

Sostenibilidad en la gestión de residuos de paneles solares en España

Sustainability in the management of solar panel waste in Spain

Rosa Esteban Amaro^a, Ismael Lengua Lengua^b, Sofia Estellés Miguel^{ibc}.

^aDepartamento Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València, roesam@degi.upv.es; ^bCentro de Investigación en Tecnologías Gráficas, Universitat Politècnica de València; ilengua@upv.es;

^cUniversitat Politècnica de València, Valencia, Spain, soesmi@omp.upv.es.

How to cite: Esteban-Amaro, R.; Lengua, I.; Estellés Miguel, S. 2022. Sostenibilidad en la gestión de residuos de paneles solares en España. In the proceedings book: International conference on innovation, documentation and education. INNODOCT/22. Valencia, November 2nd-7th 2022. <https://doi.org/10.4995/INN2022.2022.15786>

Abstract

As companies move towards sustainability and energy savings, there is a new boom in photovoltaic installations in Spain.

The advantages of using this type of energy are obvious; it is clean, 100% renewable, receives public subsidies and is labelled as "sustainable", which gives a positive image of a more environmentally friendly company.

However, what is the degree of recyclability of these photovoltaic installations in general, and solar cells in particular?

Most manufacturers guarantee a lifetime of solar panels of about 20/25 years, and once installed, they require little maintenance. In addition, their energy efficiency decreases by 0.5% per year, which means that they could still be operating at 74% after 30 years. All of these reasons remove us from the need to worry about waste management.

However, the first photovoltaic installations in Spain are nearing the end of their useful life and the volume of these installations is growing steadily. This leads to the need to address the environmental impact of their immediate disposal.

This paper will cover the current management of collection, transport, treatment and recycling of solar panels. It will also explain the challenges involved in the extraction of their raw materials, their traceability and the second use that can be made of them. Finally, it will address possible changes in the manufacturing process of the panels that could lead to a reduction in the amount and toxicity of the waste they generate.

Keywords: *sustainability, recycling, traceability, toxicity, waste*

Resumen

A medida que las empresas avanzan hacia la sostenibilidad y el ahorro energético, se produce un nuevo auge de las instalaciones fotovoltaicas en España.

Las ventajas de utilizar este tipo de energía son evidentes; es limpia, 100% renovable, recibe subvenciones públicas y tiene el sello de "sostenible", lo que da una imagen positiva de empresa más respetuosa con el medio ambiente.

Sin embargo, ¿cuál es el grado de reciclabilidad de estas instalaciones fotovoltaicas en general, y de las células solares en particular?

La mayoría de fabricantes garantizan una vida útil de los paneles solares de unos 20/25 años, y una vez instalados requieren un mantenimiento ligero. Además, su eficiencia energética disminuye un 0,5% anual, lo que significa que podrían seguir funcionando al 74% al cabo de 30 años. Todas estas razones nos alejan de la necesidad de preocuparnos por la gestión de residuos.

Sin embargo, las primeras instalaciones fotovoltaicas en España están próximas al final de su vida útil y el volumen de estas instalaciones crece de forma constante. Esto nos lleva a tener que atender el impacto ambiental de su disposición inmediata.

Este trabajo cubrirá la gestión actual de recolección, transporte, tratamiento y reciclaje de paneles solares. También explicará los retos que implica la extracción de sus materias primas, su trazabilidad y el segundo uso que se puede hacer de ellas. Finalmente, se abordarán posibles cambios en el proceso de fabricación de los paneles que podrían suponer una reducción de la cantidad y toxicidad de los residuos que generan.

Palabras clave: *sostenibilidad, reciclaje, trazabilidad, toxicidad, residuos*

Introducción

Cuando pensamos en sostenibilidad y ahorro energético, pensamos inmediatamente en la energía fotovoltaica. Sin embargo, ser sostenibles implica evaluar la fotovoltaica a lo largo de todo el proceso; desde el desarrollo de la instalación hasta la gestión de la misma como residuo en su final de vida.

La gestión del reciclaje de paneles solares en España debe tratarse de forma adecuada y urgente. Adecuada, porque se debe cumplir con la normativa existente y urgente, porque existe un gran número de instalaciones que se convertirán en obsoletas en el corto plazo.

