

Los residuos fotovoltaicos: La exportación como alternativa ecológica y sostenible para México

Ana María Romo Jiménez¹* & Jonathan Dennis De Lachica Acosta¹

Resumen

Existe una problemática creciente e ineludible relacionada con la generación y acumulación exponencial de residuos fotovoltaicos, provocado por un aumento sin precedentes en la producción, comercialización y uso de los paneles solares para la generación de energía. El objetivo de este artículo es presentar los argumentos y los posibles beneficios de la exportación de los residuos fotovoltaicos generados en México, como una solución a esta problemática, incluyendo un análisis general que brinde información básica sobre los residuos fotovoltaicos, una revisión de la evolución de las nuevas y cambiantes leyes y normativas aplicables a estos residuos en todo el mundo, las razones por las que sería atractivo para otros países importar estos residuos desde México. Y algunos de los beneficios que México obtendría de la exportación de estos residuos. Concluyendo que la exportación de residuos fotovoltaicos si es una solución viable para México que ofrece principalmente beneficios ambientales y económicos con baja inversión, pero es una alternativa que posiblemente requerirá mejoras regulatorias urgentes en su marco legal y normativo para un mejor desempeño general.

Palabras clave: Cooperación internacional, paneles solares, exportación de residuos, economía circular, desarrollo Sostenible, regulaciones, soluciones.

Recibido: 17 de noviembre de 2021.

Abstract

There is a growing and unavoidable problem related to the exponential generation and accumulation of photovoltaic waste, caused by an unprecedented increase in the production, commercialization and use of solar panels for power generation. The objective of this article is to present the arguments and the possible benefits of exporting photovoltaic waste generated in Mexico, as a solution to this problem. including a general analysis that provides basic information on photovoltaic waste, a review of the evolution of new and changing laws and regulations applicable to this waste throughout the world, the reasons why it would be attractive for other countries to import this waste from Mexico. And some of the benefits that Mexico would obtain from the export of this waste. Concluding that the export of photovoltaic waste is a viable solution for Mexico that offers mainly environmental and economic benefits with low investment, but it is an alternative that will possibly require urgent regulatory improvements for a better overall performance.

Key words: International cooperation, solar panels, waste export, circular economy, Sustainable Development, regulations, solutions.

Aceptado: 03 de marzo de 2022.

¹ Facultad de Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Praga y Trieste s/n. Col. Residencial Las Torres 64930, Monterrey, Nuevo León, México.

² Estudiante del Programa Doctoral en Filosofía, Facultad de Ciencias Políticas y Administración Pública. Universidad Autónoma de Nuevo León. Praga y Trieste s/n. Col. Residencial Las Torres 64930, Monterrey, Nuevo León, México.

* **Autor de correspondencia:** dennis.dea@uanl.edu.mx (JDDLA)

Introducción

En la actualidad se ha observado un crecimiento exponencial en el uso de energías provenientes de fuentes renovables, causado por diversas razones como la urgencia mundial por afrontar la crisis climática y la mitigación de los efectos del calentamiento global, la presión global para la descarbonización y la transición energética a fuentes renovables o de menor impacto ambiental, e incluso por temas de regulaciones o tratados internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas.

El auge de la energía solar fotovoltaica ha sido fuertemente impulsado y aplaudido en los últimos años debido a sus precios cada vez menores y su eficiencia cada vez mayor, así como por sus ventajas medioambientales comparada con otras fuentes de generación de energía no renovables o más contaminantes. De las energías provenientes de fuentes renovables, la solar fotovoltaica es la de mayor crecimiento en los últimos años. Esta tecnología está basada en los paneles fotovoltaicos, la forma más común de ellos se basa en lo que se conoce como efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz en un dispositivo semiconductor bicapa, lo que genera una diferencia de potencial, es decir, un voltaje capaz de conducir una corriente a través de un circuito para que pueda ser transformado en trabajo útil. (Estrada 2013).

El aumento en el uso de celdas solares naturalmente provocará que sean generados residuos fotovoltaicos en una razón de crecimiento similar, con un desfase temporal máximo de 25 años a partir de su instalación, tiempo que corresponde al promedio del tiempo de vida de estos equipos, aunado a los residuos fotovoltaicos generados adicionalmente durante las

instalaciones, los generados por cambios anticipados programados de los equipos por temas de eficiencia, y aquellos que presenten fallas o averías irreparables prematuramente. Lo que nos lleva a preguntarnos ¿Qué haremos con todos esos residuos fotovoltaicos que estarán siendo generados en México? ¿Continuaremos con un manejo irresponsable de residuos, y encontraremos cada vez más frecuentemente celdas solares tiradas en ríos o tiraderos clandestinos, generando lixiviados tóxicos y altamente contaminantes? ¿Sencillamente serán enterradas estas celdas solares junto a otros miles o millones de toneladas de residuos no aprovechados? ¿O México valorizará y aprovechará estos residuos, reduciendo el riesgo a la salud y al equilibrio ecológico del medio ambiente?

