



Task 12 PV Sustainability

S
P
V
P

HOJA INFORMATIVA

Economía Circular en Fotovoltaicos

FEBRERO 2024

Managers de Task 12:
Garvin Heath, NREL, USA
Etienne Drahi, TotalEnergies, France



Economía circular

es un sistema industrial que se caracteriza por ser:

-  **restaurativo:** reemplaza el concepto de fin de vida útil
-  **regenerativo:** fomenta el uso de energías renovables y elimina residuos y químicos tóxicos.

Estrategias de la Economía Circular

La industria fotovoltaica (FV) aún no ha alcanzado una economía circular (EC), pero está en camino hacia una mayor circularidad. En el desarrollo de nuevas tecnologías, hay que considerar todas las estrategias de EC, incluyendo sus aspectos económicos, ambientales y normativos.

Uso y Fabricación de Productos Más Inteligentes

- R0 Rechazar**
Evitar el uso de materiales tóxicos o críticos y eliminar residuos.
- R1 Repensar**
Diseñar y gestionar productos para maximizar su uso y funcionalidad.
- R2 Reducir**
Reducir el consumo de materiales vírgenes y minimizar los desechos.

Extender la Vida Útil del Producto y sus Componentes

- R3 Reutiliza**
Reutilizar el producto por un segundo usuario para el mismo fin
- R4 Reparar**
Reparar componentes defectuosos, rotos o en mal estado.
- R5 Renovar**
Mejorar las condiciones de funcionamiento, calidad o funcionalidad de productos con múltiples componentes
- R6 Remanufacturar**
Uno o más componentes son usados nuevamente en un producto con la misma función.
- R7 Reutilizar**
Uso del producto o sus componentes para un propósito distinto

Recuperación

- R8 Reciclar**
Recuperar materiales del producto, aunque estos no conserven su estructura original.
- R9 Recuperar**
Recuperar energía de los desechos generados al final de la vida útil de un producto.

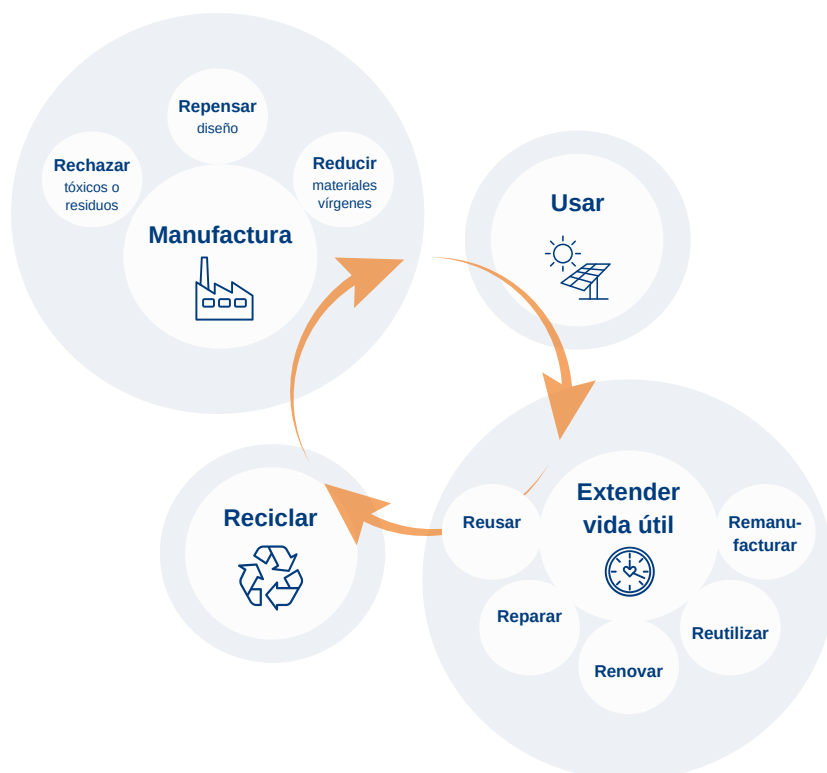


Reciclaje de Paneles Fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos tienen **una larga vida útil**, y las estrategias para diseñarlos y fabricarlos de manera duradera son maneras efectivas de evitar residuos. Aunque los diseños innovadores tardan en llegar al mercado, pueden aplicarse soluciones que **extiendan la vida útil de los módulos** en uso, un enfoque más ambientalmente responsable que el reciclaje inmediato. Muchos módulos pueden **reutilizarse** y existen mercados donde pueden ser adquiridos para un segundo uso, incluso si requieren reparación o reacondicionamiento. Sin embargo, si no pueden reutilizarse, los módulos pueden **reciclarse**.

