

ISBN (Versión digital): 978-628-95471-7-7

DOI: 10.58690/Ciidies.CTi_ID.v6.00.1-146

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Volumen VI

Colección: Ciencia, Tecnología e Innovación

Compiladores:

Mónica Eliana Aristizábal Velásquez

Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa

Compilación de capítulos resultado de investigación

FONDO EDITORIAL





Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo
en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad

Este libro de compilación de capítulos resultado de investigación se compone en su totalidad por capítulos que son producto de investigaciones finalizadas, desarrolladas por sus respectivos autores. Los capítulos incluidos fueron arbitrados bajo el sistema doble ciego por expertos externos en el área, bajo la supervisión del Grupo de Investigación Ciidies, Colombia. Los planteamientos y argumentaciones presentadas en los capítulos del libro Investigación y Desarrollo vol. VI, de la Colección Ciencia, Tecnología e Innovación, son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, por lo tanto, los compiladores, la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad CIIDIES, las redes, grupos de investigación e instituciones que respaldan la obra actúan como un tercero de buena fe.

© Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad CIIDIES. Calle 7 N°80 75 Int. 2603.

Medellín, Antioquia, Colombia. Tel: (57) 300 400 27 28

www.ciidies.org - fondoeditorial@ciidies.org

Colección: Ciencia, Tecnología e Innovación.

ISBN (Versión digital): 978-628-95471-7-7

DOI: https://doi.org/10.58690/Ciidies.CTi_ID.v6.00.1-146

Depósito Legal: Realizado el Depósito Legal Digital ante la Biblioteca Nacional de Colombia, Código:

Fecha de edición: 12/12/2025

Compiladores:

Mónica Eliana Aristizábal Velásquez

Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa

Autores:

Guerrero Cáceres, José María

Rebollo Murillo, María Isabel

Pérez Guevara, Luciano

Pérez Samanamud, Manuel Edwin

Pérez Samanamud, Miguel Vladimir

Dávila Díaz, María Elena

Olarte Ortiz, María Nela

Zabaleta Fernández, Jose Luis

Ruiz Pérez, Carlos Daniel

Romero Garibello, Julian Ricardo

Barbosa Guerrero, Lugo Manuel

Palacios Rozo, Jairo Jamith
Gómez Rosero, Álvaro Hugo
González Martínez, Nubia del Rosario
Enríquez Ordoñez, Carlos Gerardo
Torres Arteaga, Lida María
Salazar Hurtado, Adriana Patricia

Corrección de Estilo:
Fondo Editorial Ciidies

Directores de la colección:
Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa
Mónica Eliana Aristizábal Velásquez

Diagramación, diseño y edición:
Fondo Editorial Ciidies

Jefe Fondo Editorial:
Mauricio Alejandro Bedoya Jiménez

Evaluación de contenido:
Esta obra ha sido aprobada por el Consejo Editorial del Fondo Editorial Ciidies y editada bajo procedimientos que garantizan su normalización.

Hecho en Colombia / Made in Colombia

Publicación financiada en su totalidad por la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad - CIIDIES.

La convocatoria para esta compilación fue apoyada por la Red Internacional de Innovación, Solidaridad y Sostenibilidad - RIISS y el Grupo de Investigación Ciidies, categorizado C - Minciencias Colombia.

Los autores son moral y legalmente responsables de la información expresada en este libro, así como del respeto a los derechos de autor; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido a la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad – CIIDIES.

Declaración conflictos de interés: los autores de esta publicación declaran la inexistencia de conflictos de interés de cualquier índole con instituciones o asociaciones comerciales.

CATALOGACIÓN DE LA FUENTE

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Guerrero Cáceres, José María, autor

Investigación y desarrollo. Volumen VI / autores, José María Guerrero Cáceres [y otros dieciséis]; compiladores, Mónica Eliana Aristizábal Velásquez, Ubeimar Aurelio Osorio Atehortúa. -- Medellín: Fondo Editorial Ciidies, 2025.

1 recurso en línea: archivo de texto: PDF. -- (Ciencia, tecnología e innovación)

Incluye datos curriculares de los autores -- Incluye referencias bibliográficas al final de cada capítulo.

ISBN 978-628-95471-7-7 (versión digital)

1. Investigación científica - Siglo XXI I. Rebollo Murillo, María Isabel, autora II. Pérez Guevara, Luciano, autor III. Pérez Samanamud, Manuel Edwin, autor IV. Pérez Samanamud, Miguel Vladimir, autor V. Dávila Díaz, María Elena, autora VI. Olarte Ortiz, María Nela, autora VII. Zabaleta Fernández, Jose Luis, autor VIII. Pérez Ruiz, Carlos Daniel, autor IX. Romero Garibello, Julian Ricardo, autor X. Aristizábal Velásquez, Mónica Eliana, compiladora XI. Osorio Atehortúa, Ubeimar Aurelio, compilador

CDD: 001.4 ed. 23

CO-BoBN- a1166543

Disponible en:

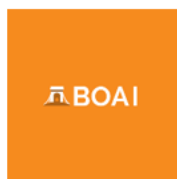
<https://www.ciidies.org/publicaciones/>

<https://www.riiss-global.org/biblioteca-virtual/>

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=979859>

https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=b_bSSDsAAAAJ&view_op=list_works&authuser=3

Página Legal, identifica la propiedad intelectual de la obra, esto es: derechos patrimoniales, morales, licencias y responsabilidades. Las publicaciones del Fondo Editorial están protegidas por las leyes de derechos de autor (*copyright*, en su denominación anglosajona) y por los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional; los permisos que van más allá de lo cubierto por esta licencia deben solicitarse a la Corporación Internacional de Investigación y Desarrollo en Innovación, Emprendedurismo y Sostenibilidad - CIIDIES.



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I - LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO FACILITADOR DEL EMPRENDIMIENTO, LA GESTIÓN Y LAS FINANZAS	9
CAPÍTULO II - ALCANCE DE LA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA NEARPOD EN LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN DE UNA UNIVERSIDAD PÚBLICA- LIMA 2025	25
CAPÍTULO III - IMPLEMENTACIÓN DE UNA PROPUESTA FORMADORA CENTRADA EN LA SOCIOFORMACIÓN Y EMPATÍA POR LA VIDA (ODS18)	45
CAPÍTULO IV - EL LADO DESCONOCIDO DE LA ENERGÍA SOLAR: UN DESAFÍO OCULTO, HACIA UN FUTURO INCIERTO	59
CAPÍTULO V - TRANSVERSALIZACIÓN DE VALORES A TRAVÉS DEL DEPORTE EN LA EDUCACIÓN BÁSICA SECUNDARIA: ESTUDIO DE CASO EN CÓRDOBA, COLOMBIA	83
CAPÍTULO VI - EVALUACIÓN CRÍTICA DE LA FÓRMULA ARANCELES RECÍPROCOS DE TRUMP: VALOR AGREGADO DOMÉSTICO Y POLÍTICA ARANCELARIA	97
CAPÍTULO VII - CAPACIDADES EN INNOVACIÓN, EMPRENDIMIENTO Y CULTURA SOLIDARIA EN JÓVENES UNIVERSITARIOS LATINOAMERICANOS: REVISIÓN DOCUMENTAL	111
CAPÍTULO VIII - TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA DE CONTENIDOS CURRICULARES EN LA FORMACIÓN DEL LICENCIADO EN EDUCACIÓN FÍSICA, RECREACIÓN Y DEPORTE	129

