

# ANÁLISIS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE PANELES SOLARES

Gutiérrez Miguel , Mora Diego, Patarroyo Jorge

Ingeniería Electrónica

Yopal-Casanare

[miguelgutierrez@unisangil.edu.co](mailto:miguelgutierrez@unisangil.edu.co)

[diegomora@unisangil.edu.co](mailto:diegomora@unisangil.edu.co)

[jorgepatarroyo@unisangil.edu.co](mailto:jorgepatarroyo@unisangil.edu.co)

**Abstract—** this article presents an important problem in the next two decades, when the first generations of installed panels expire their useful lives and must be finally disposed of. Currently there is no infrastructure or regulations that explicitly delimit and define how this waste should be managed, so not only would business and circular economy opportunities be lost by taking advantage of it, but hazardous waste could be generated in the process if it is not given proper treatment.

Resumen— este artículo presenta una problemática importante en las próximas dos décadas, cuando las primeras generaciones de paneles instalados concluyan sus vidas útiles y deban ser dispuestos finalmente. Actualmente no existe una infraestructura o normativa que explícitamente delimite y defina cómo se deben gestionar estos residuos, por lo que no sólo se perderían oportunidades de negocio y de economía circular al aprovecharlos, sino que podrían generarse residuos peligrosos en el proceso si no se les da el tratamiento adecuado.

## I. INTRODUCCION

A medida que el sector energético busca reducir su dependencia sobre los combustibles fósiles con la integración de energías renovables, la energía solar fotovoltaica seguirá creciendo como lo ha hecho en años recientes a nivel global Colombia no se quedará atrás con normas como la Ley 1715 de 2014, que regula las energías renovables no convencionales, incluida la solar, se hace cada vez más fácil su acogida en la matriz energética en el país. Sin embargo, esto no es sin consecuencia; los paneles fotovoltaicos tienen una vida útil promedio de entre 20 y 25 años, por lo que las primeras generaciones de paneles instalados concluirán sus ciclos de vida en las próximas dos décadas y será necesario tener la infraestructura técnica y normativa lista para su apropiada gestión [1].

Actualmente, esta infraestructura no existe específicamente para los residuos de paneles solares, por lo que si no se actúa rápido, el país podrá perder oportunidades de negocio y de economía circular al no aprovechar los componentes de los paneles apropiadamente, además de generar un impacto ambiental considerable al permitir que estos residuos se vuelvan peligrosos en un relleno sanitario sin tratamiento alguno. Por esta razón, es importante que Colombia siga los pasos de países que llevan una más larga historia de uso de paneles

fotovoltaicos y que han manejado esta problemática exitosamente. [1]

El presente artículo realiza una revisión bibliográfica acerca del uso y consumo de paneles solares en cuanto a la gestión y el manejo integral de los residuos sólidos, específicamente de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, y además las políticas que se tienen en cuanto a la producción y el consumo sostenible

## II. METODOLOGÍA

Para la localización de los documentos bibliográficos se utilizaron varias fuentes documentales. Se realizó una búsqueda bibliográfica desde el 2017 utilizando los descriptores: panel solar, vida útil, reciclaje. También se realizó una búsqueda en internet en el buscador “google académico” con los mismos términos.

Se seleccionaron aquellos documentos que informasen sobre los aspectos formales que debía contener, la vida útil del panel solar, las etapas de realización de una revisión bibliográfica.

## III. ANÁLISIS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

### A. Una mirada al futuro del reciclaje de paneles en España

El 2019 fue también un gran año fotovoltaico para España, batiendo su record histórico de potencia instalada tanto en plantas (con 4201 MW de nueva capacidad) como en autoconsumo (con 459 MW); siendo líder en el mercado europeo y el sexto a nivel mundial.

Además, la energía FV parece haberse hecho hueco en el mix energético mundial, siendo una de las tecnologías más relevantes en la lucha contra el cambio climático, tal y como demuestran sus 40 g CO<sub>2</sub> eq/kW de emisiones frente a los 1000 g CO<sub>2</sub> eq/kWh que emite el carbón. Sin embargo, las emisiones FV no deben ser despreciadas solamente porque sean mucho menores a las provenientes de las energías fósiles.

