

Estudio de contaminación ambiental de los paneles fotovoltaicos después del ciclo de vida útil**End-of-Life Environmental Pollution Study of Photovoltaic Panels***Luis Franklin Maldonado Holguin***CIENCIA, TECNOLOGÍA Y
SOCIEDAD****Julio - diciembre, V°7 - N°2; 2026****Recibido:** 22-07-2026**Aceptado:** 23-07-2026**Publicado:** 25-07-2026**PAIS**

- Ecuador, Guayaquil

INSTITUCION

- Universidad Estatal de Milagro

CORREO:✉ lmaldonadoh@unemi.edu.ec**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0002-7798-4653>**FORMATO DE CITA APA.**

Maldonado, L. (2026). Estudio de contaminación ambiental de los paneles fotovoltaicos después del ciclo de vida útil. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°2). Pág. 1670 – 1704.

Resumen

Estudio de contaminación ambiental de los paneles fotovoltaicos después del ciclo de vida útil. La generación de energía eléctrica por paneles FVs tiene una demanda que está en crecimiento, igual lo que sucedió con el petróleo y el plástico, pero con la diferencia que en la actualidad si se están preocupando por los efectos del medio ambiente después del tiempo de vida útil. En la actualidad la cantidad de paneles desechados es relativamente baja alrededor de 250 mil de toneladas, pero se espera que para el año 2050 serán 78 millones. A pesar de que no se puede utilizar todos los materiales recuperados solo el hecho que no vayan a un vertedero es un alivio para el medio ambiente, algunos materiales son tóxicos y no biodegradables como el plomo, cadmio y silicio, la recuperación de estos materiales disminuyen la huella de carbono debido a que disminuirán la extracción en la minas de cielo abierto porque las maquinarias que consumen grandes cantidades de combustibles, en la actualidad solo una fracción de las instalaciones tienen tecnologías para recuperar materiales valiosos, y la mala gestión puede provocar que en los vertederos se puedan generar filtraciones de sustancias tóxicas que van a ir directamente al suelo y acuíferos. El efecto que tienen los paneles Fvs, sobre la disminución de los gases de efecto invernadero se verá reflejada a medida que se incrementa el uso de estos es por este motivo que los países estén adoptando políticas y programas para incentivar el uso de paneles FVs.

Palabras clave: Reciclaje, fotovoltaicos, medio ambiente, huella de carbono.**Abstract**

The demand for electricity generation through PV (photovoltaic) panels is steadily growing, mirroring the historical trajectories of oil and plastic. However, the defining difference today is the proactive concern regarding their environmental impact once their useful lifespan ends. Currently, the volume of discarded panels remains relatively low—at around 250,000 tons—but this figure is projected to skyrocket to 78 million tons by the year 2050. Even though not all recovered materials can be completely reused, simply preventing them from reaching landfills is a massive relief for the environment. Some of these components, such as lead, cadmium, and silicon, are toxic and non-biodegradable. Recycling them significantly reduces the overall carbon footprint by curbing extraction activities in open-pit mines, which rely heavily on heavy machinery that consumes massive amounts of fuel. At present, only a fraction of specialized facilities possess the technology required to recover these valuable materials. Poor waste management risks causing toxic substances to leach within landfills, seeping directly into the soil and aquifers. Ultimately, the positive impact of PV panels on mitigating greenhouse gas emissions will become increasingly visible as their adoption expands. This is precisely why countries worldwide are actively implementing policies and programs to incentivize the widespread deployment of PV technology.

Keywords: Recycling, photovoltaics, environment, carbon footprint.

Introducción

Los inicios de la industria petrolera moderna, que tuvieron su origen a mediados del siglo XIX en Pensilvania Estados Unidos. Luego nos muestran la aparición de Rockefeller en el negocio haciendo hincapié en su desmedida ambición y la manera como la producción de automóviles en masa en el inicio del siglo XX dio impulso a los productos derivados del petróleo. En los últimos 100 años, el petróleo ha afectado a casi todos los rincones de la vida humana en casi todas las regiones del mundo. (Beaurenaut, J.P. y Billon, 2005)

Si bien esto fue un avance en la industrialización nadie para ese entonces se preocupó por las repercusiones ambientales que se generaron con efectos catastrófico en la actualidad, efectos que todavía se sienten. Entre los más graves tenemos desastres ambientales que atentan contra la biodiversidad se encuentran los derrames de petróleo en ríos, mares y océanos lo que provoca muerte de las biopiedades, además de los efectos que generan los gases de combustión que producen los combustibles como el Diesel, gasolina, y otros.

