de sus electrones con facilidad (se le llama material tipo N), mientras que el otro debe aceptar fácilmente electrones adicionales (material tipo P). El efecto fotovoltaico se produce precisamente al iluminar la superficie de unión entre los dos diferentes materiales.

Figura 1

Estructura básica de una celda fotovoltaica



Fuente: (Arancibia Bulnes & Best y Brown, 2010)

El artículo de energía del sol desde la perspectiva de conclusión menciona que la investigación en celdas fotovoltaicas es un área muy activa de la ciencia de materiales. Se investigan varios materiales distintos al silicio, y se busca reducir el costo de las celdas y mejorar su eficiencia. Existe trabajo de investigación muy prometedor en diversas instituciones nacionales e internacionales, por lo que hay buenas expectativas de contar con una tecnología nacional a mediano plazo si se les da el apoyo necesario a estos desarrollos. (Energía del sol, 2010).

BNamericas presenta los perfiles de las 11 principales iniciativas de energía solar, por capacidad, del registro de proyectos de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) del Ministerio de Energía de Colombia (BNamericas, 2020).

Proyecto Fotovoltaico Sebastosol

Propietario: Sebastosol.

Capacidad propuesta: 700MW.

Fase: estudios de viabilidad.

El Proyecto Fotovoltaico Sebastosol forma parte de un polo energético de US\$6.000mn que limita con los departamentos de Santander y Antioquia, que también incluye la primera refinería privada de Latinoamérica, una planta termoeléctrica de ciclo combinado de 135MW y una unidad de producción de hidrógeno. No se han revelado detalles sobre la inversión esperada en la instalación solar ni el cronograma de su finalización.

Parque Solar Cuestecitas

Propietario: Sowitec Operation Colombia

Capacidad propuesta: 600MW

Fase del proyecto: estudios de viabilidad

El proyecto contempla la construcción de un parque fotovoltaico en Riohacha, en el departamento de La Guajira. La inversión general se estima en US\$128mn, según la base de datos de proyectos de BNamericas.

Parque Fotovoltaico Canoas

Propietario: Due Capital And Services

Capacidad propuesta: 200MW

Fase del proyecto: prefactibilidad y análisis técnico.

El propietario presentó planes preliminares a la UPME para construir la instalación de 200MW en Soacha, en el departamento de Cundinamarca.

2.2. Energía renovable

Para (Alsina, 2011), “Son fuentes que producen energía constantemente, de forma que se renueva continuamente, y su utilización se considera ilimitada”.

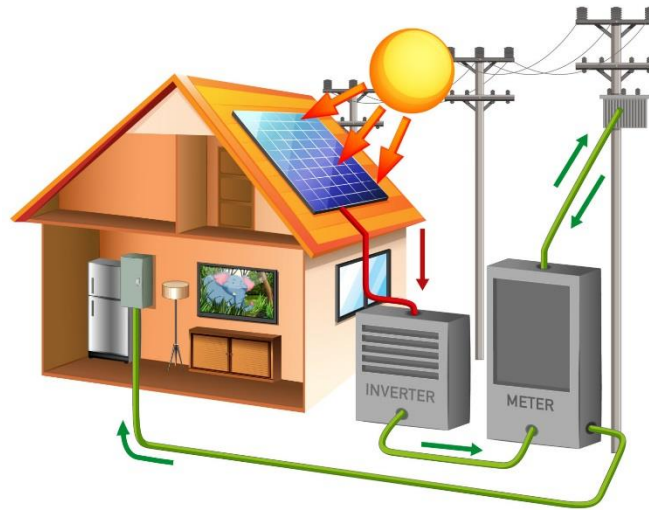
Las fuentes renovables de energía pueden clasificarse en dos categorías, las no contaminantes o limpias tales como: la energía solar (térmica y termoeléctrica), la energía eólica, la energía hidráulica, la energía mareomotriz y la energía geotérmica; y las potencialmente contaminantes como las que se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, por la emisión de dióxido de carbono, y la obtenida mediante los residuos sólidos urbanos que emiten material particulado y residuos no calcinable.

Una de las principales ventajas de las energías renovables es que, además de ser inagotables, presentan un nulo o bajo impacto negativo sobre el medio ambiente, por lo que se consideran energías limpias. En la actualidad las energías renovables son una realidad presente en nuestra sociedad y sus beneficios para el medio ambiente son más que evidentes.

Todas las sociedades del planeta son consumidoras de energía en mayor o menor medida, pero la realidad es que la mayor parte de la energía que se consume procede de fuentes no renovables, como los combustibles fósiles y la energía nuclear, cuyo impacto negativo sobre el medio ambiente es superior. Un aspecto a destacar de las energías renovables es que pueden ser aplicadas y explotadas a nivel local, lo que ayuda a disminuir la dependencia de las poblaciones hacia los grandes productores de energía, favoreciendo el desarrollo económico y la creación de empleo.

Figura 2

Ejemplo Energía Renovable



Fuente: (Gelsoperu, 2020)

2.3. Energía no renovable

Según (Alsina, 2011), “ Se denominan así a aquellas fuentes de energía que a través de los años han sido formadas en las distintas épocas geológicas y reciben el nombre de combustibles por el uso que se les ha dado, además de que deberían transcurrir muchos años para que esta pueda volver a generarse .

También menciona (Guevara Alvarado, 2013), “Los combustibles fósiles son recursos no renovables: no podemos reponer lo que gastamos. En algún momento se acabarán, y tal vez sean necesarios millones de años para contar nuevamente con ellos”.

Son aquellas cuyas reservas son limitadas y se agotan con el uso. Las principales son la energía nuclear y los combustibles fósiles, el petróleo, el gas natural y el carbón. Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. La energía más utilizada en el mundo es la energía

fósil. El planeta puede suministrar energía durante 40 años más (si sólo se utiliza el petróleo) y más de 200 años (si se sigue utilizando el carbón) (company, 2022).

Los combustibles fósiles conforman el 97% de la energía primaria que se consume en el mundo, 38% es carbón, 40% es petróleo y 19% es gas natural. Estas generan contaminación y no son renovables. Se estima que el petróleo durará 45 años más, el gas natural 65 y el carbón 23 (company, 2022).

Figura 3

Ejemplo Energía no renovable



Fuente: (Alcubierre D., 2019)

Dentro de las ventajas y desventaja de este tipo de energía tenemos:

Ventajas de la energía no renovable

Las fuentes de energía no renovables no se pueden reponer en un corto período de tiempo. Incluyen combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural, el carbón y el uranio utilizados para la energía nuclear. A pesar de esto, tienen un par de ventajas:

Las principales ventajas de las energías no renovables es que son abundantes y asequibles. Por ejemplo, el petróleo y el diésel siguen siendo buenas opciones para impulsar vehículos.

La energía no renovable es rentable y más fácil de fabricar y usar (RIC Renovables, 2020).

Por otro lado, tenemos las desventajas que representa este tipo de energía no renovable:

Desventajas de la energía no renovable

Una vez que las fuentes de energías no renovables desaparecen, no pueden ser reemplazadas o revitalizadas.

La extracción de energía no renovable y los subproductos que dejan atrás causan daños al medio ambiente. Hay pocas dudas de que los combustibles fósiles contribuyen al calentamiento global.

Cuando se queman combustibles fósiles, los óxidos nitrosos causan contaminación fotoquímica, el dióxido de azufre crea lluvia ácida y se emiten gases de efecto invernadero.

Una desventaja importante de la energía no renovable es el desafío de romper el hábito de apoyarse en ella (RIC Renovables, 2020).

2.4. Paneles solares

De acuerdo con (Autosolar, 2021), “un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía del sol para generar calor o electricidad.

Según estos dos fines podemos distinguir entre colectores solares, que producen agua caliente (generalmente de uso doméstico) utilizando la energía solar térmica, y paneles fotovoltaicos, que generan electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre las células fotovoltaicas del panel.

En el colector o captador solar hay un líquido que absorbe la radiación solar en forma de calor, este líquido pasa posteriormente a un compartimento de almacenamiento de calor. Los paneles constan de una placa receptora y unos conductos por los que circula dicho líquido. El líquido caliente se hace pasar a un intercambiador de calor, donde cede su calor calentando el agua de posterior uso doméstico. Cuando sale del intercambiador de calor el líquido está frío y se recircula de nuevo al colector solar.

Los paneles solares fotovoltaicos constan de multitud de celdas, llamadas células fotovoltaicas, que convierten la radiación solar en electricidad. Se genera electricidad debido al efecto fotovoltaico que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá corriente eléctrica.

El panel solar está compuesto por varias células y la cantidad de éstas va a ser la cantidad de energía que se genere, por ejemplo: un panel con 36 células va a producir aproximadamente 12V. y uno de 72 va a generar más de 24V. y así sucesivamente.

Los materiales más utilizados para fabricar estas células son el arseniuro de galio (GaAs), que se utiliza en otros dispositivos electrónicos complejos, y el silicio (Si), de menor coste económico y que se utiliza también en la industria microelectrónica.