Por lo tanto, una revisión al ciclo de vida de los módulos FV es necesaria, ya que la fabricación de paneles es la responsable de la mayoría de las emisiones FV (60-70 %). Precisamente, el reciclado de módulos FV surge como solución para reducir el impacto medioambiental de la industria FV, a la vez que las materias primas para la producción FV quedan aseguradas [2].

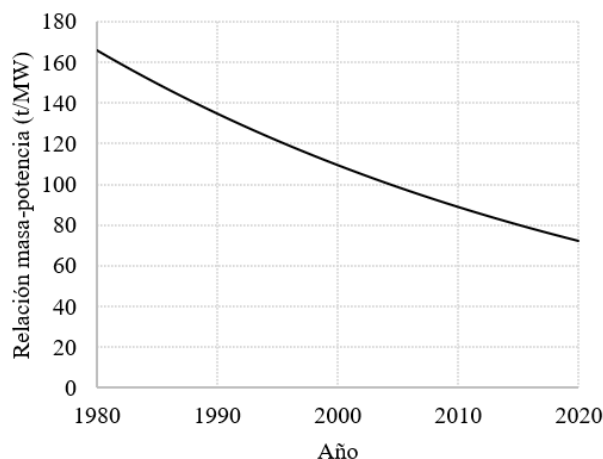


Figure 1 Relación entre la masa y la potencia con el paso de los años debida a la mejora de los paneles solares [2].

A consecuencia de lo anterior plantearon hacer una previsión acertada respecto a una industria de reciclaje en España, la cantidad en masa de módulos FV que llegarán al final de su vida útil en los próximos años ha sido calculada. Para ello, necesitaron la relación entre la masa de los módulos y la potencia instalada en cada año. Esto se debe a que la potencia instalada anual es el dato más preciso que se tiene en relación al incremento de paneles fotovoltaicos en España de forma anual. Debido a la continua mejora en eficiencia y coste material de los paneles fotovoltaicos, la relación media entre potencia y masa está decayendo progresivamente con el paso de los años [2].

Con el objetivo de Calcular esta relación mediante, que expresa el decaimiento exponencial de la relación entre masa y potencia instalada en el año, tal y como se muestra en la Fig. 1. Del ajuste de los valores medios de relación-potencia en los módulos FV con el paso de los años, obtenemos las constantes

$A = 1$ ;  $1 \times 1020 \text{ t/MW}$  y  $B = 48$ ; 24 años.

Relación masa-potencia instalada( $i$ ) =  $Ae^{-\frac{i}{B}}$  (1)

Con los valores de la relación masa-potencia anual (RMPA) de la Fig. 1 y los datos de la potencia instalada anualmente (PIA) en España, obtenemos el resultado de la masa de paneles solares generada anualmente (MPSGA) con para cada año.

$MPSGA(i) = RMPA(i) \times PIA(i)$

A partir de estos datos, realizaron dos aproximaciones para obtener en que años se dispondrá de los módulos fotovoltaicos para su reciclaje. En la primera, los paneles solares tendrán una vida media de 30 años, consideración común en la literatura. En la segunda, los paneles tendrán una vida media de 20 años. Esto se debe a la consideración en para el caso español de residuos solares, en el que se toma en cuenta que el periodo de explosión fotovoltaica española de 2008 coincidió con una profunda transformación en la industria global fotovoltaica, en la que los

productores tradicionales europeos, japoneses y estadounidenses perdieron su liderazgo frente a los productores asiáticos. Este hecho se tradujo en una reducción de la vida útil de los módulos, de ahí la aproximación de una vida media de 20 años. Ambas aproximaciones pueden ser observadas en la Fig. 2 [2].