El objetivo del presente ensayo es brindar una respuesta a la interrogante sobre qué hacer con los residuos fotovoltaicos en México, así como conocer los beneficios de la alternativa de exportar estos residuos y los obstáculos que pudieran existir para que pueda implementar esta solución.

Material y métodos

Para la primera parte del presente documento se realiza una revisión crítica de la legislación y normativa internacional y local que pudiese ser aplicada específicamente a los residuos fotovoltaicos, así como aquellas legislaciones y normativas internacionales y locales que pudieran relacionarse indirectamente con estos residuos, como lo son los Residuos de Aparatos Electrónicos y Eléctricos, los Residuos de Manejo Especial, los Residuos Peligrosos, etc. También se ha revisado la literatura para dar sustento teórico al análisis y a la investigación, para ello se presenta un análisis sobre las particularidades

y complejidades de estos residuos, se hace una revisión histórica de cómo ha evolucionado su legislación y normativa aplicable en el mundo y en México, así mismo se presentan las condiciones internacionales que favorecen este nuevo mercado, tanto por el interés de otros países de satisfacer su demanda operativa o normativa de reciclaje, como la capacidad de oferta de México. Se evalúan los posibles impactos positivos en los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la ONU, así como los posibles beneficios ambientales, económicos, sociales, y diplomáticos de esta alternativa

Para la investigación cualitativa se ha realizado una prueba piloto, que ha consistido en la aplicación de una entrevista semi-estructurada a un grupo representativo de actores principales relacionados con los residuos fotovoltaicos en todo su ciclo de vida. Esta entrevista corresponde a un diseño de investigación-acción que permita obtener información relevante de estos actores, desde sus percepciones, opiniones y experiencia.

La entrevista ha constado de 26 preguntas abiertas, que parten de lo general a lo particular, e incluyen una retroalimentación al método, a fin de que en el futuro pueda continuar mejorándose este instrumento.

La energía solar fotovoltaica, un sector en crecimiento

En todo el mundo se ha observado un incremento exponencial en el uso de energías renovables, siendo la solar fotovoltaica la de mayor crecimiento, aportando casi 120 GW de generación en 2019, según el reporte de la situación mundial del REN21 (REN21 2020) y con proyecciones de continuar ese ritmo de crecimiento según la Agencia Internacional

de Energías Renovables IRENA (IRENA 2018). En México se registraron más de 4,000 MW instalados de energía solar al cierre del 2020, que representan un crecimiento de más del 30% anual desde 2019. De acuerdo con la Secretaría de Energía (SENER), demostrando que México también sigue la tendencia mundial y además desde 2018 la Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA incluyó a México entre los países más importantes en generación de energía fotovoltaica.

El crecimiento masivo y exponencial del uso de paneles solares en un lapso tan corto de tiempo responde a la urgencia mundial por la descarbonización y la transición energética de fuentes fósiles a alternativas que generen menos emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, como parte fundamental de las estrategias necesarias para afrontar la crisis climática global. Y la energía solar es una de las energías más prometedoras que existen actualmente (Romo & Chávez 2019), es quizá por ello que nunca antes en la historia habían existido en el mundo tantas celdas solares al mismo tiempo, ni se habían generado residuos de este tipo en esta magnitud.

Residuos fotovoltaicos: un tipo de residuo particular

El concepto de residuo está contemplado en la Ley General para la Prevención y Gestión integral de los residuos (LGPGIR) en su artículo 3, fracción XXIX, como: "material o producto propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, ..., y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final". Por su parte, La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) define a los REE (Residuos

Eléctricos y Electrónicos) como cualquier dispositivo alimentado a través de un suministro de energía eléctrica que ha llegado al final de su vida útil. Así mismo, desde 2004 están enmarcados dentro de la LGPGIR, que los define como “Aquéllos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos”, mientras que en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-019-AMBT-2018 - Residuos Eléctricos y Electrónicos - Requisitos y Especificaciones para su manejo, se definen como “Aquellos generados en los procesos productivos, de servicio o comercio, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos” (Gaceta Oficial del Distrito Federal 2020). La legislación mexicana actual considera estos residuos como “residuos de manejo especial”, dentro de la LGPGIR, y tras la entrada en vigor de la NOM-161-SEMARNAT-2011, se adiciona la obligación de presentar lo que se conoce como “Planes de Manejo” para los residuos considerados como eléctricos y electrónicos.