Los paneles solares también presentan ventajas y desventajas que son importante para la investigación que se plantea.

Ventajas de los paneles solar

El uso de la energía solar tiene una serie de beneficios que conviene conocer. Estos son los más destacados (Idealista, 2021).

- Cero emisiones contaminantes.
- Ahorro energético.
- No genera ruido.
- Compatible con otras clases de energía.
- Disponible en todo el planeta.

Desventaja de la energía solar

Aunque la utilización de energía de origen solar tiene muchos aspectos positivos, también conviene valorar la parte negativa. Es importante que recuerdes que el mix energético ofrece varias posibilidades y que, según el emplazamiento, con interés en una fuente u otra:

(Idealista, 2021).

- Exige una inversión inicial elevada.
- Potencia limitada.
- Dependencia del clima.

2.5 Elementos de un sistema fotovoltaico

Es importante destacar que, aunque estos elementos son elementos básicos generales que se manejan dentro de la estructura, estos pueden ser actualizados con otros sistemas que incluyan tecnología comercial de punta para mejorar su desarrollo, dentro de los elementos que existe para todos los paneles solar de forma general tenemos según (Solarama, 2020):

Borde de aluminio

Alrededor del panel hay un borde de metal o aluminio anodizado que sirve para proteger toda la estructura y las células, asimismo funciona para poder montar la estructura, es decir la instalación, además de la corrosión por las situaciones climatológicas por las que pasa el panel.

El anodizado es una protección que se le aplica a los metales para que esté protegido de la abrasión y la corrosión.

Cubierta de vidrio

Este vidrio protege al panel solar, dado que está en el exterior, lo protege de la lluvia, el viento, polvo y todas estas condiciones climatológicas, además de que mejora la transmisión de luz.

Capa EVA

Se le conoce así por la abreviación de Etileno Vinil Acetato, el cual se encarga de unir las células solares con la cubierta de vidrio, además de sellarlas y evitar que se infiltre polvo, la humedad o cualquier basura que pueda dañar a los paneles solares. Y gracias a su composición permite que la radiación pase sin ningún problema.

Celdas solares

La celda fotovoltaica es la que se encarga de convertir la radiación solar que se obtiene para convertirla en corriente continua, que se pueda utilizar y a pesar que es la parte más pequeña del módulo solar, es una de las más importantes.

Existen dos tipos de celdas solares, la monocristalina y la policristalina, ambas tienen sus propias ventajas y aportan gran cantidad de energía.

Diodos

Los diodos van colocados en la parte trasera de un panel, y evitan que se produzcan efectos negativos en el rendimiento del panel solar a causa del sombreado, estos diodos se almacenan en una caja que se le llama Junction Box.

Junction Box

La junction box o la caja de conexiones tiene una función sencilla, pero importante, y es la de mantener unidos los cables que se conectan detrás de los diodos y de tal manera que cuando haya un área sombreada, la junction box mantiene el flujo de la energía que se genera en una sola dirección.

Estas son las partes que conforman los paneles solares, que es una parte del sistema fotovoltaico, y la suma de sus partes que producen la energía eléctrica que se puede utilizar y suministrar a los hogares.

Figura 4

Elementos de un sistema fotovoltaico

Estructura de un panel solar fotovoltaico



Fuente: (Solarama, 2020)

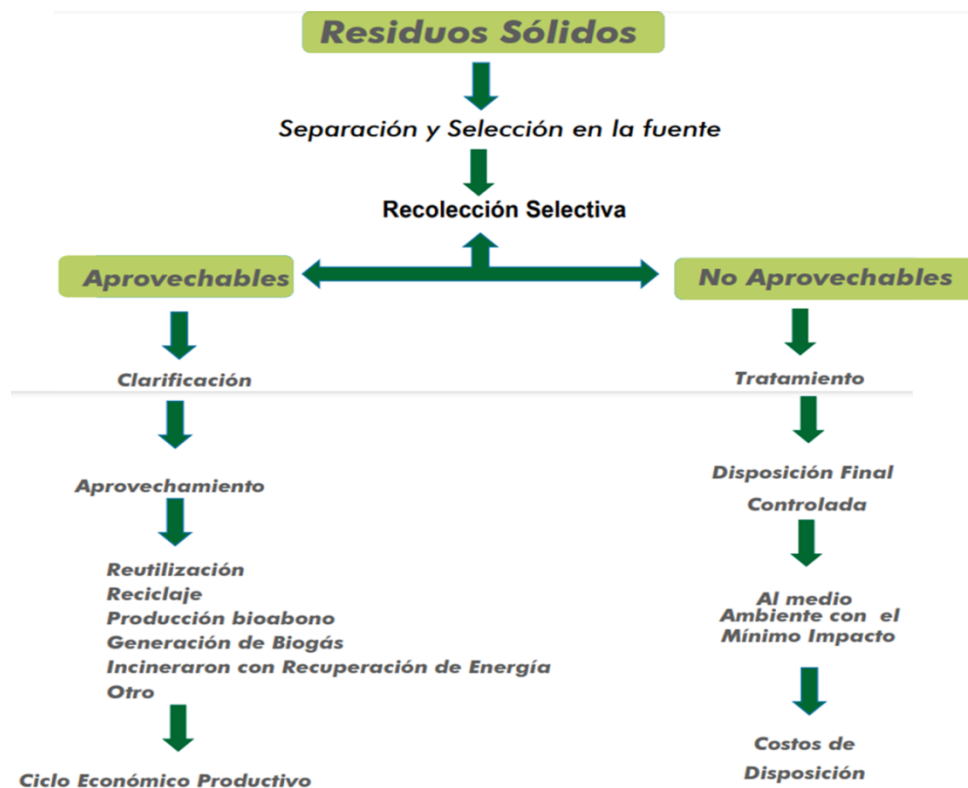
2.6. Residuo sólido aprovechable

Según (Rivas Aria, 2018), “Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo”.

La gestión de los residuos se enfoca en la separación en la fuente de los residuos (aprovechables y no aprovechables), con la finalidad de preservar el medio ambiente y mitigar la contaminación que provocan los residuos que generamos en casa que son dispuestos al relleno sanitario.

Figura 5

Clasificación de los residuos



Fuente: <http://www.emserchia.gov.co/PDF/redaprovecha.pdf>

Los residuos que pueden ser aprovechados son cartón, papel, vidrio, plástico, material orgánico y metales como aluminio y cobre. No incluye residuos sólidos ordinarios, ni los denominados especiales o peligrosos (Eléctricos, electrónicos, hospitalarios, de construcción y demolición).

2.7. Clasificación de los residuos generados por los paneles solares

Como plantea (Parvez, Nazmul, Shahjadi , & Candace, 2018), en cuanto a la clasificación de los residuos generados:

Al final de la vida útil de los paneles solares nos centramos en tres tipos: la clasificación denominada “aprovechamiento de valor” la cual se fundamenta en la incorporación de los residuos una vez generado ya sea de manera de reciclaje, reutilización, reincorporación y eliminación; en cuanto a la otra clasificación de residuos escogida es la estipulada en el convenio de Basilea, la cual se basa en su potencialidad de peligrosidad al ambiente: estableciéndolos en desechos inertes, desechos no peligrosos y desechos peligrosos. La tercera es según el aspecto origen especial del residuo. Lo que nos permite determinar cuáles son los residuos que no se pueden incorporar de una manera tan rápida nuevamente al mercado y cuáles de estos poseen un mayor potencial de peligrosidad y toxicidad a los seres humanos y al medio ambiente como tal.

De acuerdo con (Parvez, Nazmul, Shahjadi , & Candace, 2018), (Bonilla., 2016). con la primera clasificación se establece que los residuos generados al final de la vida útil de los paneles solares tanto los de silicio policristalinos y los de películas delgadas corresponden a un material con gran potencial de reciclaje y reutilización pues los componentes de vidrio sosa, los polímeros basados en Etil-Vinil-Acetato (EVA), las placas de aluminio de los marcos y láminas de soportes tienen bastantes salidas a nuevos mercados; y su desintegración y separación de los panes solares resulta ser una operación sencilla, rápida y muy limpia si se tiene en cuenta que prácticamente

salen de manera puros y con poca alteración con los otros componentes y adicionalmente dicho porcentaje en relación con la masa y al volumen de los residuos generados por los paneles solares está por encima del 90% en ambos tipos de paneles solares.

Sin embargo los componentes utilizados en la fabricación de celdas solares fotovoltaicas y conductores se mezclan de algunos metales y cuyo porcentaje están entre el 4% para los paneles de sílice y del 2% para los de películas delgadas presentan un potencial de poco reciclaje o reincorporación a otras industrias pues para su separación requieren de grandes cantidades de energía y de un tratamiento especial dada la características fisicoquímicas de cada uno de estos metales seleccionados en su fabricación. (Bonilla., 2016) (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019).