INTRODUCCIÓN

Investigación y Desarrollo - volumen VI consolida la serie editorial derivada del Congreso Internacional RIISS 2025, realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - ESPOCH, Ecuador, y articulado por la Corporación CIIDIES, la Red RIISS y sus aliados internacionales. En continuidad con los volúmenes precedentes, esta entrega reafirma una apuesta editorial por la ciencia abierta, la circulación en acceso abierto y la producción de conocimiento con pertinencia social, cuidando el rigor metodológico, la revisión académica y la curaduría temática como garantías de calidad y transferibilidad.

El volumen VI se inscribe en un contexto regional y global caracterizado por transformaciones aceleradas: la reconfiguración de la gobernanza por mediaciones digitales, la presión por innovar en educación superior y formación docente, la urgencia de transiciones energéticas con impactos complejos, y la incertidumbre económica derivada de decisiones de política comercial que alteran cadenas de valor y estrategias productivas.

Frente a ese escenario, los capítulos que componen este volumen ofrecen miradas críticas y complementarias, con capacidad para dialogar con públicos diversos como lo son investigadores, docentes, directivos académicos, gestores públicos, emprendedores, y actores de la economía social y solidaria, que buscan evidencia y criterios para tomar decisiones informadas.

La obra abre con un eje de análisis sobre Estado, tecnología y esfera pública, abordando cómo los medios digitales influyen en la innovación pública, la legitimidad institucional y la participación ciudadana. Desde allí, el libro se desplaza hacia un núcleo educativo donde convergen tecnología aplicada al aprendizaje, enfoques formativos orientados por valores y marcos de desarrollo sostenible, y reflexiones sobre la transformación curricular y la enseñanza en campos específicos.

En paralelo, el volumen integra discusiones de alcance macro, como las tensiones de la economía política internacional y la política arancelaria, así como debates socioambientales en torno a la transición energética, subrayando que la sostenibilidad exige mirar no solo beneficios esperados sino también externalidades, límites y dilemas éticos.

Un rasgo distintivo de este volumen es su énfasis en capacidades: capacidades institucionales para innovar en lo público; capacidades pedagógicas y tecnológicas para fortalecer experiencias de aprendizaje; capacidades juveniles para articular innovación, emprendimiento y cultura solidaria; y capacidades críticas para analizar decisiones económicas y tecnológicas con impacto estructural.

En conjunto, los capítulos constituyen un itinerario coherente y plural que conecta gobernanza, educación, sostenibilidad, economía y didáctica, y que busca aportar herramientas interpretativas y orientaciones prácticas para comprender fenómenos contemporáneos desde miradas situadas en América Latina, con vocación de diálogo internacional.

Fiel a la misión del Fondo Editorial CIIDIES, este volumen se presenta como un libro de capítulos resultado de investigación que celebra el trabajo colaborativo entre instituciones y países, y que invita al lector a recorrer estas páginas con apertura intelectual, atención a la evidencia y disposición a convertir la investigación en aprendizaje social: un puente entre academia, sociedad y mundo del trabajo.

CAPÍTULO IV

EL LADO DESCONOCIDO DE LA ENERGÍA SOLAR: UN DESAFÍO OCULTO, HACIA UN FUTURO INCIERTO

THE UNKNOWN SIDE OF SOLAR ENERGY: A HIDDEN CHALLENGE, TOWARDS AN UNCERTAIN FUTURE.

José Luis Zabaleta Fernández¹

Universidad Popular del Cesar

ORCID: 0009-0006-0841-7304, joluzafer@gmail.com

RESUMEN

La energía fotovoltaica se ha consolidado como una de las principales fuentes renovables de generación eléctrica, gracias a su bajo nivel de emisiones de gases de efecto invernadero y su rápida expansión global. En Colombia, desde 2014, esta tecnología ha ganado terreno dentro de la matriz energética, impulsada por políticas de sostenibilidad y la necesidad de diversificar las fuentes de energía.

A pesar de sus beneficios, el final de vida útil de los paneles solares plantea un desafío creciente: la acumulación de residuos sólidos compuestos por materiales como silicio, metales pesados y polímeros. Estas fracciones, si no se gestionan adecuadamente, pueden considerarse residuos peligrosos con potencial de ecotoxicidad y riesgo para la salud humana.

¹ PhD(c) Ciencia, Tecnología e Innovación y Msc en Informática Educativa, Ingeniero Electrónico, Docente del Facultad de Ingeniería y tecnológicas de la Universidad Popular del Cesar, adscrito al departamento de Ingeniería Electrónica, responsable del área de potencia, miembro de la comunidad del Conocimiento GINTICs y semilleros de investigación Eficiencia energética, Protección y energías renovables de la Universidad Popular del Cesar.

Este capítulo presenta una investigación documental y monográfica que analiza publicaciones científicas e informes gubernamentales sobre los componentes de los paneles fotovoltaicos más usados y la cantidad y características de los residuos generados. Como resultado, se determinó que, aunque la mayor parte de los materiales puede recuperarse y reciclarse, existe una porción minoritaria que incluye compuestos tóxicos susceptibles de lixiviación. Se concluye que es indispensable fortalecer la planificación ambiental y los sistemas posconsumo para minimizar impactos y garantizar una disposición segura.

PALABRAS CLAVES: Residuos Sólidos, Paneles Solares RESPEL (Residuos Peligrosos), Posconsumo, Planificación Ambiental, Celdas Fotovoltaicas, Caracterización de Residuos.

ABSTRACT

Photovoltaic energy has emerged as a leading renewable technology due to its low greenhouse gas emissions and rapid global uptake. In Colombia, solar power has been integrated into the national energy matrix since 2014, driven by sustainability goals and diversification efforts.

However, the end-of-life phase of solar panels presents a significant waste management challenge: solid waste streams containing silicon, heavy metals, and polymers that, if mismanaged, qualify as hazardous waste with ecotoxic potential and public health risks. This paper undertakes a documentary and monographic review of scientific literature and government reports to examine the primary components of widely deployed photovoltaic modules and quantify the resulting waste.

The study finds that while most materials are recoverable and recyclable, a minority fraction contains toxic compounds prone to leaching. It concludes that robust environmental planning and post-consumption frameworks are essential to mitigate risks and ensure safe disposal.