La Unión Europea ha sido pionera en materia de regulación de residuos eléctricos y electrónicos, sentando las bases con la emisión de la DIRECTIVA 2002/96/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), sin embargo, años después, a esta directiva se le realizaron dos modificaciones por la Comisión Europea en 2008 y 2015, dentro de las cuales se estableció un primer precedente en el que se hacía una diferenciación entre los residuos fotovoltaicos y el resto de los residuos electrónicos y eléctricos. Esta reclasificación hace aún más evidente que los paneles solares no encajan del todo en la definición general de los residuos eléctricos y electrónicos, además de resaltar las importantes diferencias en cuanto a

características, materiales, peligrosidad y potencial de valorización de los residuos.

Estas peculiaridades en los residuos fotovoltaicos ya ha comenzado a despertar el interés y la voluntad política para impulsar mejoras regulatorias en México, como se puede constatar en la reciente Iniciativa que reforma y adiciona diversas disposiciones de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, presentada en septiembre 2020, que la fecha de la elaboración del presente documento, aún se encuentra pendiente de resolución, pero seguramente tendrá un impacto en el subsecuente del marco jurídico y normativo referente a este tipo de residuos.

¿Por qué es atractivo importar residuos para algunos países?

El avance en legislaciones y normativas en otros países y regiones es uno de los grandes impulsores para que exista un campo activo de investigación respecto al reciclaje de paneles solares, y por supuesto, que se cuente con la tecnología y la infraestructura instalada y funcional para llevar a cabo el reciclaje.

España, por ejemplo, emitió el Real Decreto 110/1015,7 en el cual se estableció la obligatoriedad de reciclar los materiales fotovoltaicos, incluyendo esta obligación incluso desde la parte del diseño de los equipos, obligaciones a los distribuidores, venta de segunda mano, objetivos de recogida, considerados a partir de 2019 consideran un mínimo del sesenta y cinco por ciento de la media del peso de los Aparatos Electrónicos y Eléctricos introducidos en el mercado en los tres años precedentes; o el ochenta y cinco por ciento de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos generados, cuando la CE (Comisión Europea) mencione la

metodología para estimar residuos generados, además, cuando se cumpla el objetivo mínimo anual, esto no será obstáculo para que sean financiados, gestionados y recogidos los residuos que se continúen generando, según lo previsto en el real decreto. En su artículo 35 hace referencia al artículo 26 de la Ley 22/2011, que contempla lo relacionado con la entrada y salida de RAEE fuera del territorio nacional o fuera de la UE, es decir, contempla la importación de estos residuos, su artículo 45 incluye las garantías financieras que aseguren la gestión de los residuos, se prohíbe el abandono en vía pública o la entrega a personas no autorizadas de los residuos y por supuesto incorpora el 4 de julio de 2012 al ordenamiento jurídico español la Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre RAEE.

La directiva -RAEE 2012/19/UE de la Unión Europea sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, en general, le atribuye al productor, fabricante o importador la responsabilidad de la gestión de los módulos fotovoltaicos, no sólo en la recogida y reciclaje de los productos desechados, sino también respecto de la financiación para la futura gestión de residuos de paneles Fotovoltaicos (DIRECTIVA 2012/19/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO 2012)

Además, la Directiva antes mencionada también obliga a los productores a informar de manera trimestral el número de paneles vendidos, devueltos y expedidos para su tratamiento, así como de los resultados del tratamiento de residuos de dichos productos. Lo que no sólo facilita su proyección, sino que además arroja información fidedigna desde la fuente.

La infraestructura para el reciclaje desplegada para dar cumplimiento a las estrictas regulaciones antes mencionadas

en estos países productores, que en su mayoría exportan la mayor parte de los paneles solares que fabrican, crea una necesidad de consumir cantidades mínimas de residuos fotovoltaicos para ser reciclados, tanto para maximizar el aprovechamiento de las instalaciones y reducir sus costos de operación, como para disfrutar de las evidentes ventajas de poder recuperar materias primas y/o de obtener los ingresos provenientes de la valorización de los materiales recuperados, a tal grado de que resulta atractivo y redituable incluso la importación y compra de estos residuos.

Perspectiva de los residuos fotovoltaicos

En el informe *End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels* desde 2016 la IRENA y la IEA, a través de su programa de sistemas fotovoltaicos presenta una recopilación de las investigaciones realizadas por IRENA sobre el manejo de los paneles solares fotovoltaicos al fin de su vida útil. El cual presenta estimaciones a futuro del crecimiento de los paneles fotovoltaicos en el mundo y de la generación de residuos derivada de estas tecnologías para la generación de energía verde y también realiza una interesante revisión específica de ciertos países y el manejo que se le da en ellos a estos residuos, También contiene un análisis del valor económico que representaría el aprovechamiento adecuado de estos residuos (Wade et al. 2016).