En relación con la clasificación basada en su peligrosidad se encuentra que los residuos como el vidrio, los polímeros y las estructuras del marco (aluminio) que se tienen como potencialmente reciclajes o reutilizables no presentan mayor peligrosidad tanto para los humanos como al medio ambiente, sin embargo pasa lo contrario con los residuos de las celdas y los conductores pues estos presentan un grado de peligrosidad al estar compuesto de metales pesados tales como el plomo y el cadmio, los cuales al estar al contacto con el agua pueden llegar a generar lixiviados cargados de estos elementos alterando así el ecosistemas. (Bonilla., 2016) (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019). El caso específico del Silicio que es uno de los componentes esenciales de los paneles solares de tipo silicio policristalino, si bien no se disuelve tan rápido con el agua para formar lixiviados de algún tipo, si tiene un efecto de toxicidad bajo al quedar expuesto tanto tiempo al aire libre pues puede llegar a contribuir a la generación de material particulado de alguna zona. (Bonilla., 2016)(Bonilla, 2016), (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019).

Respecto al plomo, el cual es uno de los componentes de los paneles solares de tipo silicio policristalino, se tiene que éste elemento es altamente toxico, pues se puede liberar al medio ambiente al disolverse con algunos ácidos generando lixiviados que pueden llegar a presentar alteraciones en los suelos y cuerpos de aguas y al ser ingerido por los humanos y animales provoca alteración en su sistema nervioso, respiratorio y cardiaco, también dependiendo de la cantidad de dosis ingerida puede llegar a causarles la muerte. (Bonilla., 2016) (Berrio & Zuluaga, 2014) (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019).

Con relación al elemento Cadmio presente en los paneles solares de tipo películas delgadas, con su característica principal ser un metal pesado, se considera uno de los elementos cancerígenos en los humanos y en los animales; En concentraciones de 50 mg y en un intervalo de una hora en los seres humanos se han reportado casos fatales, el cual al contacto con agentes corrosivos o ácidos tienden a formar lixiviados.

En cuanto a la clasificación relacionada al aspecto origen especial, se encuentra que están clasificados entre los componentes como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), ya que al ser los paneles solares constituidos con componentes electrónicos deben ser manejados con unas características específicas para su grupo.

2.8. Reciclaje

De acuerdo con (Rivas Aria, 2018), “Proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos”.

2.9. Escenarios pos pandemia sobre el manejo de los residuos provenientes de proyectos solares

Para (MInisterio de Minas y Energía, 2021) “Hoy Colombia se consolida como el país más atractivo para desarrollar proyectos de energías renovables en América Latina. Tenemos el mejor marco normativo, regulatorio y fiscal para la expansión de estas fuentes, una revolución que llegó para quedarse, generar oportunidades de empleo y ser dinamizador de la economía local con sostenibilidad.

Colombia escaló 14 posiciones en ranking de sostenibilidad energética del Consejo Mundial de Energía. En 2020 el país pasó del puesto 49 al 35, y ocupó el sexto lugar entre los países de América Latina y el Caribe. Además, según el Foro Económico Mundial, somos el país de América Latina con mayores avances hacia la transición energética. Subimos 9 posiciones en el Índice de Transición Energética 2020, al pasar del puesto 34 al 25, en el último año.

Colombia se ha destacado como un líder en esta transición energética, inclusive a nivel global. Para el 2022, más de 12% de su capacidad instalada de generación eléctrica vendrá de fuentes renovables no convencionales, comparado con menos del 1% en 2018. Desde el (BID), se ha apoyado al país en este esfuerzo con instrumentos de política pública para gestionar subastas de contratos de largo plazo, fortalecer los marcos regulatorios, y adoptar herramientas técnicas para integrar adecuadamente las fuentes no convencionales de energía renovable.

Las acciones de Colombia tienen como objetivo asegurar la competitividad en un mundo cambiante, crear seguridad laboral y acceso a la energía. Esto ayudará a sostener el crecimiento en las próximas décadas.

2.9.1. La política pública habilitador de la transición energética en Colombia

Para (MInisterio de Minas y Energía, 2021), posee tres grandes objetivos: (i) migrar hacia un sistema energético más competitivo, eficiente y resiliente, mediante la masificación de energías renovables no convencionales y la adopción de nuevas tecnologías; (ii) eliminar las brechas energéticas, introduciendo nuevos modelos de negocio y nuevas tecnologías para acelerar la universalización del servicio de energía eléctrica y gas combustible en todo el territorio; y (iii) liderar la lucha contra el cambio climático, priorizando la movilidad sostenible con la introducción masiva de combustibles de cero y bajas emisiones, el uso de vehículos híbridos y eléctricos, y políticas de eficiencia energética a nivel residencial, comercial e industrial.

Primer paso fue introducir en el PND incentivos y medidas específicas para fomentar las energías renovables no convencionales y la eficiencia energética, incluyendo mejoras a la Ley 1715 de 2014.

En segundo lugar, y en pro de eliminar trámites innecesarios y democratizar el uso de sistemas fotovoltaicos, se hizo exclusión automática del IVA en la adquisición de paneles solares, inversores y controladores de carga. Este cambio supuso una eficiencia importante, pues en la Ley 1715 solo se podía acceder a la exclusión después de surtir un trámite previo y no muy ágil, en el que se debía indicar anticipadamente a qué proyecto específico serían destinados dichos bienes.

Se introdujo una segunda herramienta de política pública, la cual fue la ley de crecimiento o Ley de Financiamiento que tramitó el Gobierno en 2018. Acá el enfoque era en incentivos de carácter general para industrias intensivas en el uso de capital, como es el caso del sector energético.

La disminución gradual del impuesto sobre la renta que para el año 2019 era del 33% y para el 2022 cerrará en 30%. De igual manera se determinó que la totalidad del IVA pagado en la adquisición o formación de activos fijos reales productivos sería descontable del impuesto sobre la renta, se extendió a otro impuesto que también desincentiva la inversión, como es el caso del impuesto a la industria y comercio (ICA).

2.9.2. Manejo de los residuos provenientes de proyectos solares

Representa el ciclo de vida de esta fuente de energía y sus distintos componentes incluidos los paneles solares, acerca de la producción limpia y la reducción de huellas de carbón, donde se evidencia los impactos ambientales que se tendrán a futuro en la etapas de desmontaje y destrucción de los paneles solares fotovoltaicos podrían presentar un grado de alteración y contaminación a los ecosistemas (Parvez, Candace, Nazmut, & Shahjadi, 2018). Esto llevaría a que un mal manejo de estos residuos de características potencialmente peligrosos podría generar una gran catástrofe sobre los ecosistemas naturales y sobre los asentamientos humanos, generando pérdidas y alteraciones de ecosistemas y propagación de enfermedades o alteraciones a la salud humana, generándose un problema desde ya en el tema de planeación de ambiental enfocada al manejo de residuos sólidos y peligrosos.

Por lo cual el número de unidades de paneles solares desechadas una vez se terminen su ciclo de vida en un par de años, convertirá a estos aparatos en una fuente importante de generación de residuos sólidos que en algunos casos serán de potencial peligroso.

Es por esta razón que se pretende dar las pautas para el manejo adecuados de estos residuos, observamos como la política pública sobre la utilización de energía limpia para un

futuro cercano, pero no se observa en concreto proyectos para el aprovechamiento y tratamiento de estos residuos que generan los paneles solares.

Es por esto que se plantea la realización un manejo integral de los residuos sólidos generados al final del ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaico en Colombia, y evitar futuros desastres ambientales, como ya los tuvimos por varios años con la mala disposición de residuos generados por las bombillas eléctricas, llantas de caucho, pesticidas y otros productos industriales que generaron grandes problemáticas al final de la útil sobre nuestros ecosistemas y sobre algunas poblaciones.

Una vez identificado los materiales de fabricación y una clasificación de los residuos que se va generando a través del ciclo de vida de los paneles solares de tipo fotovoltaico, y sus posibles consecuencias y peligros a nivel de salud y ambiente, se pretende evaluar el grado de eficiencia a través del uso y manejo eficiente de los modelos comprobados internacionalmente para la disposición de estos residuos siendo de esta manera una forma de analizar los retos a futuros a nivel de legislación en Colombia a través de sus políticas y normas vigentes respecto a estos desechos industriales.

3. Metodología

En el presente apartado se define la metodología y procedimientos empleados para el logro de un objetivo general a través del desarrollo de los objetivos específicos.

3.1 Tipo de Investigación

La sistemática utilizada para desarrollar la investigación, a partir de los objetivos planteados se sustenta en la investigación científica, la cual según Ribeira (2008), representa el mecanismo sistemático a través del cual los científicos e investigadores, pueden obtener conclusiones antes de la hipótesis planteada en los diferentes proyectos.

El tipo de Investigación es descriptiva, ya que se busca analizar los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pos pandemia en Colombia, cuyos efectos fueron objeto de análisis en esta investigación.