Los módulos fotovoltaicos son reciclables

- Instalaciones de reciclaje operan a escala comercial en varios países.
- Estas empresas llevan años operando, y los costos del reciclaje de módulos fotovoltaicos están disminuyendo.
- Entre el 80% y el 95% de la masa de materiales de un módulo FV puede recuperarse en instalaciones de reciclaje, y las investigaciones buscan mejorar la tasa de recuperación y la calidad de los materiales recuperados.



Motivación para la Economía Circular en la Fotovoltaica

El interés por una EC surge del reconocimiento de las limitaciones y consecuencias ambientales del modelo tradicional de economía lineal



Medio Ambiente

La EC ayuda a **mitigar los impactos ambientales** de la extracción de recursos, los procesos de producción y la eliminación de residuos. Al cerrar el ciclo y mantener los productos y materiales en uso el mayor tiempo posible, una EC contribuye a conservar los ecosistemas naturales y la biodiversidad.



Recursos Finitos

A medida que crece la población mundial y aumentan los patrones de consumo, es cada vez más evidente que **muchos recursos son finitos**. La EC busca abordar este desafío promoviendo el uso eficiente y la reutilización de recursos para minimizar su agotamiento. Además, la EC contribuye a garantizar un suministro seguro de materiales y a desarrollar fuentes domésticas de materiales.



Economía

Las prácticas de EC pueden ofrecer **beneficios económicos y sociales** mediante la creación de nuevas oportunidades de negocio, el estímulo de la innovación y el fomento del crecimiento del empleo a nivel nacional.



1 Beneficios Ambientales Frente al Vertido en Vertederos

La Economía Circular en la industria fotovoltaica es una estrategia para apoyar los **Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU**, particularmente el Objetivo 12:

Consumo y producción responsables

- Asegurar suministros de materiales;
- Gestionar residuos;
- Mejorar la eficiencia en el uso de recursos;
- Mantener el valor de los materiales;
- Usar menos materiales;
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contaminantes del aire y agua; y
- Promover la justicia ambiental



2 Asegurar un Nuevo Suministro de Materiales

La demanda de materiales a granel (vidrio, aluminio y silicio) para futuros sistemas FV no se espera que cause interrupciones ni escasez en el mercado. Sin embargo:

- **Materiales Recuperados del Reciclaje:**
- Vidrio
- Silicio
- Metales a granel (Al, acero, Cu)
- Metales especiales (Sn, Pb, Ag, Cu)
- Polímeros
- Embalajes (Madera, Cartón)

Módulos de silicio cristalino (c-si) (tecnología FV dominante):

Un estudio proyecta que la **demandas de plata** podría representar hasta el 40% de la producción global para 2050 en un escenario de descarbonización global.

Módulos FV de película delgada de **cadmio-telurio (CdTe)** (segunda mayor cuota de mercado global): un estudio encontró que la demanda de telurio para FV podría alcanzar o superar el suministro global de 2018 para 2030 y más allá.

➔ **Una Economía Circular contribuye a la seguridad, fiabilidad y resiliencia a largo plazo de las cadenas de suministro industriales.**

3 Beneficios Sociales

Una Economía Circular puede aumentar la competitividad de los fabricantes, impulsar el crecimiento económico y generar nuevos empleos nacionales en la economía verde.

¹ Departamento de Energía de EE.UU., Oficina de Eficiencia Energética y Energía Renovable. 2021. [“Solar Futures Study”](#).

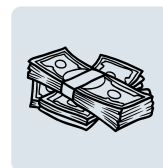
² S. Carrara, P. Alves Dias, B. Plazzotta, C. Pavel. 2020. “Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system”. EUR 30095 EN, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.



Desafíos para la Economía Circular en Fotovoltaicos

1. Costo

Actualmente, el reciclaje es más costoso que el vertido en vertederos. Las soluciones de EC son relativamente nuevas, y la mayoría de los sistemas FV aún no han alcanzado su fin de vida útil, por lo que los volúmenes de reciclaje son bajos. Se requerirá más experiencia y experimentación para reducir costos.

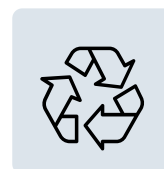


2. Posible Impacto Ambiental Contradictorio

En algunas estrategias de EC, se han observado casos en que una mayor circularidad de materiales podría impactar el medio ambiente más que el vertido en vertederos. La investigación proactiva puede ayudar a evaluar estos compromisos para diseñar soluciones óptimas.

3. Desafíos en el Proceso de Reciclaje

Los módulos FV están diseñados para resistir condiciones ambientales adversas durante tres décadas, lo que demuestra su robustez, pero también complica el proceso de reciclaje. Los métodos tradicionales suelen tener dificultades para deslaminar los módulos de forma eficiente y económica, lo que exige nuevas soluciones tecnológicas. La actividad investigativa comercial y académica para abordar este desafío ha ido en aumento.