De acuerdo con estos reportes, a nivel mundial en 2017 se superaron las 250 mil toneladas de residuos de celdas solares fotovoltaicas. Con una participación de aproximadamente el 60% de la generación de estos residuos liderados por China, japon, India y los Estados Unidos. IRENA calcula que la cuantificación económica de las materias primas recuperables de

las celdas fotovoltaicas podría superar los cuatrocientos cincuenta millones de dólares en 2030, abriendo una interesante oportunidad de negocio, y además estos mismos materiales recuperados podrían utilizarse en la producción de aproximadamente sesenta millones de nuevas celdas solares en ese mismo año. Esto abre una nueva oportunidad de negocio de reciclaje de celdas solares. Siguiendo esta línea, se calcula que se podrían superar los quince mil millones de dólares, o el equivalente a trece mil quinientos millones de euros en el año 2050, contemplando tan solo una estimación de generación de 78 megatoneladas de residuos fotovoltaicos a nivel mundial (Luna 2016). Esto nos da una idea del enorme mercado a nivel mundial que ya está operando, y del gran potencial que tiene este mercado en México, que además continuará creciendo con los nuevos proyectos que se siguen desarrollando en el país.

El negocio de los residuos fotovoltaicos: Caso de éxito en el mundo.

Un ejemplo exitoso del aprovechamiento de los residuos fotovoltaicos es la asociación de empresas de energía solar denominada *PV Cycle*, una asociación sin fines de lucro que nace de la industria fotovoltaica misma en 2007 y que en la actualidad trabaja con una gran variedad de residuos, ofreciendo servicios que incluyen el cumplimiento normativo en más de 30 países, así como soluciones integrales para la gestión de los residuos.

Según su reporte de operaciones del año 2019, en los últimos 9 años han procesado más de 35,733 toneladas, de las cuales 11,514 han sido tan sólo en 2019. Manteniéndose, según su reporte, como líderes mundiales en la recolección y el tratamiento de residuos de paneles

fotovoltaicos, con incrementos del 35% respecto al año anterior.

Esta empresa tiene actividades en países como Francia, Bélgica, Alemania, Holanda, Reino Unido e Italia en donde se encargan de la gestión de residuos de celdas fotovoltaicas, siendo responsables de la recolección y disposición final de las celdas solares al terminar su ciclo de vida. Con una infraestructura de recolección desarrollada que permite coleccionar los residuos fotovoltaicos desde su generación, sea proveniente del uso industrial o doméstico, para de ahí proceder al desmantelamiento de las celdas solares para la segregación, aprovechamiento y recuperación de los materiales reciclables, con una tasa de recuperación superior al noventa y seis por ciento para las celdas de base sílice (PV CYCLE a.i.s.b.l. 2019)

Residuos Fotovoltaicos: Situación Actual en México

En México podríamos decir que los procesos de reciclaje son nulos o muy escasos, y desarrollarlos en nuestro país, aunque es una excelente opción para considerar, requeriría tiempos significativamente mayores para su implementación, comparados con la alternativa del aprovechamiento de los residuos fotovoltaicos mediante la exportación, además de las grandes diferencias en cuanto a inversión inicial entre ambas alternativas. Considerando la situación económica actual, y los agravantes como la pandemia de Sars-Cov-2 (Covid-19), resulta financieramente mucho más atractivo una inversión inicial prácticamente nula que requiere la exportación, además de la obtención de beneficios económicos inmediatos y con interesantes perspectivas de crecimiento.

La demanda de estos residuos en otros

países ya existe, y México tiene una creciente posibilidad de ofertar estos residuos al mercado internacional, y esta relación entre oferta y demanda generará naturalmente relaciones comerciales, ya sea por la vía legal, si el marco legal se encuentra debidamente constituido, o por otras vías ante la falta de regulación o la incertidumbre.

En este sentido, es posible que aún se requieran algunos ajustes en el marco jurídico y regulatorio en México; sin embargo, además de las iniciativa específica para los residuos fotovoltaicos antes mencionada, existen ya algunos fundamentos legales sobre los que se podría trabajar, por ejemplo, la ya mencionada LGPGIR establece en su artículo 27 el instrumento del Plan de Manejo para prevenir la generación de los residuos y promover su valorización, así como su manejo integral, la disminución de costos administrativos, el incremento de la eficiencia y facilidad de los procedimientos, mediante modalidades de manejo adecuadas para residuos particulares y con atención a las necesidades específicas de los generadores que tengan características peculiares. Con esquemas de manejo aplicando el principio de responsabilidad compartida, alentando la innovación tecnológica, metodológica y de los procesos, para lograr un manejo integral de los residuos, que sea económicamente factible.