Define (Arias, 2012), la investigación descriptiva como aquella investigación que:

Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

El enfoque cualitativo, que se basa en las descripciones y las observaciones, busca comprender el complejo mundo de la experiencia vivida desde el punto de vista de las personas que son actores principales. Utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación. Como menciona (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio., 2014) algunas características del enfoque cualitativo son:

El investigador cualitativo utiliza técnicas para recolectar datos, como la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida, e interacción e introspección con grupos o comunidades. La investigación cualitativa se fundamenta en una perspectiva interpretativa centrada en el entendimiento del significado de las acciones de seres vivos, sobre todo de los humanos y sus instituciones (busca interpretar lo que va captando activamente).

3.2. Alcance de la Investigación

De acuerdo con (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio., 2014), El tipo de alcance determinado fue explicativo, con respaldo en la bibliografía internacional que se encuentra relacionada con la gestión adecuada de paneles solares y sus diversas formas de aprovechamiento cuando estos cumplen su vida útil o desean ser cambiados por otros con mayor y mejor eficiencia.

3.3. Operacionalización de los objetivos

Para definir el plan de trabajo y desarrollo de los objetivos, se plantea en la tabla siguiente la operacionalización de los objetivos.

Tabla 1

Operacionalización de los objetivos

Título	Análisis de los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pos pandemia en Colombia
Formulación del problema	¿Cuáles son los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pos pandemia en Colombia]?
Objetivo General	Analizar los retos asociados a la disposición y reúso de residuos provenientes de proyectos solares en los escenarios de transición energética y pospandemia en Colombia
Matriz para operacionalizar los objetivos específicos	

Preguntas de sistematización objetivos específicos	Objetivo específico	Actividades	Técnicas e instrumentos	Fuentes: Primarias y secundarias	Posibles resultados
¿Podrán los escenarios actuales y proyectados de generación de energía solares tener un efecto de generación positiva en los residuos?	Describir los escenarios actuales y proyectados de generación de energía a partir de proyectos solares fotovoltaicos y su efecto en la generación de residuos	✓ Analizar los diferentes enfoques teóricos, de parte de investigaciones previas que nos permita analizar y cruzar con la información obtenida diferentes referencias bibliográficas.	Técnica ➤ Observación documental Instrumentos ➤ Papeles de trabajo para el análisis	Secundarias: Documentos Artículos Libros Noticias Pág. Web	Obtener los detalles de estudios realizados para evaluar los diferentes escenarios que están actualmente por desarrollarse y aquellos que se tiene pensado realizar.
¿Cuáles son los tipos de residuos que se obtienen durante la vida útil de un proyecto solar y las tecnologías-estrategias para su disposición final y reciclaje?	Identificar el tipo de residuos que se obtienen durante la vida útil de un proyecto solar y las tecnologías-estrategias para su disposición final y reciclaje	✓ Analizar los diferentes enfoques teóricos, de parte de investigaciones previas que nos permita analizar y cruzar con la información obtenida diferentes referencias bibliográfica	Técnica: ➤ Observación documental Instrumentos: ➤ Papeles de trabajo para el análisis	Secundarias: Documentos Artículos Libros Noticias Pág. Web	Información sobre los diferentes residuos que se obtiene durante la vida útil de los equipos de paneles solares.
¿Pueden los componentes actuales de programas de posconsumo existentes en Colombia que pueden ser aplicables a la gestión de residuos	Analizar los componentes actuales de programas de posconsumo existentes en Colombia que pueden ser aplicables a la gestión de residuos	✓ Revisar y detallar la variedad de componentes que actualmente disponen en Colombia y siendo estos partes importantes para el tratamiento de los residuos de los proyectos solares	Técnica: ➤ Observación documental Instrumentos: ➤ papeles trabajo para el análisis	Secundarias: Documentos Artículos Libros Noticias Pág. Web	Información sobre los diferentes proyectos nacionales de paneles solares fotovoltaicos que permita detectar la cantidad de residuos que estos puedan

proyectos solares fotovoltaicos?	proyectos solares fotovoltaicos					aportas a esta gestión
--	---------------------------------------	--	--	--	--	---------------------------

¿ cuáles son los resultados y tendencias de políticas ambientales en Colombia relacionadas con la disposición final y reciclaje de residuos generados en proyectos solares fotovoltaicos	Analizar los resultados y tendencias de políticas ambientales en Colombia relacionadas con la disposición final y reciclaje de residuos generados en proyectos solares fotovoltaicos	✓	Revisar las normas legales de Colombia que regule todo lo relacionado con el teletrabajo y el trabajo en casa	Técnica ➤ Observación documental Instrumentos ➤ papeles trabajo para el análisis	Secundarias: Documentos Artículos Libros Noticias Pág. Web	Permitirá analizar la gestión pública sobre la implementación de políticas ambientales que permita desarrollar la gestión de residuos de los diferentes proyectos solares
--	--	---	--	---	--	---

Fuente: Propia del Autor.

4. Resultados y análisis

Escenarios actuales y proyectados de generación de energía a partir de proyectos solares fotovoltaicos y su efecto en la generación de residuos.

Cuando se habla de la energía solar fotovoltaica se trata de aquella energía autóctona, disponible en la práctica totalidad del planeta, lo que contribuye a reducir las importaciones energéticas y a crear riqueza y empleo de forma local. Por todo ello, la producción de electricidad mediante energía fotovoltaica y su uso de forma eficiente contribuyen al desarrollo sostenible.

Hoy las energías renovables son más baratas a largo plazo y en la línea del tiempo, cuando comparamos los costos de inversión y retribución, que las energías convencionales. Más de dos tercios de la población mundial vive en países donde la energía solar y eólica son ya las fuentes de energía más competitivas. Y si se internalizan y tienen en cuenta los costes ambientales y sociales de las fuentes de energía, las renovables son las fuentes de energía más competitivas en todo el planeta. En los últimos diez años, el precio de los módulos fotovoltaicos se ha reducido en un 94 % de su costo adquisitivo y la puesta en marcha.

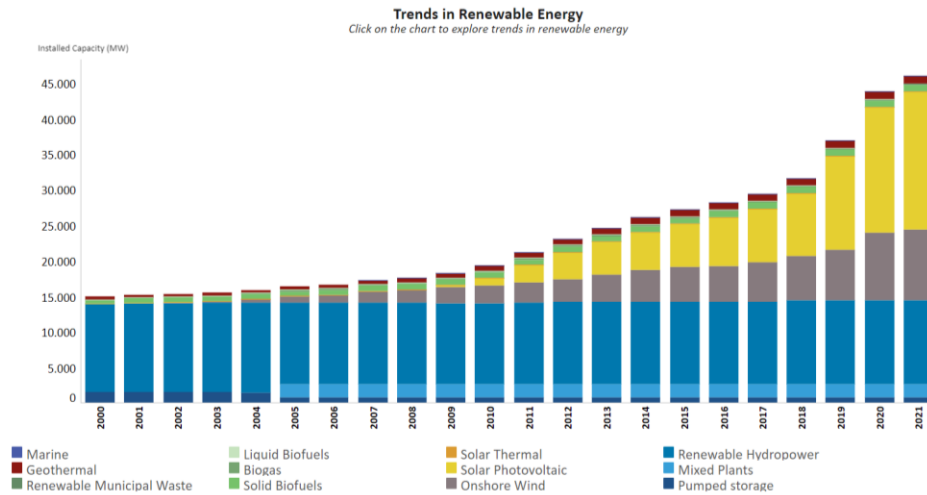
Los modernos paneles fotovoltaicos son cada vez más eficientes, de forma que, en condiciones estándar, se calcula en unos dos años el tiempo que tarda un panel en generar la energía utilizada para su producción, siendo su vida útil de 30 años aproximadamente, de ahí en adelante su capacidad de captación seguirá generando energía con la luz del sol como único combustible, limpio, gratuito e inagotable. Los principales componentes de un panel fotovoltaico son el silicio, el aluminio el vidrio y el cobre, y su fabricación no supone un proceso particularmente contaminante, que requiera medidas de protección y seguridad superiores a las de un proceso industrial convencional.

Una vez agotada su vida útil, los componentes de los paneles fotovoltaicos están catalogados como residuos no peligrosos y son recuperables en tasas muy elevadas de hasta más del 95%, lo que permite hacer un uso más sostenible de las materias primas empleadas y a reducir el volumen de desechos.

Una vez mencionada lo anterior se puede indicar como es el comportamiento en una proyección de la energía renovable según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) como se muestra en la figura N°6:

Figura 6

Proyección global energía renovable.