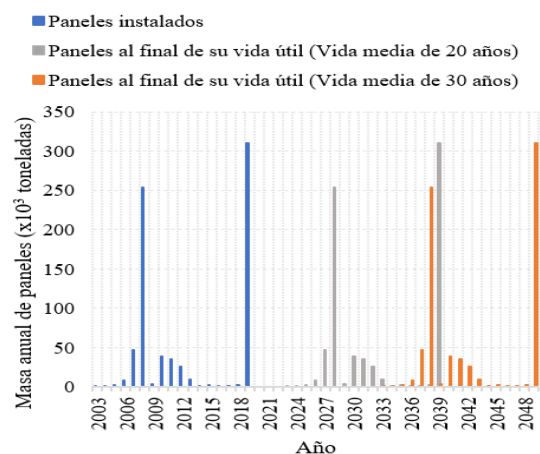


Figure 2 Comparación entre la masa de paneles solares instalados cada año y la masa de esos paneles solares cuando estén disponibles para reciclaje al final de su vida útil, para una estimación de 20 años de vida útil o de 30 años de vida útil [2]

De la Fig. 2 concluyeron, que con diferentes previsiones, aunque cambie el rango de años, la cantidad generada de residuos FV será irregular con el tiempo. Esto concuerda con los resultados obtenidos en para el caso España, en el cual el máximo de la masa anual de residuos fotovoltaicos es seguido de un periodo de escasez que podría generar problemas para una creciente industria española de reciclaje. Sin embargo, también muestra como España tendría unos años en los que su masa acumulada de residuos solares superaría la de países que en la actualidad tienen una mayor capacidad fotovoltaica. Esta ventaja, no solo será relevante en términos de economía de escala, sino en términos de investigación puesto que países como China tienen el problema de no tener los suficientes residuos solares como para llevar a cabo un estudio sobre el reciclado. ¿Cómo podríamos aprovechar esta ventaja, sin correr el riesgo de sobre-escalar la industria y tener un periodo de inactividad? La solución que estudiaron, se basa en el almacenaje [2].

De ahí que los módulos fotovoltaicos podrían quedar almacenados e irse reciclando durante los años en los que la generación de residuos solares bajara. De esta manera, no habría que sobre escalar la industria del reciclaje y a la vez la industria se beneficiaría de todas las ventajas que esa cantidad de residuos solar temprano nos daría. También es una estrategia más segura, puesto que no haría falta acertar con la previsión de paneles FV generados cada año de manera exacta para poder llevarla a cabo [2].

Para estudiar la viabilidad de esta solución, se calculó cuanto espacio ocuparían los residuos solares asociados al boom fotovoltaico de 2008 (véase Fig. 2), que corresponden a una masa de 250.000 toneladas. Para ello, tomaron un módulo de referencia de una de las empresas de referencia del momento, Aleo Solar. Las dimensiones de este módulo son 1660 mm x

990 mm x 50 mm y su masa es de 21 kg. Con estos datos, estimaron el volumen que ocuparía nuestra masa de 250.000 toneladas, que resulta en 978.000 m<sup>3</sup>. Comparando esta cantidad con los 7 millones de metros cúbicos de capacidad que tiene el vertedero industrial de Nervo en España, observaron que sería posible el almacenamiento de esta cantidad de residuos solares.

### B. Plan de manejo para disposición final de paneles solares de Energía Integral Andina S.A.

Dentro de la respectiva disposición que se propone en esta investigación se tiene el desensamble que involucra el método manual y el método térmico, teniendo en cuenta aquellas características que en sus procesos generan menores gastos económicos. Se comparó con base a proyectos realizados con un solo método de los dos anteriormente mencionados.

En primera instancia se extrae el total del marco de aluminio de forma manual, con el objeto de obtener el vidrio convencional junto a las celdas solares. La separación consistirá en la aplicación de calor en un horno industrial por 48 horas, a una temperatura de 70°C y así lograr llegar al punto de fusión del EVA para su desprendimiento. La capacidad y diseño del horno estará sujeto a las dimensiones de los paneles, dado el caso que para proyectos del año 2010 a 2015 se trabajará con dimensiones distintas a los que se trabajan e instalan hoy en día. Posterior a esto, la separación del vidrio convencional con las celdas solares es realizada con ventosas de plástico, disminuyendo el riesgo al que se exponen los trabajadores y la facilidad de manipulación de los mismos. Estos dos residuos ya entran a procesos de tratamiento interno y/o disposición final con gestores autorizados.