El artículo 28 obliga a la ejecución de dichos planes de manejo a los distribuidores, productores, exportadores e importadores de los productos que al ser desechados adquieren la clasificación de residuos peligrosos a los que se hace referencia en las fracciones I a XI del artículo 31 de esa Ley; Los generadores de los residuos peligrosos a los que se refieren las fracciones XII a XV del artículo 31 y a los grandes generadores y los distribuidores,

productores, exportadores e importadores, de los productos que al ser desechados adquieran la clasificación de residuos sólidos urbanos o de manejo especial que se incluyan en los listados de residuos sujetos a planes de manejo de conformidad con las normas oficiales mexicanas correspondientes.

Justamente el artículo 31, en su fracción VII menciona: “Aditamentos que contengan mercurio, cadmio o plomo”. Elementos comunes contenidos en las celdas y paneles fotovoltaicos, por lo que deberán sujetarse a los planes de manejo.

La Ley General de Cambio Climático establece en su artículo 34, III, fracción IV, a) Desarrollar acciones y promover el desarrollo y la instalación de infraestructura para minimizar y valorizar los residuos, El mismo ordenamiento contempla en el Artículo 67, fracción II la elaboración de programas sectoriales respecto a la gestión de residuos. De igual modo, la fracción IX del artículo 2 de la Ley de Transición Energética promueve el aprovechamiento de los residuos. Aplicar procesos de reutilización de los materiales en los residuos fotovoltaicos implica también un aprovechamiento sustentable de la energía, al crearse nuevas fuentes (Celdas solares), reduciendo además la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Los instrumentos jurídicos que regulan el movimiento transfronterizo de residuos en México son:

- Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación Decisión C(2002)107(final) de la OCDE.
- Anexo III del Convenio entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre la Cooperación para la Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente en la zona Fronteriza,

denominado Acuerdo de Cooperación entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América sobre movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y sustancias peligrosas (ANEXO III).

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).

- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR).

- Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

- Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, características, procedimiento de identificación, clasificación y listados de residuos peligrosos.

- ACUERDO que establece las mercancías cuya importación y exportación está sujeta a regulación por parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 26 de diciembre de 2020 (Acuerdo SEMARNAT-Economía).

- Acuerdo de fecha 29 de junio de 2010, por el que se eliminan requisitos, se simplifican trámites y se dan a conocer formatos que aplica la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en las materias que se indican

- Acuerdo de fecha 15 de abril de 2011, por el que se dan a conocer las medidas de simplificación administrativa en las materias que se indican y se expiden los formatos que se señalan.

Debido a la gran extensión y complejidad de estas regulaciones, la propia SEMARNAT ha emitido una Guía Para La

Importación Y Exportación De Residuos En México (SEMARNAT 2021). En este sentido, cabe mencionar que de aprobarse la iniciativa de reforma a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos para establecer la clasificación de los residuos fotovoltaicos como no peligrosos o de manejo especial, reduciría significativamente la carga administrativa y burocrática para su exportación.

Según Schumpeter (1911) el concepto de emprendedor y desarrollo económico están íntimamente ligados, y define el desarrollo como la puesta en práctica de nuevas combinaciones de 5 aspectos, dentro de los que se incluyen: 1) La introducción de un nuevo mercado, 2) La conquista de una nueva fuente de aprovisionamiento de materias primas y 3) La creación de una nueva organización de cualquier industria.

Y son estos tres aspectos fácilmente identificables en el proceso de exportación y aprovechamiento de los residuos fotovoltaicos, lo que nos lleva a confirmar que nos encontramos ante un emprendimiento que vislumbra un nuevo mercado, que permite una nueva fuente de obtención (o recuperación) de materias primas y una reestructura hacia la economía circular de las ya existentes industrias energética y solar.

Impacto positivo en 10 de los 17 ODS por la exportación de residuos fotovoltaicos

El desarrollo sustentable es el cambio o crecimiento económico haciendo uso eficiente de los recursos naturales con las políticas implementadas, tratando de lograr más objetivos con los mismos o menos recursos (Romo & García 2016), es decir que México, como uno de los países firmantes de esta agenda 2030, debería lograr más objetivos sin incrementar

los recursos necesarios, para ello deberá impulsar acciones específicas encaminadas a maximizar el aprovechamiento de recursos y capital orientado a su desarrollo y alineado al cumplimiento de estos objetivos mundiales. En este sentido, la exportación de los residuos fotovoltaicos podría incidir y generar impactos positivos en al menos 10 de los 17 de los ODS de la Agenda 2030 de la ONU.

La ONU aprobó en 2015 la agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, como una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás. Esta agenda cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que son los siguientes:

1- Erradicar la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.

2- Poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible.

3- Garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos y todas en todas las edades.

4- Garantizar una educación de calidad inclusiva y equitativa, y promover las oportunidades de aprendizaje permanente para todos.

5- Alcanzar la igualdad entre los géneros y empoderar a todas las mujeres y niñas.

6- Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.

7- Asegurar el acceso a energías asequibles, fiables, sostenibles y modernas para todos.

8- Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo

decente para todos.

9- Desarrollar infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.

10- Reducir las desigualdades entre países y dentro de ellos.

11- Conseguir que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.

12- Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.

13- Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

14- Conservar y utilizar de forma sostenible los océanos, mares y recursos marinos para lograr el desarrollo sostenible.

15- Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.

16- Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles, y

17- Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible” (United Nations, 2021).

Podríamos empezar en orden de aparición, por el objetivo 3, porque impulsando el aprovechamiento de los residuos fotovoltaicos se evita en gran medida que toneladas de paneles o celdas solares sean dispuestas de manera inadecuada, y que sus características de peligrosidad puedan generar afectaciones a la salud de las personas, ya sea por la contaminación de tierra, contaminación de fuentes de agua, por la ingesta derivada de la bioacumulación, o

por exposición directa o indirecta.

Los estragos de la reciente crisis por Sars-Cov2 (Covid-19) en todo el mundo ha evidenciado la importancia de la salud en el entorno mundial, sería impensable permitir que otra crisis de salud fuese causada por el manejo inadecuado de estos nuevos residuos globales. Es por ello que parte importante de garantizar una vida saludable y promover el bienestar debe incluir la gestión adecuada de estos materiales a fin de evitar riesgos a la salud de las personas, y en este mismo sentido, el evitar que fuentes de agua sean contaminadas impactaría en el objetivo 6.

Durante la reforma energética de 2013, México acuñó un concepto de “energía limpia” con el que el gobierno, según una publicación de Greenpeace, ha podido simular su cumplimiento de los acuerdos internacionales. Nuestro país considera desde entonces como energías limpias a aquellas energías que, durante su producción, no generan emisiones contaminantes, no importa si éstas generan otros daños al medio ambiente a través de sus residuos (Soto 2020), Como se puede constatar en la Ley de la Industria Eléctrica establece la definición de energías limpias en su artículo 3, fracción XXII como “Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan” (DOF 2021), sin embargo, no se han expedido disposiciones reglamentarias de algún umbral de generación de residuos que pudiera ser considerado para definir las energías limpias, no se encuentra mencionado en Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos ni en su Reglamento, ni en Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con residuos como los son: NOM-052-SEMARNAT-2005,

NOM-133-SEMARNAT-2000, NOM-138-SEMARNAT/SS-2003, NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. NOM-040-SEMARNAT-2002, NOM-098-SEMARNAT-2002, (CORTINAS 2014), por lo que no podríamos realmente hablar de energía sostenible si no contemplamos todos los posibles impactos ambientales, incluyendo tanto la extracción de materias primas, tema crítico para la fabricación de celdas solares, y la generación de residuos, es decir, debemos entender la energía sostenible también desde la economía circular, y en este sentido el reciclaje y aprovechamiento de los residuos fotovoltaicos es medular para lograr el objetivo 7.

Según Torres Gaitán, el comercio exterior fue siempre considerado como una fuente de ingresos para la hacienda pública, así mismo menciona que actualmente se reconoce que el comercio (internacional) es un recurso para el bienestar y un instrumento para el desarrollo económico (Torres 2005), En este sentido la exportación de los residuos fotovoltaicos para su aprovechamiento no sólo generaría empleos y crecimiento económico para México, sino que además este crecimiento económico sería sostenible, respetuoso del medio ambiente, y por supuesto productivo y decente, por lo que se impactaría en el objetivo 8.

Recordemos que estos objetivos son, al igual que las problemáticas que se afrontan, globales. Y por lo tanto debemos mantener esa visión global abierta, en la que tampoco podríamos hablar de industrialización sostenible, ni desde los productores, ni desde los usuarios industriales nacionales, sin tomar en cuenta el ciclo de vida del producto, la economía circular y los todos los impactos generados, incluidos los residuos, y por supuesto, fomentando la innovación para la reducción de los impactos y la maximización del aprovechamiento, es

por ello que se puede considerar también el impacto en el objetivo 9.

El objetivo 10 sería impactado porque reduciría la brecha tecnológica, de infraestructura, legislativa, normativa y cultural entre México con países con tecnologías e infraestructuras para el reciclaje y aprovechamiento de los residuos fotovoltaicos, de igual manera con aquellos países con legislaciones y normativas que ya están tomando en cuenta estos residuos para la reducción de los impactos y las amenazas al medio ambiente y a la salud, y por supuesto la brecha cultural que contrasta entre países con una mejor cultura del reciclaje, la segregación y el manejo integral de residuos en general.

Aspirando también a lograr ciudades y asentamientos humanos en México que sean más sostenibles, no solo desde el punto de vista energético, sino también desde los impactos generados al medio ambiente, más seguros al reducir los accidentes y el crimen organizado derivado de las actividades ilícitas en tomas clandestinas de hidrocarburos, y por supuesto más resilientes. Alineado al objetivo 11.