En la actualidad el plástico forma parte de nuestras vidas debido a que este tienen múltiples ventajas como son su resistencia, versatilidad, resistencia ser impermeables, fácil manejo y poco peso, lo que ha permitido desarrollar productos muy variados como fundas de diversas características de resistencia y medidas, envases plásticos de diversas características, botellas para bebidas gaseosas y jugos algunos tipos reutilizables y otros desechables, y se podría enumerar muchos más.

A nivel mundial el sector industrial del plástico es uno de los sectores productivos más relevantes por generar empleo, satisfacer necesidades, solucionar problemas sanitarios entre otros; sin embargo, también genera un alto impacto negativo al ambiente lo que provoca problemas para el ser humano y las demás especies de flora y fauna, no solo

en su fabricación (debido a la emisión de gases de efecto invernadero) sino también por los residuos plásticos generados por décadas que hoy en día contaminan ríos, laderas, quebradas, océanos, y otros ecosistemas marinos y terrestres.(Portilla-Jiménez, 2022)

El crecimiento de la producción de plásticos en los últimos 65 años superó a cualquier otro material fabricado. Se estima que cerca de 8300 millones de toneladas métricas (Mt) de plásticos vírgenes se han producido hasta la actualidad. (Portilla-Jiménez, 2022)

Se hace énfasis en estos dos hechos porque tienen algo en común y es que nadie se preocupó desde sus inicios de las repercusiones ambientales, reaccionaron después de que la contaminación nos desbordara, se han realizados avances en el control de la contaminación que siguen siendo poco eficientes debido a que la producción de combustible y plástico no se detiene, sino que va en aumento.

La electricidad es uno de los elementos indispensables para la vida cotidiana su generación se da por diversos medios como son las plantas termoeléctricas que generan gran contaminación, se han desarrollado energías alternativas priorizando la disminución del impacto ambiental, una de las alternativas que se promocionan es la generación de electricidad a través de celdas fotovoltaicas que utilizan la energía solar y que la convierte en energía eléctrica.

La energía solar, además de ser renovable, es infinita, lo que la convierte en una de las energías más importantes en la actualidad y que se espera que tenga un papel fundamental en los próximos años dentro del proceso de transición energética (Sofía Rodríguez Buñuel, 2022)

La generación de energía eléctrica a partir de celdas fotovoltaicas inicio a partir de los años 1950 y comenzó a tener más relevancia en partir del 2000, desde sus inicios la tecnología ha mejorado constantemente a tal punto que en la actualidad los paneles solares tienen una vida útil de 25 a 30 años, después de su vida útil estos podrían acabar en los vertederos como desperdicios lo cual representaría un problema muy serio, los plásticos acabarían en el medio ambiente, los metales valiosos se desperdiciarían y reciclar ahorraría emisiones.

Las primeras aplicaciones terrestres del fenómeno FV comienzan en 1972. Desde esa fecha, una sucesión de nuevos procesos industriales, junto con la expansión del mercado de consumo, permitieron una drástica reducción del costo inicial de los paneles generadores (más de 100 veces desde su debut espacial). A pesar de ello el uso extensivo de los sistemas FVs en lugares del planeta que carecen de electricidad no ha alcanzado el nivel requerido. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), se estima que casi 1.500 millones de seres humanos carecen de electricidad en el planeta. Considero que existen tres factores que contribuyen a retardar su difusión: bajos ingresos, falta de crédito y carencia de conocimientos tecnológicos por parte de los presuntos consumidores. (Cardozo Piña, 2014)

El estudio del ciclo de vida de los paneles solares al realizarlo de manera integral los efectos que genera en el ambiente en cada una de las etapas, es importante para establecer la real huella ecológica de los sistemas de paneles fotovoltaicos y plantear estrategias que mejoren su sostenibilidad. La energía limpia y renovable ayuda, entre otras cosas, a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y requiere poco mantenimiento durante la vida útil de la inversión en comparación con otras formas de generación de energía. ¿Qué pasa cuando les toca ir al 'desguace'? Lógicamente no

podemos llenar los vertederos de paneles, sobre todo con los millones de toneladas que pueden suponer en desechos.