Como resultado en el diagrama se muestran las especificaciones para cada uno de los residuos generados. [3]

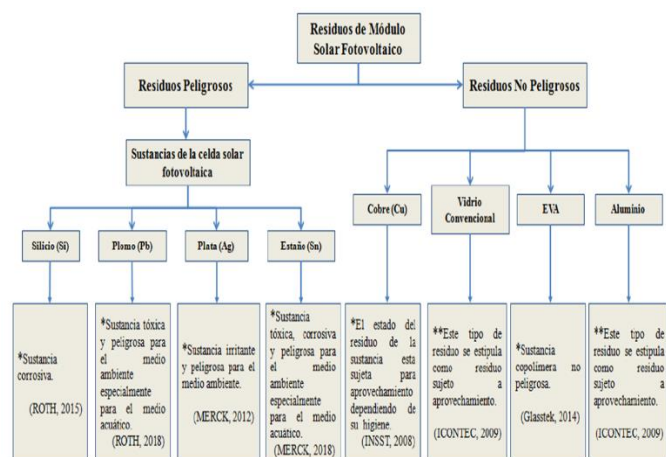


Figure 3 Clasificación de residuos de un módulo fotovoltaico

De ahí que los residuos no peligrosos o Residuos Sólidos se incluyen el vidrio convencional, el EVA, el cobre y el aluminio una vez sean separados de las celdas solares. El EVA y el cobre no son considerados materiales o sustancias peligrosas de acuerdo con sus hojas de seguridad, libro naranja de las Naciones Unidas y Convenio de Basilea “Sobre el Control de

los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación”. Estos materiales no presentan peligrosidad, sin embargo, deben ser tratados y aprovechados por gestores autorizados.

Los residuos no peligrosos generados por un módulo solar poseen características similares a los residuos que se generan en las labores cotidianas de EIASA como lo son la integración de sistemas de energía eléctrica, diseño y construcción de redes de energía, telecomunicaciones y saneamiento básico. Esta similitud posibilita la articulación del Plan de manejo de paneles solares con el programa de gestión integral de residuos sólidos

Actualmente en Energía Integral Andina S.A., a los residuos generados se les realiza un seguimiento y control por medio del “Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Convencionales” y el “Programa de Gestión Integral de Residuos Peligrosos”. Con base a los resultados que muestre la prueba piloto se ajustará el presente Plan de Manejo para la disposición de paneles solares, a los programas actuales con el fin de poder gestionar los residuos con los gestores autorizados y avalados por el Departamento de Gestión Ambiental. [3]

### C. Plan análisis ciclo vida y económico aplicado a la reutilización y reciclaje de paneles solares fotovoltaico

En la actualidad, las plantas solares fotovoltaicas están tomando conciencia de su rol en la sociedad como un agente de cambio hacia una industria más verde, es por ello por lo que la gestión de sus residuos toma cada vez mayor protagonismo. La ley Rep.20.920 clasifica a los paneles solares como desechos electrónicos que deben ser reciclados. Con el fin de cumplir con la legislación, en la actualidad se valora mucho tener la capacidad de detectar cuando un panel debe ser limpiado, reparado, reutilizado o reciclado, es por ello por lo que se presenta el siguiente esquema para un modelo de negocios. La propuesta de valor consiste en un enfoque personalizado al cliente para gestionar el estado de salud de sus paneles solares, con el propósito de identificar políticas con el fin de optimizar el proceso de limpieza, reutilización, reparación y reciclaje. En resumen, se plantea un modelo de negocios en el cual se realice un contrato con las plantas fotovoltaicas para proveer los siguientes servicios:

- Control del inventario de paneles solares degradados en la planta.
- Control de salud de los paneles.
- Recogida de paneles, con compromiso de reparar si es posible y reincorporar a la planta o reciclar si es necesario.

Con respecto a este modelo de negocio, el reciclaje y la reutilización, una vez que se identifican paneles que no están en condiciones para seguir operando en la planta fotovoltaica, se procede a enviarlos a una planta separadora, previo examen mediante la curva IV en terreno estos paneles son separados en dos clases, reparar y reciclar. Los módulos seleccionados para reparar son etiquetados y separados para examinar su caso de manera particular. Estos casos son: cambio de caja de conexiones, o cambio de marco y vidrio. Para el primero solo

se realiza un cambio en la caja de conexiones, en cambio en el segundo se debe realizar un proceso termoquímico para separar la EVA del vidrio. Los que son seleccionados para reciclaje son llevados a un proceso termoquímico en el cual se separa el vidrio y los metales. Al final del proceso los metales y vidrio son vendidos a empresas de reciclaje mayores.