Este artículo expondrá, en primer lugar, la gestión actual de reciclaje de paneles solares en España; en segundo lugar, la extracción y segundo uso de las materias primas de los paneles solares reciclados; y por último, abordará las tendencias en eco diseño.

1.Objetivos

El objetivo principal del artículo es reunir en un solo documento los aspectos clave de la gestión de residuos de paneles solares. Mostrar la situación actual, poniendo de manifiesto los factores más relevantes del proceso y las carencias del mismo.

2.Gestión de la recogida, transporte, tratamiento y reciclaje de los paneles solares en España

Los residuos de los paneles solares se producen durante su producción, el transporte, la instalación y uso, y finalmente, durante su final de vida. Ahora bien, en España, 2,7 gigawatios (GW) de la capacidad fotovoltaica total instalada (aproximadamente 30%) se construyó en el año 2008, por lo que puede esperarse un pico de residuos de paneles por llegar a su final de vida entorno al 2028. (Financia 2021)

De hecho se esperan entre 2020 y 2030 una cantidad acumulada de 100 000 toneladas, es decir, unas 10 000 toneladas por año. (Santos, Alonso-García 2018)

La Unión Europea es la única que dispone de un marco legal (Directiva 2012/19/UE) para el tratamiento de residuos de paneles solares, en el cual se considera los paneles solares como residuos de carácter electrónico que deben ser tratados y almacenados de forma específica para su correcto reciclaje. Esta normativa se implementó en España mediante el RD 110/2015. Esta directiva aplica el principio de responsabilidad ampliada del productor de los aparatos eléctricos y electrónicos (AEE) como sujeto responsable de los costes que derivan de la gestión de residuos procedentes de estos aparatos. A partir del 15 de Agosto del 2018, se amplió el alcance del RD 110/2015, constituyendo los paneles solares una categoría propia, la número siete, diferenciándose los paneles de silicio y telurio de Cadmio e incluyéndose los paneles con una dimensión exterior superior a 50cm. (Moreno, Miguel, Alvarado 2017)

La directiva establece unos objetivos mínimos de recogida que se calculan como un porcentaje de la cantidad de nuevos paneles introducidos en el mercado en los últimos tres años. Lo que nos lleva al principio de responsabilidad de reporting, puesto que existe la obligación por parte de productores/importadores de informar de forma periódica la cantidad de paneles vendidos al registro nacional de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), así como su composición y uso de sustancias potencialmente peligrosas, y aquellos paneles recogidos y llevados a tratar como residuos.

Por otro lado, también recoge la denominada responsabilidad de información, según la cual, los productores deben etiquetar los paneles de acuerdo a la directiva de cada país. Deben informar a los compradores del procedimiento a seguir en caso de ser retirados, de no mezclarlos con el resto de residuos y de informarles que es este servicio es gratuito para el comprador.

PV Cycle fue la primera organización sin ánimo de lucro en establecer, en el año 2007, un sistema de reciclaje de paneles y una gestión de recogida en Europa.

En España se dispone de los Sistemas Integrados de Gestión (SIG) compuestos por una serie de gestores que valorizan los principales tipos de residuos como los paneles solares. Los productores pueden adherirse a estos sistemas colectivos de gestión o bien hacerlo de forma individual. En cualquiera de los dos casos y según la normativa, se debe valorizar un 85% de los residuos y se debe preparar para la reutilización y el reciclaje un 80%. (Moreno, Miguel, Alvarado 2017)

Los SIG, a través de sus fundaciones, realizan la recogida y transporte a los gestores de residuos autorizados, quienes los trasladan a las diferentes plantas de tratamiento autorizadas. Se calcula que el 80% de los residuos de paneles en la actualidad pueden tratarse de defectos de producción, transporte o fallos tempranos (los primeros cuatro años de vida) y se estima que entre el 45 y 65% de los mismos pueden ser reparados o repotenciados. (Union 2020)

En España existen diferentes plantas de repotenciación y reutilización autorizadas y una única planta autorizada de reciclaje.