Metodología

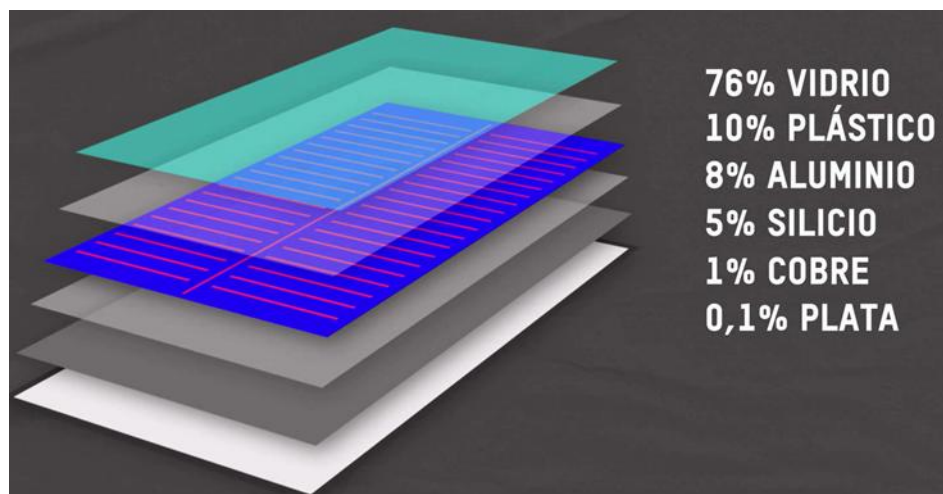
Esta investigación se caracteriza por ser de tipo descriptivo y analítica, ambos tipos de metodología se estudian a través de información numérica que están referidos a datos de estudios ambientales, que se valoraron y se descifraron de impactos frecuentes referentes al ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos. Es una investigación descriptiva y analítica que está basada en fuentes establecidas y que son de carácter comparativo, enfocadas a identificar los efectos coligados a esta tecnología en cada una de sus partes.

Reciclaje:

En los últimos años, las energías renovables han sido la opción más viable para reemplazar a los combustibles fósiles y ayudar a mitigar el deterioro ambiental que estos han provocado. Dentro de las energías renovables se encuentra la energía solar fotovoltaica (SFV), la cual aprovecha la energía del Sol para producir energía eléctrica por medio de paneles solares. (González Ramírez, 2023)

Composición media: La composición media de un módulo fotovoltaico incluye un 76% de vidrio, 10% de plástico, 8% de aluminio, 5% de silicio, 1% de cobre y 0.1% de plata siendo esta pequeña cantidad es la más importante de los materiales a extraer, pero esto primero hay que separar el cobre y el vidrio:

Figura 1. Componentes principales de un panel FV



Análisis de resultados

En el año 2020 la Agencia Internacional de la Energía proclamó a la energía solar fotovoltaica como la nueva reina del mercado eléctrico a nivel mundial. Apoyándose en su carácter renovable, su bajo coste y su reducido impacto ambiental, la Agencia sitúa, en todos sus escenarios, a la fotovoltaica como la tecnología más instalada en las próximas décadas. (Labanda, 2021)

Una de las ventajas de este tipo de tecnología es el poco impacto ambiental que se genera, hay que considerar la disposición final de todos los componentes de sus instalaciones después del tiempo de vida útil.