Con el fin de estudiar el posible comportamiento financiero de la empresa, se realiza un análisis de sensibilidad, en el que se modifica en ceteris paribus las principales variables que componen el flujo de caja. En particular se estudia el efecto de aumentar o disminuir en un 10% los costos fijos, variables y los ingresos. Todos los casos se estudian suponiendo que la demanda se comporta de forma optimista (en el sentido de que hay menos paneles degradados), por lo que representa la cota mínima.

En las siguientes tablas 6.11 y 6.12 se observan los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad para el caso de financiamiento con 100% de patrimonio propio y, 50% de patrimonio propio y 50% de crédito con garantía Corfo, respectivamente, como se puede observar el flujo de caja es altamente dependiente del valor de los productos que se utilizan para degradar la EVA y limpiar el silicio, por lo que esta empresa posiblemente se beneficiara de las economías de escala [4].

	VAN	TIR
Situacion normal	\$ 35.642.425	14 %
CF + 10 %	\$ 22.075.493	12 %
CF - 10 %	\$ 49.209.356	17 %
CV + 10 %	-\$ -76.030.765	0 %
CV - 10 %	\$ 147.315.614	25 %
I + 10 %	\$ 23.234.425	12 %
I - 10 %	\$ 48.050.425	16 %

Figure 4 Análisis de sensibilidad 100% de patrimonio propio

	VAN	TIR
Situacion normal	\$ 97.682.425	25 %
CF + 10 %	\$ 84.115.493	23 %
CF - 10 %	\$ 111.249.356	27 %
CV + 10 %	-\$ -27.557.697	5 %
CV - 10 %	\$ 195.788.682	36 %
I + 10 %	\$ 71.707.493	20 %
I - 10 %	\$96.523.493	26 %

Figure 5 Análisis de sensibilidad 50% de patrimonio propio

Como resultados se concluye que el método de reciclaje que genera menos impactos al medio ambiente es el térmico. Al observar la tabla 3.6 se puede apreciar una diferencia significativa en la generación de CO<sub>2</sub> entre el método térmico y el mecánico, se identifican dos factores claves para explicar este comportamiento. En primer lugar, la tasa de recuperación del método térmico es del 95%, mientras que el del método mecánico es solo del 80% al 85%. En segundo lugar, se identifica una mayor dependencia del método mecánico a la red eléctrica que en el térmico, esto último se ve reflejado en otro

indicador que se encuentra inusualmente alto en el método mecánico (aparte de la generación de CO<sub>2</sub>), que es el agotamiento de la energía fósil medido en Kg de Oil equivalente.

Por otro lado, se concluye que el método de reciclaje químico es superior desde el punto de vista del cambio climático (generación de CO<sub>2</sub>) al método mecánico y ligeramente inferior al térmico. Al observar la tabla 3.6 se advierte que este método no se comporta bien desde el punto de vista de la toxicidad humana, esto se debe al uso de químicos orgánicos para disolver la EVA tales como el tolueno. Por otro lado, para poder industrializar este método, es necesario calentar el módulo, razón por la cual su impacto medio ambiental es muy similar al térmico. [4]

#### D. DISEÑO DE UNA MÁQUINA QUE PERMITA LA SEPARACIÓN DEL MARCO DE ALUMINIO DE PANELES SOLARES MONOCRISTALINOS DE 60-72 CELDAS QUE HAN CUMPLIDO SU VIDA ÚTIL PARA LA FUNDACIÓN CIRCULAR CROPS ENBOGOTÁ

Encontramos el proyecto realizado por Jair Leopoldo Loaiza de la universidad de América, quien propone “diseñar una máquina que permita la separación del marco de aluminio de paneles solares mono cristalinos de 60-72 celdas que han cumplido su vida útil para la fundación circular Crops en Bogotá”. Posteriormente el proyecto da como finalidad aprovechar el aluminio de los paneles solares, realizando un proceso de reciclaje y reutilización, donde se evidencia que este metal representa un ingreso alto en nuestro país, el cual propone tres tipos de estrategias para la separación de los materiales y el reciclaje de las partes por medio de la implementación de la maquina diseñada, los cuales son:

Vibración: el proceso comienza con el posicionamiento y aseguramiento del panel sobre la estructura de la máquina; posteriormente, un sistema de ventosas se ubica sobre el panel para aplicar vibraciones sobre este y empleando el principio de resonancia, desprender el marco del módulo laminado. En la figura 16 se esquematiza el diseño de la máquina, identificando 4 partes correspondientes a los principales sistemas que hacen parte de esta propuesta. Este proceso requiere de un paso para lograr el objetivo principal [5].