La repotenciación consiste en alargar la vida útil de los paneles y se trata de una opción viable en mercados de segunda mano para zonas rurales o de bajos recursos ya que los paneles nuevos siempre ofrecerán mayor eficiencia a un coste menor.

La reutilización trata de aprovechar los residuos que no requieren procesos adicionales de transformación del material que se está aprovechando. Sería el caso, por ejemplo, de los marcos metálicos de los paneles o del vidrio sin triturar.

El reciclaje o recuperación es una modalidad de aprovechamiento que sí requiere de un proceso de transformación del material recuperado para devolverle su potencialidad de reincorporarlo como materia prima. (Gómez G., Correa O. 2012). Es la alternativa que requiere más energía, y por tanto, de mayor coste. De ahí que se necesite volumen de paneles solares para que la planta de reciclaje sea rentable, además de elevados ratios de recuperación, procesos eficientes y bajo impacto medioambiental. (Union 2020)

Y por último, nos encontramos con la opción del vertedero para aquellos materiales que no hayan podido ser tratados. Estos vertederos o plantas de disposición final deben poder aislar y confinar los materiales en lugares diseñados para evitar la contaminación y riesgos para la salud humana y el medioambiente.

3.Extracción de las materias primas de los paneles solares reciclados; trazabilidad y segundo uso

El reciclaje de paneles solares requiere de diferentes fuentes de energía y consumo de materiales dependiendo de la etapa del proceso en la que nos encontremos. Por ejemplo, se

emplea combustible durante el transporte de los paneles a la planta de tratamiento.

En este apartado nos vamos a focalizar principalmente en los procedimientos existentes para la recuperación de materiales. Estos procedimientos son de dos tipos; los procedimientos mecánicos y los procedimientos químicos/térmicos. O bien una combinación de ambos.

Dada la composición de los residuos de paneles solares, cada procedimiento presenta sus inconvenientes. Un panel solar de silicio contiene: 70% vidrio (con amonía), 18% aluminio (el marco), 5,1% etilvinilacetato o EVA, 3,65% es Silicio, 1,5% fluoruro de polivinilideno o PVF, 1% de cables, 0,0053% plata. (Moreno, Miguel, Alvarado 2017)

Los procedimientos mecánicos generan polvo que contiene vidrio que además de ser tóxico genera contaminación acústica. La separación de la lámina EVA con solventes genera emisiones peligrosas y es un proceso largo, mientras que los métodos térmicos o químicos, así como otras tecnologías más avanzadas, producen gases y consumen mucha energía. (Chowdhury et al. 2020)

En contrapartida, el reciclaje permite reducir las emisiones de CO₂; el reciclaje de 186 toneladas de paneles permite ahorrar entre 1480 y 2220 toneladas de emisiones de CO₂. Además de que recuperar los materiales reduce la necesidad de extracción de algunos de ellos que están limitados en la naturaleza como es el caso del Telurio, de evitar pérdidas económicas debido a no poder reutilizar el vidrio o el aluminio, y de reducir la pérdida de materiales considerados como críticos por la Unión Europea como es el caso de la plata y el silicio.

Por último, cabe destacar el ahorro energético que supone producir un módulo con material reciclado. Según un estudio de la Deutsche Solar AG, la energía consumida para la producción de un módulo que use wafer de silicio reciclado permite ahorrar 2/3 de la energía necesaria para producir un módulo sin reciclado. Se consumen 196 kWh/módulo en caso de reciclado frente a 459 kWh/módulo sin reciclar. (Chowdhury et al. 2020)

Una vez realizada la extracción de los materiales, se lleva a cabo una valorización de los mismos. Puede realizarse una valorización puramente económica, que dependerá de la cantidad de material recuperado, la tasa de reciclado, el precio de mercado del material y la pureza del mismo. En segundo lugar, encontramos la valorización de los materiales, es decir, la obtención de nuevos materiales para la misma industria u otro tipo de industria. En el caso de los paneles solares serán más valorizables el vidrio y el aluminio al encontrarse en mayor proporción seguidos por el silicio, el cadmio, el telurio, el galio y el indio. Y por último, se puede dar el caso de una valorización energética, afectando en este caso, principalmente, a los polímeros de los paneles solares y es función de su poder calorífico. (Moreno, Miguel, Alvarado 2017).