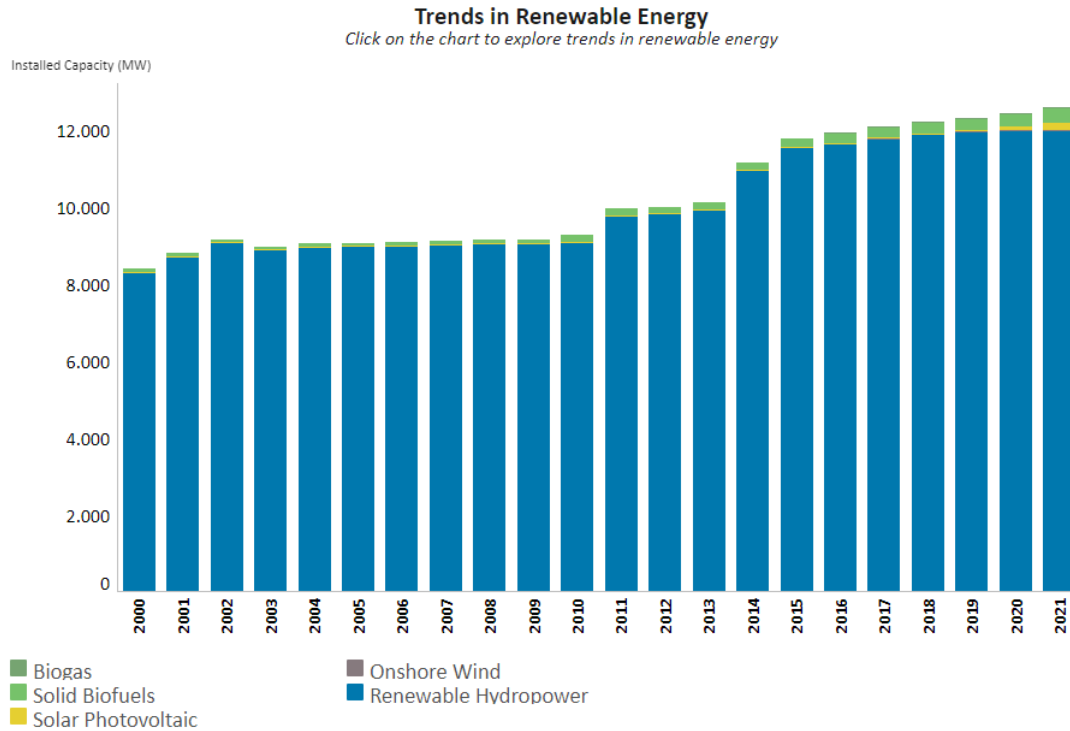
Fuente: (IRENE, public.tableau.com, 2020)

Se puede apreciar en la figura N° 6, la proyección de las diferentes fuentes de energía renovable a nivel global, con sus respectivos porcentajes de las capacidades instaladas en (MW), de la energía termo solar, solar fotovoltaica, marina, biocombustibles líquido y sólido, del biogás y la hidroelectricidad renovable, etc, donde apreciamos como ha ido aumentando el uso e instalación de la energía solar fotovoltaica presentado un comportamiento exponencial alto desde el año 2011 al 2021, donde pasó de 20.000 (MW) a 43.000 (MW) de capacidad instalada, desarrollándose en Pos pandemia como una energía atractiva a simple vista por sus beneficios: económicos, ambientales y sociales, con su objetivo de contribuir en la reducción de emisiones contaminantes mitigables al cambio climático y la entrada de un nuevo mercado de oportunidades.

De esta manera en el contexto nacional Colombiano podemos entender cómo ha ido tomando protagonismo la energía solar fotovoltaica, como se demuestra en la siguiente figura:

Figura 7

Proyección nacional de la energía renovable



Fuente: (IRENE, public.tableau.com, 2020)

Los datos observados en la figura 7, de la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica que ha liderado Colombia, desde el año 2000 al 2010, nos manifiesta que las proyecciones evaluadas referente a otras fuentes de energías renovables, ha sido un proceso lento en la puesta en marcha de la canasta eléctrica a raíz de la ausencia de instrumentos conducentes a tal propósito, que ha obedecido a su vez a la inexistencia de una política firmemente establecida que apoye y promueva el desarrollo y utilización de estas fuentes de energías renovables.

Pero observamos que el comportamiento, a partir del año 2014, empieza a surgir un desarrollo de manera notorio y exponencial al llegar la expedición de la ley 1715 en la política nacional, donde se da inicio a la consolidación de proyectos a gran escala con fuentes renovables, que se empiezan a ejecutar a partir del año 2017, a pesar de las barreras puntuales que se evidenciaron en la ley frente al caso de la energía solar FV, como lo son la venta de excedentes en condiciones permanentes, y la inexistencia de una figura reglamentada de productor (FNCER) de pequeña escala, desarrollada para usuarios medianos y pequeños, conectados a las redes de distribución.

De igual manera se protagonizó la ausencia de requerimientos técnicos con (normas técnicas y estándares) establecida para la selección de equipos, la configuración, instalación y conexión al SIN (Sistema Interconectado Nacional) de pequeños o grandes sistemas de generación con energía solar FV, sin la certeza sobre los potenciales objeto de posible desarrollo para con base en ellos determinar y cuantificar los posibles impactos sobre las redes de distribución.

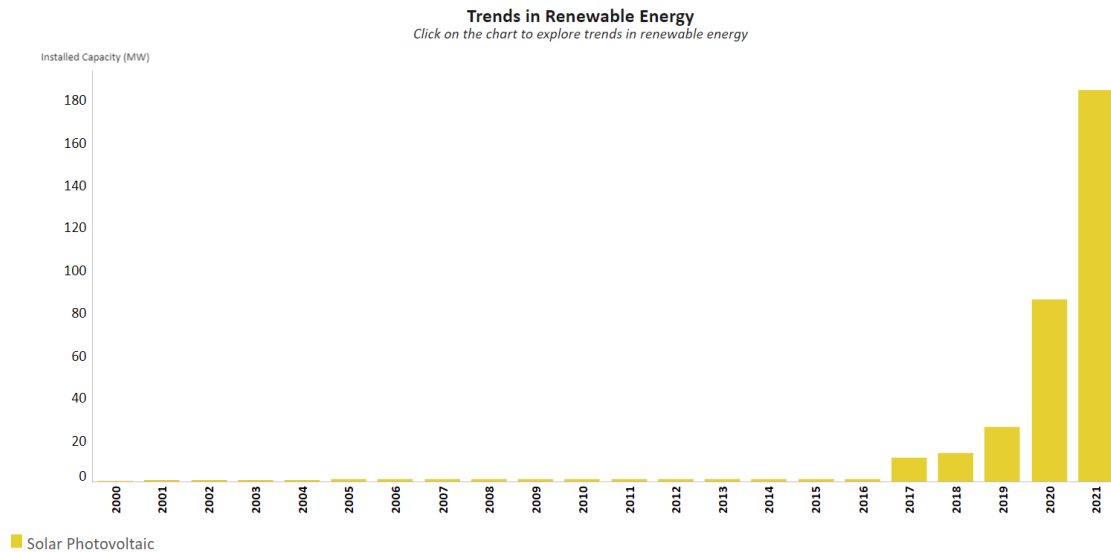
Sumando a esto no se contaban con esquemas financieros orientados a la inversión en este tipo de sistemas, especialmente dirigidos a los mercados o subsectores propicios para el desarrollo de sistemas de generación distribuida con solar FV, y el desarrollo regulatorio dirigido a las redes inteligentes.

No obstante a pesar de las barreras de ordenamiento y estructuración de la normativa de energías renovables, puntualmente en el sector solar fotovoltaico, expuestas anteriormente se ha proseguido en el marco energético a apostarle a la ejecución de proyectos Off Grid (sistema de generación fotovoltaica autónomo que no se encuentra conectado a la red eléctrica) en unas escalas de pequeñas a grandes de instalación y al desenlace de los On grid en las ciudades.

La capacidad de energía solar fotovoltaica instalada desde el año 2000 al 2021, en el territorio nacional Colombiano ha sido una tendencia exponencial marcada especialmente desde el año 2017 al 2021, como se expone en la figura 8, donde al adoptar la Ley 1715 de 2014 abre la posibilidad de entregar dichos excedentes a la red y a la creación de créditos para sistemas de autogeneración de pequeña escala, con este tipo de energía, siendo este nuevo escenario el desarrollo de un mayor número de proyectos dado que entregar excedentes representará ahorros o eventualmente ingresos al usuario que harán económicamente más atractiva su inversión es este tipo de sistemas, contando que el plan nacional de desarrollo 2018-2022, realizo modificaciones en el otorgamiento de incentivos tributarios a este tipo de energías, para presentar unas ventajas sencillas y atractivas a los inversionistas y usuarios. (Plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050, 2017)

Figura 8

Proyección nacional de la Energía Solar Fotovoltaica.



Fuente: (IRENE, public.tableau.com, 2020)

Ante este panorama, en el Plan de expansión de referencia generación y transmisión 2014-2028 la UPME contempla varios escenarios de penetración de energías renovables a partir del potencial identificado en estas fuentes, en el escenario más factible se considera que las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) pueden representar un 6% de la canasta de energía eléctrica, lo que correspondería a una capacidad instalada de 1.207 MW en el año 2028. Esto implica el despliegue de la suma de proyección de 474 MW de energía eólica del escenario pesimista, considerando posible la instalación de 143 MW de energía solar, 275 de geotermia y 314 MW de cogeneración con biomasa.