KEYWORDS: Solid Waste, Solar Panels, RESPEL (Hazardous Waste), Post-consumption, Environmental Planning, Photovoltaic Cells, Waste Characterization

INTRODUCCIÓN

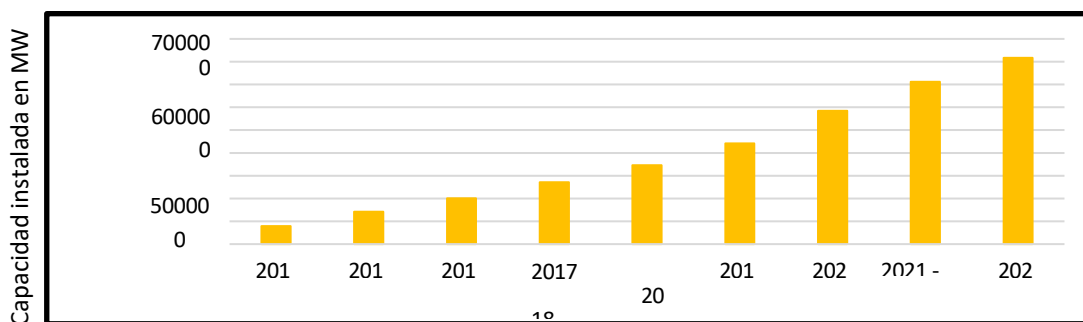
A medida que la población mundial y la actividad industrial se expanden, la demanda de energía crece de forma imparable, sustentada hasta hoy en los combustibles fósiles. Sin embargo, las últimas décadas han dejado al descubierto el impacto adverso de su explotación: la degradación de ecosistemas, el incremento de gases de efecto invernadero y su vínculo directo con el cambio climático (International Renewable Energy Agency, 2019; Berrio & Zuluaga, 2014).

Ante este panorama, investigadores y sectores productivos han volcado su mirada hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. La energía solar fotovoltaica surge como una alternativa prometedora, basada en la captura de la radiación solar y su conversión en electricidad mediante celdas de silicio que, ensambladas en paneles, conforman instalaciones capaces de generar potencia sin emisiones directas (Berrio & Zuluaga, 2014).

Gracias a su carácter renovable, baja huella de carbono y creciente competitividad económica, los sistemas fotovoltaicos se han consolidado como la segunda fuente de energía renovable con mayor expansión global. La reducción continua de sus costos de producción e instalación ha impulsado su adopción en la última década, cómo se evidencia en la Gráfica 1. (International Renewable Energy Agency, 2023), aunque tras este rápido desarrollo asoma un desafío oculto que el presente capítulo explora en profundidad.

A partir de la experiencia internacional, la energía fotovoltaica ha sido incorporada con éxito en las matrices eléctricas de países como China, Japón, Estados Unidos, Australia, Alemania y España, alcanzando en 2023 más de 1 000 GW de capacidad instalada gracias a sus ventajas medioambientales y económicas (International Renewable Energy Agency, 2024).

Gráfica 1: Capacidad Instalada de energía Solar Fotovoltaica a nivel mundial



Gráfica 1: Incremento de la capacidad instalada en MW en la última década. Adaptado de International Renewable Energy Agency, 2023

En Colombia, el elevado nivel de radiación solar propio de su ubicación ecuatorial y las políticas de fomento a las energías limpias han disparado la adopción de sistemas fotovoltaicos desde 2014. Su implementación abarca desde grandes plantas industriales hasta desarrollos rurales y edificios certificados LEED, promovidos por la Ley 1715 de 2014 que incorpora la fotovoltaica como fuente renovable prioritaria (Berrio & Zuluaga, 2014; Gómez, Murcia, & Cabeza, 2017; Congreso de la República de Colombia, 2014). Este panorama y caracterización es presentado a lo largo del territorio nacional, que sirve para entender o dar una idea del estado actual del ecosistema de parques solares y como prevalece en comparación a los otros tipos de energías renovables no convencionales el uso o la implementación de este tipo de proyectos.

Pero también hay que hacer una categorización o división para entender la cantidad de proyectos por departamentos y cuáles son los departamentos que más prevalecen y preponderan en la implementación y desarrollo en este tipo de energías renovables. Se muestra la siguiente Tabla 1:

Tabla 1: Proyectos solares por departamento y capacidad de generación

Departamento	Numero de Proyectos	Suma de Capacidad MW	% del total de proyectos
AMAZONAS	1	2.03	0.45%
ANTIOQUIA	5	243.29	2.24%
ARAUCA	2	19.7	0.90%
ATLANTICO	19	518.5	8.52%
BOLIVAR	15	294.4	6.73%
BOYACA	23	961.51	10.31%
CALDAS	5	424	2.24%
CASANARE	3	75.34	1.35%
CAUCA	2	118.89	0.90%
CESAR	8	973.8	3.59%
CHOCO	1	1	0.45%
CORDOBA	20	838.92	8.97%
CUNDINAMARCA	17	885.53	7.62%
GUAINIA	1	9.8	0.45%
HUILA	5	149.7	2.24%
LA GUAJIRA	6	557.15	2.69%
MAGDALENA	6	241.57	2.69%
META	10	407.9	4.48%
NARIÑO	2	15.5	0.90%
NORTE DE SANTANDER	8	488.27	3.59%
PUTUMAYO	2	12.8	0.90%
RISARALDA	5	109.401	2.24%
SANTAFE DE BOGOTA D.C.	1	2	0.45%
SANTANDER	13	1906.3	5.83%
SUCRE	10	364.69	4.48%
TOLIMA	27	863.68	12.11%
VALLE DEL CAUCA	6	665.37	2.69%
Total general	223	11151.041	100.00%

Nota. La tabla muestra cómo están distribuidos los proyectos por departamento y su rango de potencia. Tomado de: UPME (2021). Informe de Registro de proyectos de Generación de Electricidad. Número de proyectos vigentes según su rango de potencia y estado, página 6.

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODRjNWY2ZDI5MC00OGJhLWFmMTItYmU3NTNiMDE4MTM2IiwidCI6IjUxYzFhOGQwLTMyYmQ0NDZiYi05YmRlLkxZTZINGU3MDRmZCJ9>

Sin embargo, detrás de este despliegue masivo se oculta un desafío creciente: la necesidad de gestionar millones de paneles al término de su vida útil no superior a 20 años, fabricados con silicio, metales pesados, tierras raras y polímeros que, al degradarse, pueden liberar lixiviados tóxicos al medio ambiente (Ramírez Agudelo, 2018; Parvez, Candace, Nazmut, & Shahjadi, 2018). Estudios de ciclo de vida advierten que, sin planes de reciclaje eficientes, el desmantelamiento y disposición final de estos módulos podría traducirse en alteraciones significativas de ecosistemas y riesgos sanitarios comparables

a los ya vistos con bombillas, neumáticos o residuos agroquímicos (Lagunesa, Ardente, Blengini, & Mancin, 2016; Parvez et al., 2018).