4. Eco diseño de paneles solares

La normativa existente en torno al reciclaje de los paneles solares que promueve la aplicación del principio “quien contamina paga”, pretende estimular el diseño y la reciclabilidad de los módulos, y

espera como resultado mejores soluciones a los diseños, facilitando el desmontaje, reparación o reciclado, y como consecuencia, abaratando la gestión de residuos. (Moreno, Miguel, Alvarado 2017)

El principal problema del reciclaje viene dado por el hecho de que los materiales obtenidos son menos eficientes cuando se reintroducen en el ciclo productivo debido a que su calidad es inferior a los materiales vírgenes. Un reciclaje adecuado implicaría que los residuos generados no se mezclaran con otros materiales y esto podría verse favorecido si se diseña pensando en la reciclabilidad. (Union 2020)

La Comisión Europea espera que entren en vigor a partir del 2023 las reglas de ecodiseño y etiqueta energética para paneles, inversores y sistemas solares fotovoltaicos.

España, en el consejo de ministros de junio del 2020, daba luz verde a la estrategia española de economía circular (EEEC) denominada “España Circular 2030” para impulsar un nuevo modelo de producción y consumo que minimiza la generación de residuos y que mantiene, durante el mayor tiempo posible, el valor de los productos, materiales y recursos en la economía, evitando una mayor presión sobre el medio ambiente. Los objetivos fijados fueron: reducción nacional del consumo de materiales en un 30% y recorte del 15% de la generación de residuos respecto al 2010. (Financia 2021)

En cualquier caso, la tendencia actual de los productores de paneles solares respecto al diseño de los mismos, es la reducción de costes, reduciendo el uso de materias primas y eliminando materiales peligrosos sin comprometer la eficiencia y alargando su vida útil. Es decir, se enfocan en la optimización de los productos para su primer uso y no para su uso posteriores (desmontaje, repotenciación o reciclaje). (Franco, Grosser 2018)

El uso de silicio se ha reducido significativamente en los últimos 10 años. Se ha reducido el grosor de la oblea de silicio utilizada en la fabricación de paneles, lo cual ayuda a disminuir el coste derivado de la utilización de silicio de alto grado de pureza. Lo que ha llevado a añadir a la lámina posterior un recubrimiento reflectante que permita aumentar la captura de fotones procedentes de la radiación solar, ya que la oblea más delgada repercute en menor absorción de radiación.

Se está trabajando en unificar la tecnología mono-Si (más eficiente) con la policristalina mc-Si (menor requerimiento energético) creando un modelo híbrido de silicio cristalino. Este sistema permitiría reducir los residuos que se generan en la obtención de la oblea de silicio, así como un mejor aprovechamiento de los mismos. (Moreno, Miguel, Alvarado 2017)

Empleando una única capa de tereftalato de polietileno (PET) o polimetilmetacrilato (PMMA), se facilita la operación de desmontaje del panel, si bien puede provocar una reducción del rendimiento del mismo. Actualmente se considera como una buena opción de encapsulado la combinación de silicona entre los anteriores elementos, es decir, una primera capa de silicona seguida de una capa de PET, permitiendo así una correcta eficiencia del módulo y una efectiva recuperación de las células en el futuro.

La empresa francesa Apollon Solar está desarrollando un nuevo sistema de encapsulado de celdas, NICE, por sus siglas en inglés, que pretende eliminar el encapsulante sustituyéndolo por gas. Esto significaría un ahorro de componentes, pero también simplificaría la fabricación. Otra innovación técnica de Apollon es la introducción de adhesivos conductores, que permitiría la eliminación de plomo. (Tsanakas et al. 2020)

El uso de RFID (identificación de radiofrecuencia) para trazar e identificar residuos, componentes utilizados, propiedades y valores podría ser muy útil en caso de recuperación o reutilización.