Cizalladura hidráulica: el proceso inicia ubicando el panel para activar el sistema de sujeción por medio de vacío con ventosas. Seguidamente se activa un sistema hidráulico, permitiendo el avance de una mordaza que agarre el marco, y posteriormente con el retroceso del cilindro se desprende el marco venciendo la resistencia a la cizalla de la unión entre el marco y el módulo laminado [5].

Pinzas desgarradoras: este proceso se parece mucho al descrito anteriormente, la diferencia radica en que para este caso se debe vencer la resistencia al pelado de la unión entre el marco y el módulo laminado. El mecanismo consiste en dos pizas que se ubican primero en la sección superior e inferior del marco para desagarrarlo y luego de un giro de 90° del mecanismo, retirar las dos secciones faltantes. (PhD, 2021). Posteriormente el proyecto da como finalidad aprovechar el aluminio de los paneles solares, realizando un proceso de reciclaje y



reutilización, donde se evidencia que este metal representa un ingreso alto en nuestro país [5].

#### E. ESTUDIO ECONÓMICO DE LA REUTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES EN PEQUEÑAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

Otras de las alternativas dadas por el congreso Iberoamericano de energía solar, dispone el “el estudio económico de la reutilización de paneles solares en pequeñas instalaciones fotovoltaicas” donde se deduce que si disponemos del espacio necesario para poder instalar la potencia necesaria en paneles reutilizados, resulta más económico, rentable y se obtienen mayores beneficios al instalar paneles reutilizados, al menos en instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo de hasta 20 kW (límite de potencia de este estudio). [6]

Presupuesto total	6.494,07 €
Fondos propios (20%)	1.298,81 €
Préstamo (80%)	5.195,26 €
Tipo de interés	2,00%
Años Crédito	10
Forma de liquidación	Amortización Lineal

Figure 6 Supuesto financiación instalación de 5 kW paneles nuevos

Los resultados económicos que fueron objeto de estudio, da como resultado que al reutilizar los paneles solares disminuimos los costos de instalación y son capaces de abastecer el total de las necesidades energéticas de consumo de la misma forma que una instalación de paneles nuevos. Es decir, a partir de paneles reutilizados se consiguen valores de producción energética muy semejantes a los obtenidos mediante módulos nuevos. Lo mismo ocurre con los excedentes. [6]

#### F. ¿LA ENERGÍA SOLAR CONTAMINA MÁS DE LO QUE CREE?

Finalmente, dentro de muchas de las iniciativas que proponen las empresas o diferentes organizaciones para idear una solución adecuada a los problemas ambientales de la energía solar, encontramos un estudio realizado por Alejandra Ramírez Agudelo sobre el “análisis y propuestas para la disposición final de paneles solares fotovoltaicos en Colombia”, en este estudio se analiza diferentes maneras en que se puede dar un uso adecuado a este método de energía renovables, los cuales son:

- Desarrollo de programas, campañas o estrategias de educación ambiental, sensibilización y, participación, para promover la apropiación e implementación efectiva de la Política nacional para la gestión integral de RAEE, con el fin de generar un cambio progresivo en la sociedad colombiana hacia la producción y el consumo responsable de aparatos eléctricos

y electrónicos. La meta de esta línea de acción es llegar al menos al 50% de los municipios del país en el año 2032 con estos programas, campañas o estrategias.

- Desarrollo de lineamientos técnicos ambientales para la realización de actividades de extensión de la vida útil de los aparatos eléctricos y electrónicos, tales como el reacondicionamiento o la remanufacturado. La meta es elaborar una guía de orientación en el corto plazo.