De cara a un “Lado Desconocido de la Energía Solar” que eclipsa sus beneficios, este capítulo plantea conocer cómo está la gestión integral de los residuos posconsumo de paneles fotovoltaicos en Colombia. Partiendo de la identificación de las tecnologías más empleadas y la caracterización de sus componentes, se documentan métodos de recuperación y reciclaje probados internacionalmente, se evalúa su adecuación al contexto local y se examina el marco normativo vigente, con miras a fortalecer las políticas ambientales y evitar futuras catástrofes derivadas de una disposición irresponsable (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcelli, & Graditi, 2019; Latunussa, Ardente, Blengini, & Mancin, 2016; Ramírez, 2018).

METODOLOGÍA

Para desvelar el lado desconocido de la energía solar y afrontar el desafío oculto que supone su fin de vida, para abordar este estudio se adoptará un enfoque cualitativo basado en la revisión monográfica de fuentes académicas y científicas. Se considerarán artículos de revistas indexadas a nivel internacional, tesis de grado y datos oficiales de organizaciones nacionales e internacionales con convenios vigentes con el gobierno de Colombia. Este planteamiento permitirá integrar tanto hallazgos teóricos como cifras actualizadas para fundamentar el análisis de los residuos al final de la vida útil de los paneles solares fotovoltaicos. Teniendo en cuenta criterios de vigencia, se priorizarán publicaciones de 2014 en adelante, garantizando la relevancia y actualidad de los hallazgos. Ciclo de vida “cuna a tumba”: primer filtro para identificar estudios que describan la caracterización de los residuos generados al término de la vida útil de los módulos fotovoltaicos y señalen cuáles de ellos podrían clasificarse como residuos peligrosos. Seleccionando investigaciones que analicen métodos de manejo y disposición final de esos residuos, avalados por pruebas experimentales y en conformidad con la normativa ambiental; examinando las políticas colombianas sobre RESPEL y RAEE, evaluando cómo la regulación actual aborda los desechos posconsumo de paneles solares

y su correspondencia con los requisitos de disposición de residuos peligrosos en nuestro país. Con este diseño metodológico, el capítulo construye un marco sólido para comprender el futuro incierto que obliga a repensar la gestión de los residuos de la tecnología solar, evitando que el éxito de su expansión genere una nueva amenaza ambiental.

HALLAZGOS

Los paneles fotovoltaicos predominantes: composición, procesos de manufactura y desechos al término de su ciclo

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; (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019). Se reconoce que el mercado global de paneles fotovoltaicos abarca una gran variedad de tecnologías, cuyos materiales y proporciones de fabricación difieren de un prototipo a otro. Estas variaciones influyen directamente en la caracterización y en la cantidad de residuos potencialmente peligrosos generados, así como en los métodos y costos necesarios para su tratamiento (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019).

Sin embargo, el modelo de silicio cristalino (C-SI PV) denominado de primera generación por ser uno de los pioneros en desarrollarse es el más instalado tanto en grandes plantas de generación como en sistemas de pequeña escala. Gracias a su alta eficiencia en la captura y aprovechamiento de la energía solar, representó el 92 % de los módulos instalados a nivel mundial en 2014 y se prevé que mantenga su liderazgo entre 2020 y 2030, a pesar de la irrupción de tecnologías más económicas, aunque menos eficientes y duraderas (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

En los paneles de silicio policristalino, cada una de las seis capas desempeña una función específica y, por ende, emplea compuestos distintos. Aunque existe gran diversidad, los componentes predominantes por peso son: vidrio (76 %), polímeros (10 %), aluminio (8 %), silicio (5 %), cobre (1 %), plata (1 %) y trazas de metales como plomo y estaño, tal como se detalla en la tabla 1 (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

Por otro lado, los módulos de película delgada (“Thin-film panels”) exhiben una arquitectura más compleja, basada en capas semiconductoras depositadas sobre sustratos de vidrio, polímeros o metal. Estos sistemas se dividen principalmente en CIGS y CdTe. En las células CIGS seleniuro de cobre, indio, galio y selenio la estructura típica consiste en:

- Una capa de contacto posterior metálico sobre vidrio o polímero.
- Capas delgadas de sulfuro de cadmio u óxido de zinc como ventana.
- Una capa superficial protectora de vidrio.

La composición por material en los paneles CIGS es aproximadamente 88 % vidrio (cifra en descenso proyectado), 7 % aluminio, 4 % polímeros y 1 % de metales semiconductores, cuyos porcentajes internos se distribuyen en 10 % de cobre, 28 % de indio, 10 % de galio y 52 % de selenio (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016). Esta diversidad composicional ilustra el reto oculto que afronta la industria solar: diseñar estrategias de gestión de residuos capaces de adaptarse a una pluralidad de materiales y a sus distintos potenciales de contaminación.

Resulta esencial analizar las características de los módulos de telurio de cadmio (CdTe), una tecnología con alto potencial a corto plazo debido a su notable eficiencia y costes inferiores frente a los paneles de silicio policristalino (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

Estos dispositivos se elaboran principalmente con compuestos inorgánicos: el sulfuro de cadmio (CdS) y el telurio de cadmio (CdTe) actúan como capas captadoras, convertidoras y semiconductoras. Dichas películas ultradelgadas se depositan de forma sucesiva, apoyándose por debajo en contactos metálicos de aluminio y quedando protegidas por encima con una lámina de vidrio. Finalmente, todo el conjunto se encuadra en un bastidor metálico, generalmente de aluminio (Valadez, De La Torre, Esparza, & Rivas, 2017). Hasta la fecha, la literatura no aporta datos precisos sobre la proporción en peso de cada uno de estos componentes.

En el marco de esta ponencia, el capítulo detalla los componentes clave de los paneles solares más empleados hoy en día y examina los residuos que se generan al término de su vida útil. Se concluye que todos los módulos producen exclusivamente residuos sólidos, y que en el caso de los paneles de silicio policristalino alrededor del 96 % de su peso corresponde a vidrio, polímeros y láminas de aluminio, mientras que el 4 % restante agrupa otros elementos como sílice, plata y trazas de estaño, zinc y plomo. En los paneles de película delgada, la proporción de desechos es ligeramente distinta: aproximadamente un 98 % está formado por vidrio, polímeros y láminas de aluminio, y el 2 % restante por metales cadmio, telurio, cobre, zinc, indio, galio, selenio, telurio de cadmio y plomo, porcentajes que coinciden con los materiales empleados originalmente en su fabricación. (Bonilla, 2016) (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016) (Ramírez, 2018).

Explorando la toxicidad y ecotoxicidad oculta en los residuos solares

La tipificación de los desechos al final de la vida útil de los módulos fotovoltaicos se organiza en tres enfoques complementarios.

Primero, el esquema de “aprovechamiento de valor” clasifica los residuos según las vías de reincorporación al ciclo productivo reciclaje, reutilización, recuperación de materiales o su eliminación definitiva.

En segundo lugar, se aplica la categorización del Convenio de Basilea, que jerarquiza los desechos en inertes, no peligrosos y peligrosos de acuerdo con su potencial de riesgo ambiental.