Estado Global de la Economía Circular en Fotovoltaica

Regulaciones en Países Seleccionados Miembros de la IEA-PVPS:



Unión Europea: ha adoptado regulaciones para el fin de vida útil de los módulos FV.



Corea del Sur: extendió regulaciones de responsabilidad del productor en 2023.



Australia: se espera que los módulos FV estén cubiertos por la “Ley de Gestión de Productos de 2011”, junto a iniciativas a nivel estatal.



Estados Unidos: hay regulaciones para el fin de vida útil de los módulos FV en ciertos estados



Japón: no cuenta con regulación específica para residuos fotovoltaicos, aunque existen actividades de reciclaje e I+D para apoyar la gestión de fin de vida de módulos FV, con tecnología de reciclaje comercial ya disponible.



China: las políticas y regulaciones sobre el reciclaje de módulos FV están en desarrollo. Sin embargo, se estableció la iniciativa ECOPV en 2020 con el objetivo de lograr una “cadena de suministro verde FV”.



Contribuciones de la IEA-PVPS Task 12 a una Economía Circular en Fotovoltaica

Objetivos

- Cuantificar el **perfil ambiental** de la electricidad fotovoltaica, para mejorar la **sostenibilidad de la cadena de suministro** y compararla con el perfil ambiental de otras tecnologías de generación de energía;
- Ayudar a mejorar la **circularidad** de la tecnología y materiales fotovoltaicos mediante la comprensión, el desarrollo y la adopción de nuevas ideas, seguimiento de desarrollos legislativos y apoyo en el desarrollo de estándares técnicos;
- Estudiar y capturar los **impactos sinérgicos del despliegue de sistemas FV** en su entorno y ecosistema.
- Distinguir y abordar cuestiones reales y percibidas sobre **aspectos sociales y socioeconómicos de la tecnología FV** relevantes para el crecimiento del mercado; y
- **Diseminar** los resultados de nuestros análisis a expertos técnicos, legisladores y el público.

Subtareas



1. Economía Circular (EC)
2. Evaluación del Ciclo de Vida (LCA)
3. Fotovoltaicos Integrados en el Ecosistema (EcoPV)
4. Aspectos Más Amplios de Sostenibilidad



Bibliografía

- R. Frischknecht, K. Komoto, T. Doi. 2023. "Life Cycle Assessment of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Delamination With Hot Knife Technology." IEA PVPS Task 12 Report T12-25:2023. ISBN 978-3-907281-41-3.
- K. Komoto, M. Held, C. Agraifeil, C. Alonso-Garcia, A. Danelli, J.-S. Lee, L. Fang, J. Bilbao, R. Deng, G. Heath, et al. 2022. "Status of PV Module Recycling in Selected IEA PVS Task 12 Countries." IEA PVPS Task 12 Report T12-24:2022. ISBN 978-3-907281-32-1.
- R. Frischknecht, L. Krebs. 2022. "Resource Use Footprints of Residential PV Systems". IEA PVPS Task 12, IEA PVPS Task 12 Report T12-22:2022. ISBN 978-3-907281-25-3.
- G. Heath, D. Ravikumar, B. Hansen, E. Kupets. 2022. "A critical review of the circular economy for lithium-ion batteries and photovoltaic modules – status, challenges, and opportunities". Journal of the Air & Waste Management Association. Volume 72 (6).
- N. Rajagopalan, A. Smeets, K. Peeters, S. De Regel, T. Rommens, K. Wang, P. Stolz, R. Frischknecht, G. Heath, D. Ravikumar. 2021. "Preliminary Environmental and Financial Viability Analysis of Circular Economy Scenarios for Satisfying PV System Service Lifetime." IEA PVPS Task 12 Report T12-21:2021. ISBN 978-3-907281- 23-9.
- J. Bilbao, G. Heath, A. Norgren, M. Lunardi, A. Carpenter, R. Corkish. 2021. "PV Module Design for Recycling." IEA PVPS Task 12, Report T12-23:2021. ISBN 978-3-907281-27.
- L. Krebs, R. Frischknecht, P. Stolz, P. Sinha. 2020. "Environmental Life Cycle Assessment of Residential PV and Battery Storage Systems." IEA PVPS Task 12 Report T12-17:2020. ISBN 978-3-906042-97-8.
- G. Heath, T. Silverman, M. Kempe, M. Deceglie, T. Remo, T. Barnes. 2020. "Research and development priorities for silicon photovoltaic module recycling to support a circular economy". Nature Energy 5, 502-510 (2020).
- K. Komoto, J.-S. Lee. 2018. "End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies". IEA PVPS Task 12 Report T12-10:2018. ISBN 978-3-906042-61-9.