Los módulos fotovoltaicos tienen una vida útil de aproximadamente 25-30 años por lo que para los países pioneros en esta tecnología, como España, la primera generación de parques solares (instalados en la década de los 2000) llegará pronto al final de la vida útil. (Labanda, 2021)

Una investigación realizada por el CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), en colaboración con la Universidad Politécnica de Madrid y publicado en la revista científica *Resources*, ha analizado por primera vez la generación proyectada de residuos fotovoltaicos en los 27 Estados miembro de la Unión Europea. Los resultados muestran con claridad que Alemania, Italia, España y Francia serán los principales generadores de residuos de paneles solares en Europa de aquí a 2050. Alemania, Italia y España: los mayores generadores de residuos solares en Europa (CoCircular, s.f.)

El estudio, titulado *Photovoltaic Waste Generation in the Context of Sustainable Energy Transition in EU Member States*, toma como base los Planes Nacionales de Energía y Clima (NECPs) presentados en 2023 y contempla distintos escenarios de degradación tecnológica para calcular el volumen de residuos anuales y acumulados. (CoCircular, s.f.)

Las revisiones muestran un aumento sustancial en la cantidad de residuos generados en Europa. Se prevé que Lituania e Irlanda enfrenten desafíos significativos, particularmente en el escenario de pérdida temprana, mientras que Alemania, Italia, Francia y España continúan siendo los países que generarán la mayor masa de residuos fotovoltaicos en Europa. Estos hallazgos enfatizan la necesidad de formular e implementar estrategias efectivas de gestión de residuos para abordar el aumento de la generación de residuos fotovoltaicos y mitigar su impacto ambiental. Además, el estudio subraya la necesidad de reevaluar las proyecciones para acomodar las políticas y objetivos energéticos en evolución, asegurando la alineación con los objetivos de sostenibilidad en este campo dinámico. (Nieto Morone et al., 2025)

Ranking de generación de residuos fotovoltaicos proyectada (en kilotoneladas acumuladas hasta 2050):

Alemania: 6.500 ktons

Italia: 2.600 ktons

España: 1.900 ktons

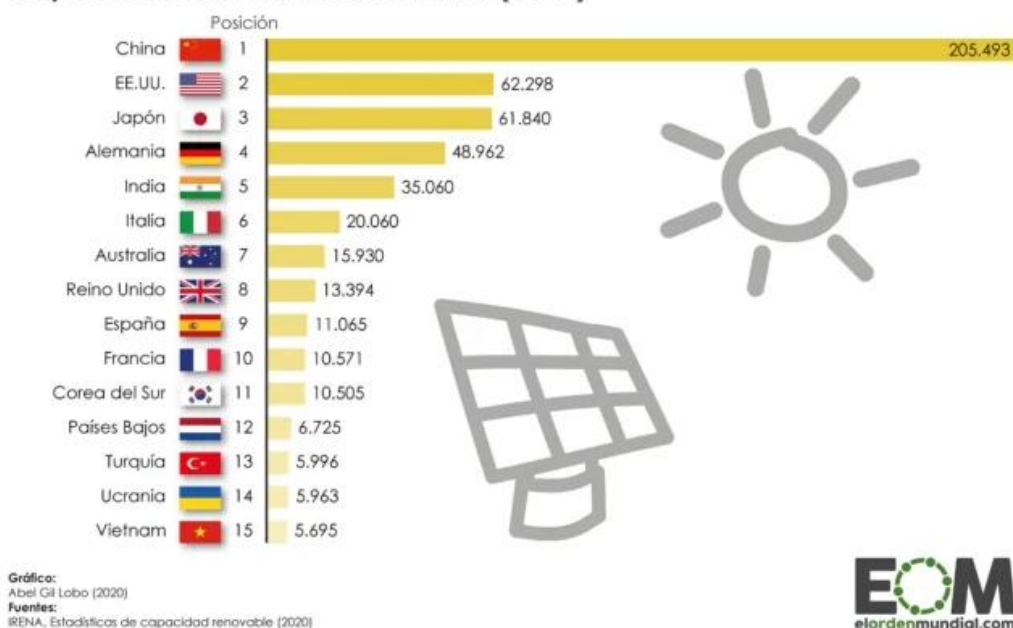
Francia: 1.900 ktons

Bélgica: <500 ktons

Figura 2. Capacidad instalad de paneles FVs en países de mayor demanda de MW hasta el año 2019

Potencias fotovoltaicas

Capacidad total instalada en MW (2019)



El reciclaje de los paneles solares fotovoltaicos aumenta el interés a nivel mundial a nivel empresarial y del público en general exigiendo que se cumplan las normativas ambientales y aplicando la economía circular.