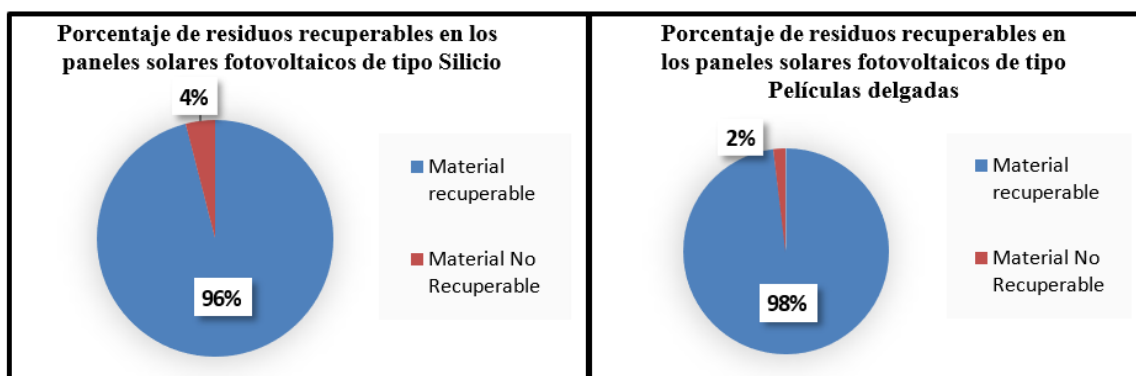
Finalmente, la tercera clasificación atiende al origen y la naturaleza especial de cada fracción, lo que permite identificar aquellos residuos que no pueden reintegrarse rápidamente al mercado y aquellos con mayor grado de toxicidad y ecotoxicidad para seres humanos y ecosistemas. (Parvez, Candace, Nazmut, & Shahjadi, 2018). Los desechos generados al final de la vida útil de los paneles solares tanto los de silicio policristalino como los de película delgada presentan un notable potencial de reciclaje y reutilización. Componentes como el vidrio sodocálcico, los polímeros de etil-vinil-acetato (EVA), los marcos de aluminio y las láminas de soporte ofrecen múltiples salidas hacia nuevos mercados, ya que su desensamblaje y separación de los módulos fotovoltaicos es un proceso rápido, sencillo y limpio, logrando fracciones prácticamente puras con escasa contaminación cruzada (Parvez, Candace, Nazmut, & Shahjadi, 2018) (Bonilla, 2016).

La recuperación de estos materiales supera el 90% tanto en masa como en volumen de los residuos generados por ambos tipos de paneles solares, lo que avala su reincorporación eficiente en la cadena productiva y subraya la viabilidad de estrategias circulares para la gestión de fin de vida de los módulos fotovoltaicos (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

Emerge un reto no evidente: los metales presentes en las celdas fotovoltaicas y conductores. Aunque sólo representan cerca del 4 % en paneles de silicio policristalino y el 2 % en los de película delgada, su recuperación es prácticamente inviable, pues su separación exige elevadas cantidades de energía y tratamientos especializados debido a la complejidad fisicoquímica de estos materiales. La gráfica 2 pone de relieve que, si bien la mayoría de componentes de los módulos solares se reincorpora con éxito a la industria, este pequeño porcentaje metálico termina como residuo sólido (Bonilla, 2016) (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019) (IRENA and IEA-PVPS. International

Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2019).

Gráfica 2: Porcentajes de material recuperado de los residuos generados en cada uno de los tipos de paneles



Nota: Se muestran los porcentajes de recuperación de residuos generados y el porcentaje no recuperado en cada uno de los tipos de paneles fotovoltaicos. Adaptado de IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2019

En este capítulo se propone una tipificación de los desechos generados por los paneles fotovoltaicos, ordenándolos según su nivel de riesgo. Se concluye que materiales como el vidrio, los polímeros y las piezas estructurales de aluminio, al considerarse potencialmente reciclables o reutilizables, no representan un peligro significativo para la salud humana ni para el entorno. En cambio, los residuos procedentes de las celdas y de los conductores presentan una amenaza mayor, ya que contienen metales pesados como plomo y cadmio, los cuales, al entrar en contacto con el agua, pueden originar lixiviados cargados de estos elementos, alterando así los ecosistemas (Bonilla, 2016) (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019) (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

Por otra parte, el silicio componente esencial de los módulos de silicio policristalino aunque no se disuelve rápidamente en el agua como para producir lixiviados significativos, exhibe un efecto tóxico moderado cuando permanece prolongadamente

expuesto al ambiente. Esta exposición puede favorecer la generación y dispersión de material particulado en la atmósfera de las zonas circundantes (Bonilla, 2016) (Berrio & Zuluaga, 2014) (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019).

Riesgos del plomo en paneles de silicio policristalino

En el análisis de la ponencia se destaca que el plomo, presente en los módulos de silicio policristalino, es altamente tóxico. Este metal puede liberarse al medio ambiente al entrar en contacto con ácidos y formar lixiviados que contaminan suelos y cuerpos de agua. La ingestión de estos compuestos afecta gravemente los sistemas nervioso, respiratorio y cardíaco de humanos y animales, llegando incluso a ser letal según la dosis. (Bonilla, 2016). (Berrio & Zuluaga, 2014) (Fiandra, Sannino, Andreozzi, Corcellib, & Graditi, 2019)

Peligros del cadmio en paneles de película delgada

Dentro de los paneles de película delgada, el cadmio se identifica como un metal pesado y reconocido carcinógeno. Con exposiciones de 50 mg en una hora, se han documentado casos fatales en personas. Al reaccionar con agentes corrosivos o ácidos, forma lixiviados que liberan este elemento al entorno, incrementando el riesgo para la salud humana y animal. (World Health Organization, 1999). (Centro Nacional de Energías Renovables, 2013) (Centro Nacional de Energías Renovables, 2013) (Tammara, Rimauro, Fiandra, & Antonio, 2015)

Clasificación como RAEE de los paneles solares

Finalmente, desde la perspectiva de su “origen especial”, los paneles solares se consideran Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Esta categorización obedece a su composición electrónica, lo que demanda protocolos de gestión y tratamiento específicos para minimizar impactos y asegurar su correcta disposición. (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016)

Métodos de disposición de residuos fotovoltaicos en el escenario global

En el marco de *El lado desconocido de la energía solar: un desafío oculto, hacia un futuro incierto*, resulta imprescindible explorar las estrategias internacionales para gestionar los paneles al término de su ciclo de vida. En países líderes como Alemania, España, Estados Unidos y Japón, se han consolidado dos líneas principales de disposición: el depósito en celdas de seguridad destinadas a residuos especiales y los procesos de recuperación selectiva de materiales.

La vía de valorización material se apoya en técnicas de separación manual, separación mecánica mediante cribas y cintas transportadoras, separación magnética para metales ferrosos, y procedimientos de trituración que reducen el tamaño de los módulos; los fragmentos se someten a incineración a altas temperaturas para eliminar componentes orgánicos y concentrar los metales en cenizas más fáciles de tratar.