- Desarrollo de criterios o requisitos técnicos sobre la información que deben suministrar los productores a los usuarios o consumidores de aparatos eléctricos y electrónicos, especialmente cuando estos contengan sustancias peligrosas y sobre su correcta devolución al final de su vida útil, con el fin de prevenir y reducir los riesgos para la salud humana y para el ambiente. La meta es desarrollar un instrumento técnico sobre la información que debe ser suministrada a los consumidores de aparatos eléctricos y electrónicos, en las etiquetas, envases o anexos de los productos y en medios electrónicos de fácil acceso para los consumidores y productores en el corto plazo.

- Levantar información estadística sobre los hábitos de consumo de aparatos eléctricos y electrónicos por parte de los colombianos, que permita realizar estimaciones sobre la generación de RAEE en el país. La meta es el diseño y aplicación de un instrumento de captura de información y estimación de la generación de RAEE en el mediano plazo. (Ramirez, 2018).

Por otra parte, los consumidores pueden ayudar a impulsar a los fabricantes para que mejoren sus registros ambientales y de seguridad al preguntarle a los instaladores sobre las compañías que fabrican los productos que utilizan. Esto, a su vez, estimularía a los instaladores a pedir más información a los fabricantes.

Por ahora, algunas organizaciones como el Centro para la Red Internacional de Información sobre Ciencias de la Tierra están tratando de establecer algún medio para determinar el desempeño ambiental, de salud y de seguridad de los fabricantes en los países en desarrollo. Este grupo, que incluye a investigadores de Yale y Columbia, propuso el Índice de Desempeño Ambiental, que operaría a nivel mundial para ayudar a los países a rastrear el progreso hacia objetivos de política ambiental. [7]

#### G. GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE SILICIO

De acuerdo a la revisión académica realizada se ha podido encontrar que en general los paneles solares suelen tener una vida útil de entre veinte a veinticinco años y que por su forma de construcción no es factible repararlos, este es el problema que aborda el Ingeniero Rony Herrarte en su trabajo de grado GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS DE SILICIO; en su documento expone la situación en Guatemala donde estima que en los próximos años habrá un gran volumen de paneles solares desechados puesto que en el país no existe plan alguno de reciclaje de estos equipos.

El problema de no realizar una correcta disposición final de los paneles solares acarrea problemas de contaminación ambiental puesto que estos contienen silicio o telurio de cadmio los cuales

son componentes tóxicos y pueden afectar a personas y animales. [8]

Actualmente los paneles solares se encuentran categorizados como residuos generales y son escasos los países que cuenten con una categorización más específica de estos. Sin embargo, sí existen algunos modelos de reciclaje debido a que por ejemplo en la Unión Europea se les exige a los fabricantes cumplir con ciertos estándares de fabricación para que el proceso de deposición final sea más sencillo de realizar. Esto ha logrado consolidar algunos procesos de reciclaje en concordancia con los tipos de paneles solares mayormente fabricados.

A grandes rasgos estos procesos consisten en un despiece mecánico donde se logra extraer gran parte de la estructura del panel, de aquí se logra separar el vidrio y aluminio, que constituyen gran parte del panel. El material restante pasa a ser calentado hasta aproximadamente 500 grados centígrados en una unidad de procesamiento térmico para facilitar la separación de cada compuesto. Luego es posible extraer la parte electrónica, según el documento el 80% de un panel es fácilmente recuperable y reutilizable, y el porcentaje restante requiere un proceso aún más refinado pero también se puede reutilizar

El silicio de estas placas que se conoce como obleas se pueden reutilizar después de un baño en ácido para su limpieza y las piezas que se encuentren rotas se pueden fundir y generar nuevas obleas que poder ser usadas en nuevos paneles fotovoltaicos [8].

El trabajo del Ingeniero Herrarte se enfoca en realizar el proceso manual de desmantelamiento de dos paneles solares y aplicar distintos métodos de calentamiento para extraer los materiales.

	Peso muestra (g)	Porcentaje	Panel JINKO (g)
Aluminio	479	14.7 %	3897.5
Vidrio	2444	75.1 %	19888.8
Silicio	86	2.6 %	701.3
Metal	29	0.9 %	239.7
EVA	13	0.4 %	104.7
PVF	170	5.2 %	1383.2
Caja conexión	35	1.1 %	284.8
Panel completo	3257	100.0 %	26500

Figure 7 material del panel

También encontró que el material como el vidrio suele estar contaminado con arsénico aunque en muy bajas cantidades pero que debido a esto ha de tratarse como un desecho toxico.