Respecto a los materiales necesarios para la fabricación de los paneles solares fotovoltaicos, debemos considerar que es necesaria una importante cantidad de recursos, que incluyen elementos como tierras raras, que no solo existen en cantidades limitadas, sino que además tienen importantes características de peligrosidad, siendo por ejemplo, altamente tóxicos. Es por ello que el reciclaje de residuos fotovoltaicos no solo aporta a la prevención de accidentes, desequilibrio ecológico y daños a la salud de la población, sino que permite la reutilización de este tipo de elementos, logrando una producción más sostenible, alineado al objetivo 12.

Hemos mencionado ya la importancia

de las acciones para combatir la actual crisis climática relacionada con el cambio climático y sus efectos, dentro de las cuales una de las líneas de acción más importante es la transición energética a fuentes que generen menos impactos al medio ambiente, y dentro de ella una de las alternativas más populares son los paneles solares, es decir que con esta alternativa de la exportación de residuos no solo se estaría impactando positivamente desde la generación energética, que naturalmente ayuda a combatir la crisis climática mediante el uso de los paneles solares, sino que ahora también se impactaría en la reducción de la huella ambiental indirecta desde la extracción de materias primas, y por supuesto en los impactos de los residuos generados. Logrando así mejores resultados en el objetivo 13.

Por último, pero no por ello menos importante, la cooperación internacional para la solución de la problemática ambiental de residuos fotovoltaicos es una de las formas más efectivas de lograr el objetivo 17- Fortalecer los medios de ejecución y reavivar la alianza mundial para el desarrollo sostenible. Según Jiménez, los principales problemas que se enfrentan actualmente en la arena internacional afectan a la humanidad en general: Crisis ecológica, cambio climático (...) entre otros; por lo que deben ser resueltos desde una perspectiva de cooperación entre Estados y no de competencia, además también afirma que los retos ambientales son retos globales que enfrentan todos los países, sin importar sus condiciones particulares, y estos nuevos problemas, requieren por lo tanto nuevas soluciones que sean adaptadas a las necesidades presentes (Jiménez 2016). En este sentido las relaciones internacionales, tanto diplomáticas como comerciales, no solo se verán beneficiadas, sino que se empezarán a lograr

soluciones mediante alianzas mundiales, para problemáticas medioambientales que también son mundiales, por el alcance de sus efectos devastadores, independientemente del lugar donde se generen los impactos al medio ambiente.

Perspectiva de los Actores Principales

Adicionalmente, se realizó una investigación cualitativa para complementar la información de la presente investigación, en la que se aplicó una entrevista semiestructurada a los principales actores en la cadena de valor del ciclo de vida de los paneles solares, incluidos fabricantes, personal de empresas de instalación y mantenimiento, legisladores de las comisiones de medio ambiente y energía, autoridades ambientales, diplomáticos y académicos relacionados con el tema, a fin de conocer sus percepciones respecto a las energías renovables, a la problemática de residuos generados por las energías verdes, y sus opiniones sobre la exportación de estos residuos. Permittiéndonos contrastar sus opiniones con la literatura revisada durante la investigación, por lo que aplicó un diseño de investigación-acción, a fin de obtener información que guíe la toma de decisiones a procesos, programas, y reformas estructurales (Creswell 2005), a fin de mantener el rigor metodológico se ha trabajado en la auditabilidad de la investigación mediante la grabación en medios digitales de la entrevista, y se presentan los contextos de los participantes en el informe, de acuerdo a lo mencionado por Castillo & Vásquez (2003).

Los perfiles de los entrevistados fueron los siguientes:

Mujer, Director en consultoría medioambiental y catedrática universitaria en carreras de Ingeniería Ambiental y Licenciatura en Administración

de Energía y Desarrollo Sustentable. Ingeniero Químico con Maestría en Gestión Ambiental.

Mujer, Diputada local y coordinadora de la comisión de medio ambiente. Vicepresidenta de Medio Ambiente de la Sociedad de Urbanismo Monterrey, Ex delegada Federal de la SEMARNAT, y de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Gobierno Municipal de Monterrey, Asesor de Calidad del Aire en San Pedro Garza García. Autora del libro "Fracking una visión municipal. Politóloga, Abogada y Mater en Gestión Energética.

Mujer, 25 años como Jefa de departamento de manejo integral de contaminantes en SEMARNAT, oficinas de enlace federal en Nuevo León. Ingeniero Químico farmacéutico biólogo.

Hombre, 10 años de experiencia como empresario del sector energético, asesor para proyectos fotovoltaicos de pequeña, mediana y gran escala. Asesor para iniciativa privada y gobierno. Ingeniero eléctrico.