Residuos generados al final de la vida útil de los paneles solar fotovoltaicos

En los capítulos previos se detalló de manera de general los elementos que componen los paneles fotovoltaicos, dentro de este grupo se pretende detallar cuales son los residuos que generan al final de la vida útil.

En el mercado mundial se tiene varios tipos de paneles solares de carácter fotovoltaico por lo cual los componentes con los que se fabrican pueden variar de un prototipo a otro, desde un compuesto en particular hasta la cantidad del mismo, lo que hace que la caracterización y las cantidades de los residuos potencialmente peligrosos puedan variar de un modelo a otro, así como los métodos y costos de tratamiento.

Dentro de los materiales utilizados en los paneles solares de silicio policristalino tenemos:

- 76% de vidrio.
- 20% de polímero.
- 8% de aluminio.
- 5% de silicio.
- 1% de cobre.
- 1% de plata.

- 1% de plomo y estaño.

Mientras tanto los materiales utilizados en los paneles solares de películas delgadas

tenemos:

- Sulfuro de cadmio o también óxido de zinc
- 88% de vidrio
- 7% de aluminio
- 4% de polímeros
- 1% metales semiconductores (10% de cobre, 28% de indio, 10% de galio y 52% de selenio).

Para un detalle más gráfico se detalla a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 2

Insumos que componen los paneles solares de silicio

N° de capa	Nombre de la capa	Materiales de composición	Componentes químicos
1	Vidrio Protector	Fabricada de vidrio templado sosa	Sodio, Cal, Sílice, Hierro
2	El encapsulante	Conformado con el polímero de Etil-Vinil-Acetato (EVA)	Etileno, Acetato de vinilo
3	Celdas solares e interconexiones metálicas	Están hechas de cintas metálicas	Silicio Plata Aluminio Plomo Estaño
4	Cubierta posterior	Subcapa 1: polivinilo fluoruro (TEDLAR) Subcapa 2: Tereftalato de Polietileno (Poliéster) Subcapa 3: polivinilo fluoruro TEDLAR	Polivinilo fluoruro Tereftalato de Polietileno
5	Marco	Está fabricado de aluminio anodizado	Aluminio
6	Cubierta posterior final	Se fabrica con el polímero Polifenilén éter	

Nota: Descripción de las capas que conforman un panel solar de tipo policristalino y sus distintos materiales de conformación adaptado de (Bonilla, 2016).

Tabla 3*Insumos que componen los paneles solares de películas delgadas según su capa de estructura*

Nº de capa	Nombre de la capa	Materiales de composición	Componentes químicos
1	Vidrio protector	Fabricada de vidrio templado sosa	Sodio, Cal, Sílice, Hierro
2	El encapsulante	Conformado con el polímero de Etil-Vinil-Acetato (EVA)	Etileno Acetato de vinilo
3	Celdas solares e interconexiones metálicas	Están hechas de cintas metálicas	Selenio, Galio, Indio, Plata, Cadmio, Telurio
4	Cubierta posterior	Láminas de aluminio	Aluminio
5	Marco	Está fabricado de aluminio anodizado	Aluminio

Nota: Descripción de las capas que conforman un panel solar de tipo películas delgadas (CIGS y CdTe) y sus distintos materiales de conformación adaptado de (Bonilla, 2016).

Una vez conocidos cuales son los principales componentes y elementos que tiene los paneles solares, se escogieron los más comunes a manera de estudio, se puede revisar y analizar los desechos que estos producen durante el ciclo de vida.

Por tanto, se hace una clasificación de los residuos que permita lograr el entendimiento de este estudio

Clasificación de los residuos generados por los paneles

En este periodo de tiempo se torna importante la reutilización de materiales que permitan no solo aprovechar, sino poder reusarlos a otros proyectos, siendo un insumo valioso para el desarrollo ambiental, los tiempos han cambiado, antes no se mostraba interés por el aprovechamiento de los recursos y solo el ser humano se enfocaba en consumir sin pensar en el futuro.

Analizamos que la vida útil de los paneles solares tanto de los de silicio policristalinos y los de películas delgadas corresponden a un material con gran potencial de reciclaje y reutilización pues los componentes de vidrio sosa, los polímeros basados en Etil-Vinil-Acetato (EVA), las placas de aluminio de los marcos y láminas de soportes tienen bastantes salidas a nuevos mercados; y pues su desintegración y separación de los paneles solares resulta ser una operación sencilla, rápida y muy limpia si se tiene en cuenta que prácticamente salen de manera puros y con poca alteración con los otros componentes.

Sin embargo los componentes utilizados en la fabricación de celdas solares fotovoltaicas y conductores son mezclas de algunos metales, cuyo porcentaje están entre el 4% para los paneles de sílice y del 2% para los de películas delgadas, presentando un potencial de bajo reciclaje o reincorporación a otras industrias pues para su separación requieren de grandes cantidades de energía y de un tratamiento especial dado las características fisicoquímicas de cada uno de estos metales seleccionados en su fabricación.

Tabla 4

Porcentajes de material recuperado de los residuos generados en cada uno de los tipos de paneles

Descripción		Tipo de material		Porcentaje
Residuos recuperables en los paneles solares fotovoltaicos de tipo Silíce	•	Material Recuperable	•	96%
	✓	Material no Recuperado	✓	4%
Residuos recuperables en los paneles solares fotovoltaicos de tipo Películas delgadas	•	Materiales Recuperable	•	98%
	✓	Material no Recuperado	✓	2%

Nota: Se muestran los porcentajes de recuperación de residuos generados y el porcentaje no recuperado en cada uno de los tipos de paneles fotovoltaicos.

La clasificación basada en su peligrosidad se encuentra que los residuos como el vidrio, los polímeros y las estructuras del marco (aluminio) que se tienen como potencialmente reciclables o reutilizables no presentan mayor peligrosidad tanto para los humanos como al medio ambiente, sin embargo pasa lo contrario con los residuos de las celdas y los conductores, pues estos si presentan un grado de peligrosidad al estar compuestos de metales pesados tales como el plomo, el cadmio los cuales al estar al contacto con el agua pueden llegar a generar lixiviados cargados de estos elementos alternado así los ecosistemas. El caso específico del Silicio que es uno de los componentes esenciales de los paneles solares de tipo silicio policristalino si bien no se disuelve tan rápido con el agua para formar lixiviados de algún tipo, si tiene un efecto de toxicidad bajo al quedar expuesto tanto tiempo al aire libre pues puede llegar a contribuir a la generación de material particulado de alguna zona (Parvez, Nazmul, Shahjadi , & Candace, 2018).

Respecto al plomo el cual es uno de los componentes de los paneles solares de tipo silicio policristalino se tiene que éste elemento si es altamente toxico, ya que se puede liberar al medio ambiente al disolverse con algunos ácidos generando lixiviados que pueden llegar a presentar alteraciones en los suelos y cuerpos de aguas y que al ser ingerido por los humanos y animales les puede llegar alterar los sistemas nervioso, respiratorio y cardiaco que dependiendo de la dosis puede llegar a causar la muerte (Parvez, Candace, Nazmut, & Shahjadi, 2018).

El cadmio presente en los paneles solares de tipo películas delgadas se caracteriza por ser un metal pesado, y uno de los elementos cancerígenos en los humanos y en los animales donde con concentraciones de 50 mg en tiempo de una hora en los humanos se han reportado casos fatales, el cual al contacto con agentes corrosivos o ácidos tiende a formar lixiviados (Parvez, Nazmul, Shahjadi , & Candace, 2018).

A nivel mundial se tiene que la normatividad se basa en la implementación de programas pos consumo que involucren los productores, comercializadores y consumidores de tal forma que se puedan establecer una participación de todos los integrantes del ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaicos, donde en dichos programas se plantea una disposición de residuos de carácter especial dado su origen y su variación de compuestos, la cual esta demarcada como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos RAEE, donde lo que se busca que estos residuos sólidos se les dé un manejo distinto al que normalmente se les da a los residuos sólido convencionales, y así evitar que lleguen a los rellenos sanitarios y plantas de aprovechamiento donde se podrían mezclar con residuos orgánicos, e inorgánicos lo que generaría un aumento en el potencial toxicológico de los residuos. (Chaparro Pérez, 2019).