Componente	Reutilización	Reciclaje	Vertedero	Desecho tóxico
Obleas de silicio	No	Sí	Sí	No
Vidrio	No	No	No	Sí
Barras colectoras	No	No	No	Sí
Marco de aluminio	Sí	Sí	Sí	No
Caja de conexión	Sí	No	Sí	No
EVA	No	No	No	No
PVF	No	No	Sí	No

Figure 8 material del panel

Con el trabajo realizado y de acuerdo a la experiencia obtenida se desarrolló un sistema de gestión integral de los paneles solares en desecho:

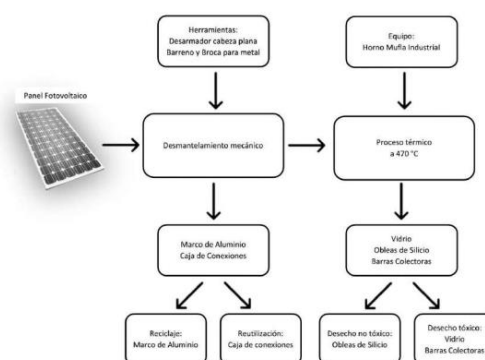


Figure 9 sistema de gestión integral de los paneles solares en desecho

## IV. CONCLUSIONES

- la terminando el análisis podemos concluir que el reciclaje deja constancia que la parte más provechosa y de hecho la más sencilla consiste en la extracción del aluminio, pues es el segundo elemento más abundante después del vidrio y que a diferencia de este no entra en contacto con elementos tóxicos.
- Por otro lado, se concluye la industria FV tiene una gran oportunidad de crecimiento en los años venideros. Esta oportunidad, deberá aprovecharse no solo en términos de producción energética, sino para lograr un ciclo sostenible de producción fotovoltaica, apoyando proyectos de producción y reciclaje de módulos FV, haciendo del ciclo de vida de los paneles uno más eficiente, sostenible y autosuficiente.

## V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. M. A. Tejada, «ANÁLISIS Y PROPUESTAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA,» de *ANÁLISIS Y PROPUESTAS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE*

- PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS EN COLOMBIA*, envigado, 2018, p. 58.
- [2] M. R. Escudero, *Una mirada al futuro del reciclaje de paneles*, madrid, 2016.
- [3] S. E. R. Blanco, *Plan de manejo para disposicion final ne los paneles solares de energia integral andina*, bogota, 2018.
- [4] J. P. R. CAMPOS, *ANÁLISIS CICLO VIDA Y ECONÓMICO APLICADO A LA REUTILIZACIÓN Y*, santiago, 2019.
- [5] J. C. R. ROLDÁN, *DISEÑO DE UNA MÁQUINA QUE PERMITA LA SEPARACIÓN DEL MARCO DE ALUMINIO DE PANELES SOLARES MONOCRISTALINOS DE 60-72 CELDAS QUE*, bogota, 2021.
- [6] M. O, *ESTUDIO ECONÓMICO DE LA REUTILIZACIÓN DE PANELES SOLARES EN PEQUEÑAS*, Valladolid, 2019.
- [7] ¿. E. S. C. M. D. L. Q. CREES?, *¿LA ENERGÍA SOLAR CONTAMINA MÁS DE LO QUE CREES?*, españa, 2020.
- [8] R. J. H. Estevez, *GESTIÓN INTEGRAL DE DESECHOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE silicio*, GUATEMALA, 2020.
- [9] Ehow Contributor, «ehow,» [En línea]. Available: [http://www.ehowenespanol.com/enfocar-microscopio-como\\_39337/](http://www.ehowenespanol.com/enfocar-microscopio-como_39337/).
- [10] J. P. R. CAMPOS, *ANÁLISIS CICLO VIDA Y ECONÓMICO APLICADO A LA REUTILIZACIÓN Y*, santiago, 2019.
- [11] solirsa, - *Reciclaje de residuos electrónicos en Costa Rica*, costa rica, 2017.