A nivel mundial, el Programa de Sistemas de Energía Fotovoltaica de la Agencia Internacional de Energía (IEA PVPS) e IRENA [2] estimaron el residuo proveniente de módulos fotovoltaicos hasta 2030 en un rango de 1,7 millones de toneladas (early loss) y 8 millones de toneladas (regular loss) acumuladas. (Labanda, 2021)

Aunque las cifras puedan parecer lejanas, un estudio advierte que la ola de residuos comenzará a partir de 2040, cuando miles de instalaciones fotovoltaicas empiecen a alcanzar el fin de su vida útil. Este fenómeno afectará especialmente a los sistemas instalados entre 2010 y 2020, un periodo en el que muchos países aceleraron sus objetivos de capacidad solar. Además, se han considerado dos escenarios de degradación: uno estándar y otro de pérdida temprana. En este segundo caso, los volúmenes de residuos aumentan significativamente, lo que pone de relieve la importancia de fomentar tecnologías más duraderas y resistentes. (CoCircular)

Los paneles solares son reciclables, se fabrican a base de una combinación de vidrio, aluminio y plástico (productos que se reciclan habitualmente en cantidades masivas). Respecto al vidrio y el aluminio, han demostrado ser altamente reciclables. De hecho, ambos componentes constituyen el 85% de la masa del panel solar y son relativamente fáciles de recuperar. Pero, ¿qué pasa con el plástico? Ya sabemos que se recicla con poca frecuencia a la par que es un material menos valioso. En esencia, el problema radica en separar los materiales. Los polímeros y componentes electrónicos de los paneles solares también se pueden reciclar, pero extraer cada uno de los materiales de los que está compuesto puede ser tedioso y muchas veces precisar de maquinaria avanzada. (Romero, 2021)

Los paneles solares también llamados placas o módulos solares se componen de numerosas celdas fotovoltaicas conectadas entre sí el 95% de estas celdas se fabrican con

silicio que se obtienen del cuarzo, la arena del cuarzo se funde y purifica, el silicio resultante se corta en finas laminas llamadas obleas que luego se cubren o dopan con materiales conductores una oblea con boro y otra con fosforo. Los paneles solares están contruidos por varios componentes principales que se deben separar durante el proceso de reciclaje, hay vidrio templado en la parte delantera, células solares con silicio, plata y cobre, adhesivo termoplástico que une todo, una parte trasera que une todo, y un marco de aluminio.

En el reciclaje el primer inconveniente es la separación del plástico, el problema está en los adhesivos que están en todas las celdas del panel, además que antes de llegar hasta las celdas solares debido existen diversos tipos de polímeros y diferentes capas por lo que el primer paso será deshacerse del plástico lo cual no es sencillo la empresa ROSI que se encuentra en los Alpes franceses ha diseñado un sistema para reciclar y el primer paso consiste en trasladar los paneles solares a un horno donde son incinerarlos hasta los °400C en la cual el plástico se vaporiza esta gas es filtrado por 5 etapas de tal manera que al final solo se emite CO₂ y vapor de agua al ambiente y el tiempo tiene una variación de 11/2 y 6 horas.

Los residuos de un panel solar pesan aproximadamente 20 kilos donde se puede apreciar el cristal, las láminas de silicio y conectores de cobre para poder separar estos elementos se separan por máquinas de separación de materiales habiendo separado estos materiales estos son sometidos entre 5 y 8 baños químicos aquí es donde se separa el silicio de la plata, la plata se encuentra en finas líneas de los paneles solares que es la que permite que la electricidad esté disponible de uso directo o almacenada en las baterías, con esta mezcla de procesos térmico, mecánico y químicos con este procedimiento ROSI afirma que puede recuperar el 99% del vidrio, aluminio y cobre, el 90% del silicio y 95% de la plata

Un 80% de los módulos que han cumplido su vida útil terminan en los vertederos y uno de los componentes que son los plásticos que van a parar en los vertederos además de los adhesivos que no permiten desprenderse las diferentes capas de una manera sencilla.