Para los residuos catalogados como peligrosos en especial los que contienen plomo, cadmio o arsénico se emplean etapas de lixiviación ácida que disuelven selectivamente estos metales pesados. Posteriormente, mediante electrólisis, se recuperan en forma de metales puros o compuestos valiosos, tras un prefiltrado que elimina sólidos en suspensión.

Estos esquemas han demostrado altos índices de recuperación superiores al 90 % de los materiales críticos y un manejo seguro de los elementos tóxicos, ofreciendo un referente para diseñar la gestión integral de residuos fotovoltaicos en contextos emergentes (Bonilla, 2016) (IRENA and IEA-PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

El Energy Research Centre of the Netherlands (ECN) ha desarrollado un procedimiento detallado para la recuperación de materiales a partir de paneles solares al término de su vida útil. En primer lugar, se extraen manualmente el armazón metálico y la caja de conexiones eléctricas, de forma que el corazón del módulo compuesto por vidrio y celdas

quede libre de estructuras accesorias. A continuación, el módulo sin marco se introduce en un molino de trituración que reduce todos los componentes a fragmentos menores. Durante el triturado se consigue separar el vidrio limpio de los filamentos de tabulación (las finas hileras de metal conductor que unen las celdas). Una vez obtenidos estos dos flujos, se realiza una segunda etapa de tamizado y clasificación: el vidrio se reserva para procesos de reutilización industrial o como materia prima de bajo coste, mientras que los trozos de células solares con restos de silicio y capas semiconductoras se envasan para su comercialización como material de calidad inferior, por ejemplo, para aplicaciones con menor requerimiento de pureza o para investigación de nuevos compuestos cristalinos (Bonilla, 2016).

Otra modalidad de valorización consiste en aplicar calor y reacciones químicas para extraer componentes valiosos de los paneles. Primero, se separan manual o mecánicamente el marco y el cableado, y luego se calienta el resto del módulo en un horno a aproximadamente 150 °C. Este tratamiento térmico debilita la adhesión entre el vidrio y las capas de polímero que encapsulan las celdas, facilitando su desprendimiento sin dañar el silicio.

Una vez separados el vidrio y los polímeros, estos últimos se someten a procesos de pirólisis y gasificación. Bajo altas temperaturas y en ausencia parcial de oxígeno, los polímeros se descomponen y generan gases combustibles (como metano e hidrógeno) y aceites que pueden refinarse para producir biocombustibles o aditivos para la industria petroquímica. Las cenizas residuales, ricas en silicatos y compuestos metálicos, se procesan mediante lixiviación ácida a alta temperatura.

Tras disolver selectivamente el silicio cristalino y otros iones metálicos, se recurre a electrólisis y prefiltrados para separar el silicio de impurezas y recuperar metales como plomo o cadmio presentes en pequeñas cantidades. Este esquema químico-termoquímico permite extraer tanto vidrio de alta pureza como silicio reutilizable y subproductos energéticos, optimizando la eficiencia del ciclo de vida del panel solar (Bonilla, 2016).

Normatividad global para la disposición final de paneles fotovoltaicos

A nivel mundial, la reglamentación para el manejo de los paneles solares al final de su vida útil se fundamenta en programas posconsumo que integran a todos los actores del ciclo de vida: productores, comercializadores y usuarios finales. Estos esquemas promueven la clasificación de los módulos como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), otorgándoles un estatus de “residuos especiales” que exige un tratamiento diferenciado frente a los desechos convencionales. El objetivo principal es evitar su ingreso a rellenos sanitarios o plantas de aprovechamiento genérico, donde podrían mezclarse con fracciones orgánicas e inorgánicas y aumentar el riesgo toxicológico del conjunto (Ramírez, 2018) (Bonilla, 2016) (IRENA and IEA- PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

Estados Unidos

En EE. UU., los paneles se clasifican también dentro de los RAEE, aunque muchos estados los consideran residuos con “potencial peligroso” por la presencia de metales pesados como el plomo o el cadmio. Aunque no existe una ley federal única para fotovoltaicos, fabricantes y asociaciones industriales han promovido de forma voluntaria plantas especializadas que cumplen estándares de manejo seguro y protección ambiental similares a los de residuos peligrosos, asegurando la validación de procesos de recuperación y reciclaje (Ramírez, 2018) (Bonilla, 2016) (IRENA and IEA- PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

Japón y China

En estos países, con un fuerte crecimiento en capacidad instalada, se están explorando modelos de reciclaje de bajo costo. Japón aprovecha su “Ley de Reciclaje de Electrodomésticos” para incluir gradualmente a los paneles en sistemas consolidados de

recuperación, mientras que China avanza en regulaciones específicas para la recogida y reutilización de componentes electrónicos. Ambos mercados buscan esquemas técnicamente sencillos y económicamente viables, que fomenten el reúso de vidrio, aluminio y silicio sin elevar excesivamente los costos de post-consumo (Ramírez, 2018) (Bonilla, 2016) (IRENA and IEA- PVPS. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, 2016).

Normatividad sobre disposición final de paneles solares fotovoltaicos en Colombia

La regulación colombiana para el manejo de residuos al final de la vida útil de los paneles solares se originó tras la firma de convenios internacionales como la Cumbre de Basilea (1989) y las conferencias de Río de Janeiro (1992 y 2012). Estas iniciativas impulsaron la creación del Ministerio de Ambiente y Desarrollo posteriormente Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible mediante la Ley 9 de 1993, sentando las bases de la planificación ambiental y el manejo integral de residuos en el país. El Decreto 1713 de 2002 definió formalmente qué se considera residuo y sus clasificaciones según características físico-químicas. (Ramírez, 2018).

La política colombiana sobre desechos peligrosos –conocida como RESPEL se reglamentó a través del Decreto 4741 de 2005, estableciendo criterios para el manejo seguro de residuos sólidos de carácter peligroso. A su vez, la Política de Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) data de 2007 y fue incorporada en el Decreto 1076 de 2015, que consolida la normatividad ambiental, complementada por el Decreto 284 de 2018 del MADS.

Estas disposiciones colocan los paneles solares, junto a otros aparatos eléctricos, bajo el estatus de RAEE, reconociendo su variedad de compuestos y la necesidad de un tratamiento diferenciado (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS. Gobierno Nacional de Colombia, 2019) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS, 2018) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS, 2017).

Vacíos en la aplicación práctica

A pesar de su inclusión en la categoría RAEE, la normativa no menciona explícitamente los paneles fotovoltaicos, lo que provoca ambigüedad en su manejo posconsumo. Como consecuencia, muchos módulos terminan mezclados con residuos domésticos en rellenos sanitarios, donde los lixiviados derivados de sus metales y tóxicos pueden infiltrar fuentes hídricas y perjudicar ecosistemas y comunidades locales (Ramírez, 2018) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2016).