Enfoque de las disposiciones legales para los paneles solares fotovoltaicos en Colombia

En Colombia se tiene que a partir de la firma de los convenios internacionales de planteados en Rio de Janeiro de 1992 y de 2012 y la cumbre de Basilea en el año de 1989 y de la posterior conformación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo a través de la ley 9 de 1993, se ha establecido algunos mecanismos que lleven a la planeación ambiental y el manejo integral de los residuos generados en Colombia, iniciando con lo establecido en el decreto 1713 de 2002 donde se plantea la definición de lo que es un residuo y su clases de clasificación de acuerdo a las características de éste (Ramírez, 2018), de igual forma se tienen políticas enfocadas al tema de residuos, como lo son la Política Ambiental para la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos RESPEL donde se reglamenta con lo expuesto en el decreto 4741 de 2005 para el manejo de residuos sólidos de carácter peligroso, de igual manera se cuenta con la Política de Gestión integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos RAEE del 2007, las cuales se ratifican con su inclusión en el decreto 1076 de 2015 conocido como el Reglamentario del Sector

Ambiente y Desarrollo Sostenible y su complementación con el decreto 284 del 2018 del ministerio de ambiente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

Dicha normatividad es insuficiente para los residuos generados al final de la vida útil de los paneles solares dado que si bien los contempla por su clasificación de aparatos electrónicos dentro de la política RAEE esta no los nombra específicamente, por lo cual su disposición final no se lleva del todo como está estipulada, pues aún se siguen presentando problemáticas asociadas a la mala disposición de éstos por parte de los consumidores, productores, comercializadores y centros de recuperación y disposición (gestores) terminado estos residuos en rellenos sanitarios mezclados en muchas ocasiones con residuos domésticos, generando problemas con lixiviados lo que conlleva a una afectación de las poblaciones y ecosistemas especialmente a la parte de fuentes hídricas. (Ramírez, 2018). (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios , 2016).

De igual forma se ha podido evidenciar que a partir de la apertura de la matriz energética del país y de la incorporación de la energía fotovoltaica en la misma en el año 2014, se dispuso por parte de la autoridades ambientales que para estos proyectos de gran generación de energía se tenga que solicitar permisos y estudios ambientales fundamentados bajo los parámetros de las licencias ambientales, los cuales serán evaluados y expedido por parte de la Agencia Nacional de Licencias Ambientales ANLA y en donde se les solicitara entre otras cosa el “Estudio de Impacto Ambiental bajo los términos de referencia ya establecidos por el ANLA” , en donde a la fecha ya se han expedido y aprobado dos grandes plantas ubicadas en la parte del Valle del Cauca, el Magdalena Medio, estas dos ya en funcionamiento y en la parte de La Guajira una próxima Planta a construir. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

De igual forma se ha visto que partir de la matriz energética del 2014 también se ha empezado a implementar la energía fotovoltaica en proyectos para sistemas de transportes públicos como es el caso de los buses eléctricos en Medellín y el sistema de transporte tipo teleférico en la ciudad de Bogotá (trasmicable) y en proyectos de carácter privado a nivel industrial como lo son las plantas de productos Ramo en Antioquia, los centros mayoristas de la empresa Makro y centros educativos como la universidad de Antioquia. Todo esto impulsado con las políticas estatales del gobierno del presidente Duque donde a través de elementos como el plan de desarrollo nacional (PDN) que uno de sus ejes transversales se promueve el uso de energías renovables, procesos de carbón cero y ciclos de vida circulares en las industrias colombianas; y promoción de otros mecanismos como la Estrategia Nacional de Economía Circular, donde promueve el uso de energías renovables un desarrollo comercial, ambiental y social del país (Ramírez, 2018).

Al cierre de enero de 2022, en La Guajira se han conectado 1.633 usuarios por primera vez a la red eléctrica, con inversiones por \$30.000 millones. Este resultado hace parte de los 25.422 usuarios conectados con Soluciones Solares Fotovoltaicas, con una inversión de \$488.739 millones en todo el país (Bnamericas, 2022).

Los escenarios actuales y de proyección de la transición energética en Colombia

El conjunto de políticas adoptadas por la presente administración ha venido acompañado de cambios tangibles que se expresan en decenas de proyectos instalados y en construcción, al igual que en la mejora en la calidad del servicio para millones de hogares y negocios. Tanto lo hecho como lo que se encuentra en marcha contribuirá a apoyar una reactivación sostenible que es ahora aún más necesaria tras los estragos dejados por la pandemia derivada del COVID-19 (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Mantener el camino para la expansión de las energías renovables no convencionales es fundamental para cumplir el objetivo de una matriz energética más limpia. Para este fin es necesario continuar con un programa de subastas centralizadas y combinarlas con mecanismos de mercado de iniciativa privada para la asignación de contratos que permitan la financiación de las nuevas plantas de generación. Estos mecanismos no solo permiten la financiación de los empresarios que desarrollan los nuevos proyectos, sino que garantizan que los contratos se asignen a precios eficientes para los consumidores finales.

A pesar de la importante reducción de los costos de las diferentes tecnologías para almacenamiento de energía, estos siguen siendo altos al periodo de 2017. Desde el Gobierno nacional se puede seguir estimulando la demanda para permitir su implementación masiva con un marco regulatorio, incentivos fiscales e implementación de más proyectos piloto (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Pocas cosas tienen el poder de transformar la vida de un ser humano como el acceso a la energía eléctrica. Llevar este servicio a las personas que no lo tienen rompe las barreras que impiden el desarrollo e impacta positivamente los indicadores de salud, educación, nutrición, conectividad y equidad de género, entre otros.

Por esta razón, desde que inició el Gobierno, se trazó la meta más ambiciosa que haya tenido cualquier Gobierno en materia de cobertura eléctrica: llegar a 100.000 hogares colombianos durante el período 2018-2022 con recursos públicos (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

El trabajo del Ministerio de Minas y Energía ya deja hechos concretos: 44.560 hogares, recibieron por primera vez el poder transformador de la energía eléctrica en estos dos años y de

este total cerca de 13.911 usuarios disfrutan ahora del servicio de energía eléctrica a partir de energía renovable que proviene del sol.

En este mismo sentido se debe seguir en la ruta de conectar nuevos usuarios a las redes de gas natural y de combustibles más limpios como el GLP, pues su uso en los hogares colombianos contribuye a una mejora en la salud de sus habitantes y una reducción de la deforestación, al sustituir otros combustibles más contaminantes y dañinos para la salud como la leña, el carbón, o la gasolina.

Para esto los responsables de las políticas públicas tienen el reto de incentivar a la empresa privada para el desarrollo de estos proyectos, reduciendo los subsidios al CAPEX y garantizando la operación para que los mismos sean sostenibles en el tiempo, mediante subastas que asignen la operación en las áreas donde es difícil la gestión y mediante la inclusión de nuevas tecnologías que permitan la medición de consumos y el monitoreo en la prestación del servicio.

Para cubrir las necesidades energéticas en los próximos años en Colombia, la UPME realizó una subasta de expansión de asignación de Obligaciones de Energía Firme (OEF) que busca garantizar el abastecimiento de energía en el mediano plazo e incentivar la construcción de nuevos proyectos que puedan aportar energía firme y, por ende, la confiabilidad en el sistema a partir de 20 de este año. A esta subasta se presentaron plantas existentes, plantas con expansiones planeadas en su capacidad instalada, plantas especiales aquellas que se encuentran en construcción en el momento en que se desarrolló la subasta y plantas nuevas, a las cuales se les asignaron OEF que les serán pagadas con el cargo por confiabilidad hasta por 1, 5, 10 y 20 años.

Figura 8

Colombia. Proyectos de fuentes renovables no convencionales (FRNC) registrados en la UPME (a febrero de 2019)



Fuente: (Jaramillo, J., 2019)

Una de las principales medidas del Gobierno es incentivar e impulsar proyectos de generación de energía eléctrica (EE) mediante fuentes renovables no convencionales, con el fin de cumplir con las obligaciones internacionales asumidas y migrar hacia sistemas de generación de EE más limpios, diversificados, competitivos y menos dependientes de los cambios climáticos. Para lograrlo, además de los incentivos tributarios, en el año 2019 se ejecutó la primera subasta de contratación de energía eléctrica a largo plazo. La subasta no fue adjudicada, pues de los cuatro indicadores necesarios se incumplieron los de concentración y dominancia. A pesar de ello, el Ministerio de Minas y Energía manifestó el interés de llevar a cabo dos nuevas subastas en el transcurso de este mismo año. El éxito de estas subastas puede ser un aliciente para seguirlas implementando; así, el Gobierno Nacional podría cumplir con la meta de instalar 1,500

MW de FRNC para finales de 2022 y lograr que el 10 % de la matriz energética esté conformada por estas fuentes en 2030. Esta meta es posible de lograr teniendo en cuenta que existen 392 proyectos de energía solar registrados en la UPME por 5,339 MW, 19 proyectos de energía eólica por 2,747 MW y 14 proyectos de biomasa por 59 MW; los dos primeros se encuentran ubicados principalmente en los departamentos de La Guajira y Cesar.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la presente investigación del panorama de los residuos de paneles solares a nivel mundial y en Colombia provienen en su mayoría de los modelos de tipo silicio policristalino y los de tipo de películas delgadas dado que son los modelos de mayor comercialización a nivel mundial, los cuales se catalogan como residuos de manejo especial de tipo RAE, tienen un porcentaje superior al 90% de recuperación y reutilización en nuevos procesos industriales con respecto al volumen total de residuos generados, pues al estar compuestos de vidrios, polímeros y láminas de aluminio su procesos de separación y recuperación se hace de una manera más fácil, sin embargo el restante de residuos conformado por los láminas de semiconductores y las células fotovoltaicas se rescata un porcentaje el cual no resulta ser de alguna manera recuperable pues este se termina mezclando con elementos como el plomo y el cadmio los cuales tienen un grado de toxicidad alto, por lo tanto, en algunos países como Estados Unidos se les da un manejo de peligrosos, pues un mal manejo de estos residuos no aprovechables puede llegar a producir efectos colaterales, al exponerse con ácidos o con sustancias corrosivas terminarán generando algún tipo de lixiviados que sin un adecuado tratamiento provocarían la contaminación de suelos y cuerpos de agua cercanos.