Uno de los métodos más idóneos para poder separar los adhesivos y plásticos es utilizando hornos que operan a 400 °C y 6 horas convirtiendo los adhesivos y plásticos en gas.

Modelo de degradación para módulos solares fotovoltaicos

La degradación del rendimiento de los módulos fotovoltaicos (PV) influye en varios parámetros cruciales para su funcionamiento. Una evaluación errónea de esta degradación conduce a predicciones de energía inexactas y a la generación de residuos. Por lo tanto, para una estimación fiable de la vida útil de los módulos fotovoltaicos, es esencial desarrollar un modelo estadístico preciso que represente eficazmente su proceso de degradación. (Nieto Morone et al., 2025)

Aunque los estudios contemporáneos de fiabilidad buscan alcanzar vidas útiles de hasta 50 años, las herramientas actuales de evaluación carecen de precisión a la hora de evaluar procesos de degradación y posibles modos de fallo durante períodos prolongados. Se argumenta que existe una necesidad urgente de acelerar el ciclo de aprendizaje establecido para la fiabilidad de la fotovoltaica para alinearse con el rápido progreso tecnológico y las expectativas elevadas que se han puesto sobre los sistemas fotovoltaicos durante la transición energética global. (Nieto Morone et al., 2025)

Contradicciones en la Economía Circular y la Gestión de Residuos

La economía circular se plantea como un enfoque que reorganiza el uso de materiales mediante estrategias como la reutilización, el reciclaje, el ecodiseño y la

sustitución de materias primas. El análisis de ciclo de vida se ha empleado para evaluar la cadena de suministro fotovoltaica y comparar su impacto ambiental con otras tecnologías de generación eléctrica. (Aguirre Osorio et al., 2025; Parlamento Europeo, 2012)

Los paneles fotovoltaicos, son necesarios para generar una transición energético saludable para el medio ambiente, generan retos muy grandes para la economía circular y gestión de residuos. La vida media de 25-30 años provocara un significativo aumento de paneles FVs que alcanzara su ciclo final de vida útil, que provocara que se incremente en gran medida las necesidades de buscar soluciones sostenibles

La economía circular siempre tropieza con problemas técnicos y tecnológicos debido a que los paneles FVs están diseñados y contruidos para soportar un tiempo de vida útil de hasta 30 años, los diversos elementos que componen un panel FVs presentan una gran complejidad en el desmontaje. Como ya se ha descrito están formados por materiales como vidrio, aluminio y metales raros, que necesitaran procesos muy avanzados para su separación y posterior reciclaje. En la actualidad se puede recuperar hasta el 90 % de esos materiales existen en desarrollo tecnologías como de la empresa francesa ROSI que puede recuperar hasta el 99%.

No hay suficiente infraestructura para el reciclaje por lo que los costes son elevados esto a que todavía no existen suficientes paneles FVs para su reciclaje, pero dentro de pocos años talvez unos 10 años tendremos los suficientes para mantener una las plantas de reciclaje y de esa manera disminuir los costes.

Impacto legal y normativo:

La Directiva RAEE (Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos)

Desde el año 2012, la Unión Europea incluyó oficialmente a los paneles solares fotovoltaicos en la Directiva 2012/19/UE (conocida como Directiva RAEE). Esto significa que, a nivel legal, los paneles solares se consideran aparatos eléctricos y deben tratarse con el mismo rigor que un electrodoméstico o un ordenador cuando dejan de funcionar. (Sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), 2012)

Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP): Esta normativa tiene como principio la Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP).

Esto quiere decir que todos los que estén involucrados desde los fabricantes, importadores y distribuidores que son los responsables de introducir los paneles solares en el mercado europeo, por lo tanto son los responsables legal y financieramente de gestionar su reciclaje. Una de la forma que las empresas se suelen agruparse en Sistemas Colectivos de Responsabilidad Ampliada (SCRAP), como PV CYCLE en Europa, y estos se harán cargo de recoger y reciclar los paneles en nombre de los fabricantes.