Integración de la energía fotovoltaica y requisitos ambientales

Desde la apertura de la matriz energética en 2014, la autoridad ambiental exige estudios y licencias para proyectos de gran escala. La Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) evalúa impactos conforme a los términos de referencia vigentes. Hasta la fecha, se han aprobado cuatro plantas fotovoltaicas de gran capacidad en el Valle del Cauca, Cesar, La Guajira y el Magdalena Medio, todas bajo el régimen de licenciamiento ambiental del MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS. Gobierno Nacional de Colombia, 2022).

CÁLCULOS Y ANÁLISIS CRÍTICO

Estimaremos mediante cálculos sencillos el volumen de residuos que generarán los paneles fotovoltaicos actualmente instalados en Colombia. Para ello, partiremos de la cantidad de módulos necesarios para alcanzar 1 MW de capacidad, usando los datos de potencia de cada panel extraídos de las fichas técnicas de cuatro fabricantes cuyas soluciones están siendo incorporadas en los proyectos fotovoltaicos en estudio y ejecución en el país. La Tabla 2 recopila los valores de potencia y el peso de cada módulo, basándose en las especificaciones técnicas suministradas por cuatro fabricantes cuyos paneles son instalados en Colombia.

Tabla 2. Empresas fabricantes y referencia de paneles solares de mayor uso en Colombia por su peso

Empresa Fabricante	Rango de potencia de salida	Peso aproximado
RISEN ENERGY CO. LTD	530 – 550 Wp	33 Kg
JINKO SOLAR	525 – 545 Wp	34.3 Kg
SUNTECH	530 – 550 Wp	29.1 Kg
ENERGY CHINT	525 – 545 Wp	27.2 Kg
PROMEDIO	527.5 – 547.5 Wp	30.9 Kg

Nota: La tabla muestra el rango de potencia máximo y mínimo de 4 tipos de paneles solares de mercado y su peso. Tomado de: Fichas técnicas Risen Energy co, Jinko solar, Suntech, Energy chint.

El cálculo del número de módulos necesarios para producir 1 MW se realiza dividiendo la potencia total deseada por la potencia nominal de un panel. Así:

$Potencia\ a\ generar\ (W) \div Potencia\ panel\ (W) = N^{\circ}\ de\ paneles\ necesarios$ al aplicar $1\ 000\ kWp \div 0,5275\ kWp$, se obtiene un resultado de aproximadamente 1 896 paneles.

Con esto demostramos que necesitamos 1896 paneles para generar 1 MW de potencia. Ahora sacamos el peso de los paneles para generar esa potencia con la siguiente formula:

$1\ MW\ de\ paneles \times Peso\ promedio\ (Kg) = Peso\ paneles\ para\ generar\ xMW$ $1896 \times 30.9\ Kg = 58.586,4\ Kg$

Para generar un megavatio de potencia se requieren 58,5 toneladas de paneles solares.

Con este dato, calculamos para cada parque solar activo en Colombia la cantidad de toneladas de paneles necesarias de acuerdo con la potencia que cada uno produce.

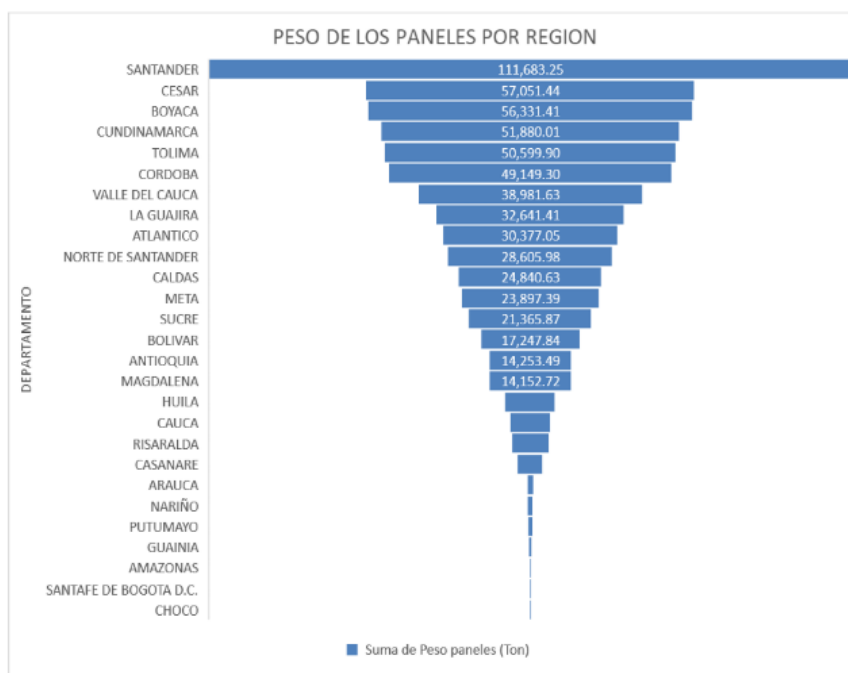
Tabla 3. Peso de paneles solares de acuerdo con su capacidad de generación por departamento.

Departamento	Suma de Capacidad MW	Suma de Peso paneles (Ton)
AMAZONAS	2.03	118.93
ANTIOQUIA	243.29	14,253.49
ARAUCA	19.7	1,154.15
ATLANTICO	518.5	30,377.05
BOLIVAR	294.4	17,247.84
BOYACA	961.51	56,331.41
CALDAS	424	24,840.63
CASANARE	75.34	4,413.90
CAUCA	118.89	6,965.34
CESAR	973.8	57,051.44
CHOCO	1	58.59
CORDOBA	838.92	49,149.30
CUNDINAMARCA	885.53	51,880.01
GUAINIA	9.8	574.15
HUILA	149.7	8,770.38
LA GUAJIRA	557.15	32,641.41
MAGDALENA	241.57	14,152.72
META	407.9	23,897.39
NARIÑO	15.5	908.09
NORTE DE SANTANDER	488.27	28,605.98
PUTUMAYO	12.8	749.91
RISARALDA	109.401	6,409.41
SANTAFE DE BOGOTA D.C.	2	117.17
SANTANDER	1906.3	111,683.25
SUCRE	364.69	21,365.87
TOLIMA	863.68	50,599.90
VALLE DEL CAUCA	665.37	38,981.63
Total general	11151.041	653,299.35

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 3, en los últimos cinco años estos proyectos han generado 653.299,35 toneladas de residuos provenientes de los 223 parques solares actualmente operativos en Colombia, los cuales alcanzan el fin de su vida útil tras aproximadamente 25 a 30 años.

Figura 4. Gráfica de embudo de las toneladas de desechos instalados por departamento.



Nota. La figura muestra los pesos de los paneles de acuerdo con la generación solar por departamento.

Analizando estos datos, el capítulo presenta que con los cálculos realizados se puede predecir que los paneles solares generarán 80 millones de toneladas de residuos en tres décadas

CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta ponencia, y descritos en este capítulo, ponen de manifiesto que, en Colombia, aún no existe un marco normativo específico para el cierre del ciclo de vida de los sistemas fotovoltaicos.