Sin embargo se encuentra países como: Alemania, Bélgica, Croacia, Dinamarca, España, Francia, Irlanda, Letonia, Luxemburgo, Países Bajos, Suecia, Bulgaria, Eslovaquia, Estonia, Grecia, Malta, Polonia, República Checa, Austria, Chipre, Eslovenia, Finlandia, Hungría, Italia, Lituania, Portugal y Rumanía, que hacen parte de la Unión Europea, que han ido trabajando en la política del RAEE, en su plan de acción de economía circular que tiene como objetivo central tener una reducción de huella ecológica por uso y consumo de materiales, se ha incluido establecer para el año 2050 leyes más estrictas frente al reciclaje, en especial para el manejo de

residuos de sistemas fotovoltaicos, ya que según la Agencia Internacional de Energías Renovables, en los próximos cinco años se generarán cerca de 20 millones de toneladas de residuos provenientes de material fotovoltaico.

Las políticas de manejo integral de los residuos de los paneles solares fotovoltaicos esta acompañadas de proyectos para cumplir este fin donde el liderazgo a nivel mundial es la comunidad europea como anteriormente lo mencionamos, pues en su política de RAEE para paneles solares busca el máximo aprovechamiento para procesos de reciclaje, reintegración y recuperación a nivel industrial del material, dándole una pequeña porción a la dominación de residuo no aprovechables con destino de disposición en celdas de seguridad al porcentaje potencialmente peligrosos; y que en esta misma política se establecen modelos de pos consumo estructurados del tal manera que involucra a todos los actores por los que pasan los paneles con el fin de garantizar la mayor cantidad de residuos dispuestos de manera correcta.

En cuanto a los procesos de recuperación y aprovechamiento del material se concluye que los sistemas de separación de residuos se basan en la separación manual y mecánica para las capas de marcos metálicos, las bases conformadas de polímeros y los dispositivos de cableado, seguida en la mayoría de casos por procesos térmicos para el manejo de las celdas fotovoltaicas las cuáles buscan la recuperación de materiales como el sílice y otros metales, por último se realiza un proceso de pirolisis, gasificación y lixiviación para separar la mayor cantidad de contaminantes basados en cadmio y plomo.

Un gran ejemplo es en España Greening Relive, que se constituye como la primera empresa española en realizar un completo reciclado de los módulos usados en las instalaciones solares, un proyecto ahora en fase inicial y que se ubicará en Jerez del Marquesado (Granada),

pero con gran proyección para ser de base y ser replicado en países de grandes consumos de este tipo de aparatos eléctricos (paneles solares).

En cuanto a la normatividad ambiental se concluye que si bien se tiene política de manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos esta queda corta al no mencionarse explícitamente su incorporación, de igual forma se establece que para la puesta en marcha de los grandes plantas de producción se establece la exigencia de licencias ambientales donde se le notifica al solicitante que realice un estudio de impacto ambiental donde se contemple acciones al manejo de residuos al final de la vida útil, acciones que se quedan cortas pues en Colombia no se tienen empresas gestora de residuos para el aprovechamiento de estos y que las celdas de disposición quedan insuficientes dado la cantidad de paneles que se tendrán en un par de años, por lo cual se debe establecer mecanismo a futuro para estos casos. De igual forma se hace evidente la falta de programas de posconsumo para esta serie de residuos como tal, lo que haría que su manejo adecuado sea más eficiente para los pequeños usuarios

La creación de alianzas con entidades, organizaciones y/o empresas nacionales e internacionales del sector fotovoltaico, permite que la recolección de módulos solares sea factible, debido a que si se cuenta con una mayor cantidad de paneles, se constituye como un proceso más rentable y aprovechable.

El evaluar y validar la gestión de los residuos desde los centros de generación a lo largo del país, permitirá la factibilidad de crearse posibles empresas que se encarguen del transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos de los sistemas eléctricos y electrónicos de las energías renovables (sistemas fotovoltaicos).

Referencias Bibliográficas

- Alsina, X. (2011). *Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad*. México: Santos Editor.
- Arancibia Bulnes, C., & Best y Brown, R. (2010). Energía del Sol. *Ciencia*, 14-13.
- Arias, F. (2012). *Proyecto de Investigación, Introducción a la metodología científica*. Caracas: Episteme.
- Autosolar. (2021). *¿Que es un panel solar?* Obtenido de Autosolar: <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-es-un-panel-solar>
- Berrio, L., & Zuluaga, C. (2014). *Smart Grid y la energía solar fotovoltaica para la generación distribuida: una revisión en el contexto energético mundial*. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte.
- BNamericas. (2020). *Los 11 principales proyectos solares de Colombia*. Obtenido de BNamericas: <https://www.bnamericas.com/es/reportajes/los-11-principales-proyectos-solares-de-colombia>
- Bnamericas. (2022). *Ya hay 25.000 hogares en Colombia que tienen acceso a la energía eléctrica gracias a paneles solares*. Obtenido de Bnamericas;: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/ya-hay-25000-hogares-en-colombia-que-tienen-acceso-a-la-energia-electrica-gracias-a-paneles-solares>
- Bonilla., N. (2016). *Análisis del Ciclo de Vida del proceso de recuperación de un panel fotovoltaico de silicio policristalino en Costa Rica*. Costa rica: Instituto tecnológico de costa rica.
- Chaparro Pérez, J. (2019). *Manejo Integral De Residuos Generados Por Los Paneles Solares Fotovoltaicos En Colombia (Trabajo de Especialización)*. Obtenido de Universidad Militar Nueva: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/32081/ChaparroPerezJhonFre>
- Colaboradores de Wikipedia. (2022). *Energía Renovable*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Energ%C3%ADa_renovable&oldid=14285779

- Fiandra, V., Sannino, L., Andreozzi, C., Corcellib, F., & Graditi, G. (2019). *Silicon photovoltaic modules at end-of-life: Removal of polymeric layers. Waste Management. ELSEVIER.* México.
- Guevara Alvarado, N. (2013). *Energías renovables en acorde con el medio ambiente* . Obtenido de Instituto Geológico Minero y metalúrgico: http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2013_Guevara_Alvarado_GEO6-O6.pdf
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio., P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill.
- IBERDROLA. (2020). *¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?* Obtenido de IBERDROLA: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- Idealista. (06 de 03 de 2021). *Las ventajas y desventajas de los paneles solares*. Obtenido de Idealista: <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2021/03/05/789291-las-ventajas-y-desventajas-de-los-paneles-solares>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios , A. (2016). *Informe Nacional De Generación De Residuos o Desechos Peligrosos*. Bogotá: Gobierno Nacional de Colombia.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *HomeAsuntos Ambientales, Sectorial y UrbanaSustancias Químicas* . Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible;: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/sustancias-quimicas-y-residuos-peligrosos#informaci%C3%B3n-de-inter%C3%A9s>
- Ministerio de Minas y Energía. (2021). *Transición energética: un legado para el presente y el futuro en Colombia*. Obtenido de Ministerio de Minas y Energía: <https://www.minenergia.gov.co/libro-transicion-energetica>
- Parvez, M., Candace, L., Nazmut, H., & Shahjadi, H. (2018). *Environmental Impacts of Solar-Photovoltaic and Solar-Thermal Systems with Life-Cycle Assessment*.
- Parvez, M., Nazmul, H., Shahjadi , H., & Candace. (2018). *Environmental Impacts of Solar-Photovoltaic and Solar-Thermal Systems with Life Cycle Assessment. Energies*, . Obtenido de DOI.
- Ramírez, A. (2018). *Análisis y Propuesta Para La Disposición Final De Paneles Solares Fotovoltaicos En Colombia*. Envigado Colombia: Universidad EIA.

- RIC Renovables. (2020). *Energías Renovables y No Renovables*. Obtenido de RIC Renovables:
<https://www.ricrenovables.com/energias-renovables-y-no-renovables/#:~:text=Ventajas%20y%20desventajas%20de%20las%20energ%C3%ADas%20no%20renovables&text=Las%20principales%20ventajas%20de%20las,f%C3%A1cil%20de%20fabricar%20y%20usar.>
- Rivas Aria, C. (2018). *Piensa un Minuto antes de actuar*. Obtenido de Mincit:
<https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx#:~:text=RESIDUO%20S%3%93LIDO%20APROVECHABLE%3A%20Es%20cualquier,reincorporaci%C3%B3n%20a%20un%20proceso%20productivo.>
- Solarama. (2020). *Qué es un panel solar y cómo funciona*. Obtenido de Solarama:
<https://solarama.mx/blog/que-es-un-panel-solar/>