Estas limitaciones plantean un reto para maximizar el valor de los recursos existentes y minimizar el impacto ambiental.

Discusión

En la actualidad en los países que presentan deficiencias en la generación de energía eléctrica y también tratan de cambiar la matriz energética, para mejorar el déficit y comenzar a cambiar la matriz energética se promociona la utilización de paneles fotovoltaicos pero lo que no se menciona es su impacto ambiental después de su vida útil, en Europa hay mucha preocupación por lo que ellos ya implementaron normativas ambientales para esto.

En ciertos países como en el Ecuador se están desarrollando proyectos de energía fotovoltaicas, este paquete aportará aproximadamente 536 MW al Sistema Nacional Interconectado (SNI) y se distribuirá en las provincias de Pichincha, Loja y Chimborazo.

No se puede asociar al aumento de costo el tema de reciclaje debido a que en Europa el costo del reciclaje ya está considerado en el costo de fabricación y por lo general ya está incluido en el PVP a través de una tasa que es muy pequeña, por lo tanto, los usuarios finales no deberán pagar ninguna tasa adicional por retiro y reciclaje de los paneles solares después de su vida útil.

Conclusiones

Directiva 2012/19/UE (conocida como Directiva RAEE) es aplicable y rige en Europa cada país miembro realiza cambios de acuerdo a su legislación, pero nunca podrán variar la esencia de la normativa europea ósea que son cambios menores, en los países que no construyen paneles FVs debemos elaborar normas que obligue a las empresas que distribuyan y vendan estos paneles a retirarlos y reciclarlos.

El reciclaje de paneles FVs permite que recuperemos gran parte de los materiales y lo reutilicemos en otros productos disminuyendo la dependencia de materiales y promoviendo sostenibilidad, disminuyendo la dependencia de recursos naturales.

El reciclaje de paneles Fvs definitivamente disminuirá la contaminación ambiental es por esto importante que las normativas para reciclaje no sean solo a nivel regional como Europa sino global, favoreciendo al medio ambiente y beneficios económicos a largo plazo.

Referencias bibliográficas

- Aguirre Osorio, A. X., Coronado Mendoza, A., Sulbarán-Rangel, B. S.-R., Solís Tenorio, A. M., & Romero Arellano, V. H. (2025). Economía circular en la industria solar fotovoltaica, un camino hacia la sustentabilidad. *Energías Renovables*, 12(57). <https://doi.org/10.59730/rer.v12n57a2>
- Beaurenaut, J.P. y Billon, Y. (directores). (2005). Historia del petróleo. Asociación Española de Historia Económica.
- Cardozo Piña, A. (2014). Cálculo y Diseño de Sistema Solar Fotovoltaico para Uso Doméstico. Universidad Nacional Autónoma de México.
- González Ramírez, Y. N. (2023). Reuso y reciclaje de paneles solares: una tarea pendiente en México. *Energías Renovables*, 8(47). <https://doi.org/10.59730/rer.v8n47a5>
- Nieto Morone, M. B., García Rosillo, F., Muñoz-García, M. Á., & Alonso-García, M. del C. (2025). Photovoltaic Waste Generation in the Context of Sustainable Energy Transition in EU Member States. *Resources*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/resources14030037>
- Parlamento Europeo. (2012). Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo. Diario Oficial de La Union Europea.
- Portilla-Jiménez, J. G. (2022). Análisis del Marco Normativo de Economía Circular en Ecuador Orientado al Sector de los Plásticos. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 13(1). <https://doi.org/10.29166/revfig.v13i1.3364>
- Romero, S. (2021). Mundo sostenible: Reciclaje de paneles solares: cuando una fuente de energía es “limpia” de verdad. *El Confidencial*.
- Sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), Directiva 2012/19/UE/ (2012).
- Sofía Rodríguez Buñuel. (2022). ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los paneles solares? *Solfy*.
-