Aunque la política de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) incluye a los paneles solares, en la práctica no se contempla de manera expresa su recolección ni su reciclaje, lo que deja un vacío importante en la gestión posconsumo.

Si bien la puesta en marcha de grandes plantas fotovoltaicas requiere licencias ambientales y estudios de impacto que mencionan el manejo de residuos al final de su vida útil, estos instrumentos no garantizan un esquema efectivo de tratamiento.

El país carece de empresas gestoras dedicadas al aprovechamiento de los módulos agotados, y las celdas de seguridad disponibles resultan insuficientes frente al volumen de residuos que se prevé en los próximos años.

Por último, la ausencia de programas de posconsumo dirigidos a pequeños usuarios impide que esta escala de generadores pueda gestionar adecuadamente sus desechos.

En conjunto, estos vacíos normativos y logísticos subrayan la urgencia de diseñar e implementar mecanismos integrales que incluyan responsabilidad extendida del productor, infraestructura especializada y campañas de recolección para cerrar el ciclo de los paneles fotovoltaicos y evitar que el rápido crecimiento de la energía solar se convierta en un desafío ambiental oculto en Colombia.

RECOMENDACIONES

A partir de las brechas detectadas en la gestión de fin de vida de los paneles fotovoltaicos en Colombia, se proponen las siguientes acciones inmediatas para los ministerios responsables, con el fin de cerrar el ciclo de estos equipos y prevenir un pasivo ambiental de magnitud creciente.

1. Al Ministerio de Minas y Energía

- Crear un registro nacional de instalaciones fotovoltaicas con fecha de puesta en servicio y compromisos de fin de vida, soportado por una plataforma digital para monitorear el cumplimiento de metas posconsumo.
- Diseñar incentivos fiscales y líneas de crédito blandas para otorgar exenciones tributarias y beneficios arancelarios a empresas que implementen plantas de tratamiento de residuos fotovoltaicos.

2. Al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

- Crear un marco normativo específico para definir categorías y clasificación paneles fotovoltaicos dentro del régimen RAEE.
- Financiar la infraestructura de tratamiento ambientalmente apoyando la creación de plantas piloto de reciclaje en regiones con alta concentración de proyectos solares.
- Incorporar criterios ambientales en licitaciones de infraestructura para manejo de residuos peligrosos y no peligrosos, donde se incorporen la evaluación de ciclo de vida (ACV) como requisito en las autorizaciones ambientales, exigiendo estudios que identifiquen riesgos de ecotoxicidad y planes de mitigación desde la fase de diseño hasta la disposición final.

- Fomentar la adopción de estándares internacionales (por ejemplo, ISO 14001 y normas de la UE) para, establecer convenios con municipios y distritos para habilitar puntos de acopio de paneles usados.

REFERENCIAS

Crownhart, C. (2021, 19 agosto). Solar panels are a pain to recycle. These companies are trying to fix that. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/2021/08/19/1032215/solar-panels-recycling/>

Enel Green Power. (2021). Módulo fotovoltaico. Enel Green Power <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>

ESAsolar. (2021, enero). Estructura EsatrackM5 [Datasheet]. Obtenido de Esasolar: <https://esasolar.com/wp-content/archivos/Datasheet-t%C3%A9cnico-ESATRACKM5-actualizada.pdf>

Escuela Moreno C., Estudio sobre las posibilidades de valorización de residuos de paneles fotovoltaicos (Trabajo de grado). Universidad de La Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/5835>

Fin solar. (2021, 21 mayo). 10 razones para Instalar Paneles Solares de Telurio de Cadmio en 2021. Finsolar. <https://fin.solar/noticias/paneles-solares-de-teluro-de-cadmio/>
<https://resource-recycling.com/recycling/2021/06/15/how-the-recycling-industry-is-preparing-to-tackle-solar-panels/>

Kang, S., Yoo, S., Lee, J., Boo, B., & Ryu, H. (30 de 04 de 2012). Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules. *Renewable Energy*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112002716>

Lorenzo, J. (2022, 31 enero). Tipos de Células Fotovoltaicas y su estructura. SunFields Distribuidor de material y equipos fotovoltaicos. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>

Mag, S. (2021, 19 agosto). Tipos de Paneles Solares: En el Mercado y en el Laboratorio [2020]. *Solar Magazine*. <https://solarmagazine.com/es/paneles-solares/>

Solares, P. (2020, 20 abril). Cálculo de Paneles Solares | Todo lo que necesitas saber. Paneles Solares. https://www.paneles-solares.org/calculo/#Calculo_de_Paneles_Solares

Vekony, A. T. (2021, 24 de marzo). The Opportunities of Solar Panel Recycling. Obtenido de greenmatch: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling>

Congreso de la República de Colombia. (2014). *LEY 1715 DE 2014 "Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional"*. Bogota, Colombia: Republica de Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, MADS. Gobierno Nacional de Colombia. (24 de Febrero de 2019). *Home Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana Sustancias Químicas y Residuos Peligrosos*. Recuperado el 24 de Febrero de 2019, 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>

International Renewable Energy Agency. (28 de 04 de 2019). *Solar energy*
.International Renewable Energy Agency. Obtenido de International
Renewable Energy Agency: <https://www.irena.org/solar>

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Volumen VI

Colección: Ciencia, Tecnología e Innovación

Este libro propone una conversación urgente sobre los dilemas del presente: cómo gobernamos en la era digital, cómo educamos con sentido en medio de la aceleración tecnológica y cómo decidimos —como sociedades— frente a la sostenibilidad, la economía global y la formación de nuevas generaciones. Investigación y Desarrollo – volumen VI, derivado del Congreso Internacional RIISS 2025 - ESPOCH, Ecuador; y publicado por el Fondo Editorial CIIDIES, reúne capítulos resultado de investigación con revisión académica y edición cuidadosa, puestos al alcance de la comunidad en un modelo de acceso abierto.

El itinerario abre con una mirada crítica a la gobernanza del siglo XXI y el papel de los medios digitales en la innovación pública. Luego, el volumen aterriza en la práctica educativa con evidencia sobre el uso de Nearpod en una universidad pública en Lima (2025), y con una propuesta formativa que articula socioformación y empatía por la vida (ODS18), invitando a reimaginar la educación como experiencia ética, relacional y transformadora.

La obra también presenta y amplía perspectivas: cuestiona las promesas lineales de la transición energética en energía solar, y aborda la disputa económica contemporánea mediante un análisis de la política de “aranceles recíprocos” y sus efectos sobre el valor agregado doméstico. Finalmente, integra una revisión documental sobre capacidades juveniles en innovación, emprendimiento y cultura solidaria en América Latina, y cierra con una reflexión didáctica decisiva para la formación docente: la transposición didáctica en educación física, recreación y deporte.

Este volumen VI invita a leer con espíritu crítico y a convertir la investigación en conversación pública, decisión informada y acción colectiva.