Por último, existen otro tipo de innovaciones en el ámbito de la gestión en las que se está trabajando y son; aumentar las operaciones de reciclaje y su optimización, agilizar la recogida, el transporte y la logística inversa, asegurar la viabilidad operativa e implementar la economía circular fomentado la reutilización o segundo uso. (Tsanakas et al. 2020)

Conclusiones

España dispone de un sistema de gestión de recogida y tratamiento de paneles solares. Sin embargo, la cantidad de residuos generados es difícil de prever y depende de varios factores como la previsión de vida útil, las cantidades producidas, el residuo durante la producción y el ratio de fallos. Por ello, es difícil de saber si el dimensionamiento actual es el apropiado en el momento que llegue el final de vida de los primeras fotovoltaicas instaladas en España.

Por otro lado, no se sabe con exactitud si todos los productores/importadores están adheridos a sistemas de gestión de residuos colectivos o individuales. Lo que conduciría a falta de información en cuanto a volúmenes, composiciones y residuos tratados.

Otro factor a tener en cuenta es que el diseño actual no facilita el reciclado, encareciendo el coste de los procesos de reciclado, así como su eficiencia; lo que conduciría a una falta de rentabilidad de las plantas de reciclajes.

Dicho esto, el tratamiento de los residuos de los paneles solares es la única opción posible de sostenibilidad y quizás lo más conveniente es establecer mayores regulaciones en cuanto a las tecnologías de recuperación/reciclaje de cara a alinear todos los stakeholders (desde el productor, pasando por el comprador y llegando a la planta de reciclaje) en la elección de esta única opción.

Referencias

- CHOWDHURY, MD SHAHARIAR, RAHMAN, KAZI SAJEDUR, CHOWDHURY, TANJIA, NUTHAMMACHOT, NARISSARA, TECHATO, KUAANAN, AKHTARUZZAMAN, MD, TIONG, SIEH KIONG, SOPIAN, KAMARUZZAMAN AND AMIN, NOWSHAD, 2020. An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*. 1 January 2020. Vol. 27, pp. 100431. DOI 10.1016/J.ESR.2019.100431.
- FINANCIA, PROMUEVE, 2021. Estudio de mercado y plan de internacionalización del sector fotovoltaico español. 2021.

- FRANCO, MARIA AND GROSSER, STEFAN, 2018. A systematic literature review of the photovoltaic and electric vehicle battery value chains for the development of a circular economy in the PV industry, deliverable D1.1 within the H2020 CIRCUSOL project, funded by the European Commission. 2018. No. 776680, pp. 57.
- GÓMEZ G., MARCELA AND CORREA O., LUISA F., 2012. La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA. Online. 2012. pp. 216. Retrieved from: https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/4192/GiraldoJuanita_2021_EvaluacionModelosNegocio.pdf?sequence=8&isAllowed=y
- MORENO, CARLOS ESCUELA, MIGUEL, JOSÉ AND ALVARADO, CÁCERES, 2017. Estudio sobre las posibilidades de valorización de residuos de paneles fotovoltaicos. Online. 2017. [Accessed 13 June 2022]. Retrieved from: [https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5835/Estudio sobre las posibilidades de valorizacion de residuos de paneles fotovoltaicos.pdf?sequence=1](https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/5835/Estudio%20sobre%20las%20posibilidades%20de%20valorizacion%20de%20residuos%20de%20paneles%20fotovoltaicos.pdf?sequence=1)
- SANTOS, J. D. AND ALONSO-GARCÍA, M. C., 2018. Projection of the photovoltaic waste in Spain until 2050. *Journal of Cleaner Production*. 20 September 2018. Vol. 196, pp. 1613–1628. DOI 10.1016/J.JCLEPRO.2018.05.252.
- TSANAKAS, JOHN A., VAN DER HEIDE, ARVID, RADAVIČIUS, TADAS, DENAFAS, JULIUS, LEMAIRE, ELISABETH, WANG, KE, POORTMANS, JEF AND VOROSHAZI, ESZTER, 2020. Towards a circular supply chain for PV modules: Review of today's challenges in PV recycling, refurbishment and re-certification. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 2020. Vol. 28, no. 6, pp. 454–464. DOI 10.1002/pip.3193.
- UNION, EUROPEAN, 2020. CIRCUSOL description of a vision. 2020. No. 2019.