Hombre, Director de área en empresa transnacional del sector energético, Conferencista internacional en temas de energías renovables y sustentabilidad.

Resultados

Se encontró que de manera unánime hay una percepción de que la exportación de los residuos fotovoltaicos tendrán un beneficio primordialmente medioambiental, pero también reconociendo unánimemente los posibles beneficios económicos al país y los beneficios sociales, tanto por los beneficios ambientales a la población, como por la creación de empleos directos e indirectos durante la logística para el manejo y la exportación de los residuos

fotovoltaicos.

Así mismo, se observó una preocupación por parte de los entrevistados respecto a que ningún país, ni México, ni los países a los que se exporten los residuos, en ninguno de los casos deberá realizarse la exportación con fines de solo trasladar la responsabilidad ambiental, es decir, que ningún país deberá ser usado como basurero de otro, es por ello que esta exportación deberá hacerse siempre a países que cuenten con las condiciones adecuadas para que los residuos sean reciclados y aprovechados, de la manera más eficiente y segura posible, coincidente con lo que

La principal preocupación entre los actores que arrojó esa investigación apunta a la falta de regulación y normativa adecuada y específica para lograr tanto el manejo adecuado de estos residuos, como para evitar que legislaciones muy generales, tanto en México como en otros países, puedan convertirse un obstáculo para que estas exportaciones se den adecuadamente. Lo que es contrastante con la cantidad de normativas y regulaciones mencionadas anteriormente respecto a los trámites para el movimiento transfronterizo de residuos en México, es probable que legislaciones o normativas específicas, o tratados internacionales especiales sean necesarios para cambiar esta percepción y minimizar la burocracia del proceso.

El sentido de urgencia para atacar o resolver la problemática de los residuos fotovoltaicos es percibida una urgencia a mediano plazo por los encuestados, debido principalmente al retraso que tiene México respecto a las fechas de instalación de la mayoría de los paneles solares respecto a otros países, y el consecuente desfase temporal causado por el tiempo de vida esperado de estos equipos.

Las opiniones, aun cuando no todos los

entrevistados tienen conocimiento sobre los casos de éxito en otros países del mercado de los residuos fotovoltaicos, son coincidentes en que la alternativa es potencialmente viable financieramente, y por lo tanto sostenible desde el punto de vista económico, por lo que uno de sus principales diferenciativos respecto a otros programas de protección al ambiente, es que no requeriría la inyección constante de recursos económicos ni para su arranque ni para continuar con la operación.

Conclusiones

En la actualidad nos enfrentamos a retos sin precedentes y urgentes que demandan una nueva visión capaz de entender problemas globales complejos para elaborar soluciones igualmente globales, que sean sustentables, económicamente viables socialmente responsables y técnicamente factibles, a través de la cooperación, las alianzas y la constante innovación. Afortunadamente aún estamos a tiempo, tanto de enfrentar la crisis climática actual, como de prevenir nuevas crisis ambientales futuras.

México tiene la posibilidad de aprovechar un nuevo mercado emergente, en el que podría obtener grandes beneficios ambientales, sociales, diplomáticos y económicos desde el corto plazo, sin la necesidad de inversiones adicionales significativas de capital o de infraestructura. Panorama que sin duda debería de ser aprovechado. Además, este será un mercado que seguirá creciendo, con cada nuevo proyecto de energía solar que sea instalado, independientemente si es en un gran parque solar, o una nueva empresa o vivienda que ha incorporado esta tecnología a su portafolio energético.

La exportación de los residuos fotovoltaicos tiene también dentro de sus

beneficios que no se contraponen con la posibilidad de desarrollar la infraestructura local y nacional para el reciclaje de residuos fotovoltaicos, incluso los recursos generados por la exportación podrían utilizarse para desarrollar proyectos de reciclaje en el país.

Los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 nos permiten orientar esfuerzos a acciones específicas, planificadas y conjuntas. Y deberemos priorizar proyectos alineados al cumplimiento de estos 17 objetivos, y con mayor razón impulsar aquellos proyectos que tienen el potencial de incidir positivamente en varios de estos objetivos universales a la vez, como es el caso de esta alternativa.

Hoy en día no solo es impensable que nos permitamos tirar aquellos residuos que son valorizables, considerando los niveles de pobreza y desigualdad social que tenemos en México y en el mundo, sino que además sería sumamente irresponsable que, tras una pandemia y una crisis climática global aún vigentes, nos atrevamos a atentar deliberadamente contra la salud de las personas y contra el medio ambiente.

La presente investigación deja abierta la posibilidad para realizar este mismo análisis en países que, como México, aún no cuentan con la infraestructura necesaria para el reciclaje, de tal suerte que también puedan evaluar si esta solución puede generar beneficios para ese país.

Agradecimientos

Agradecemos la revisión de un árbitro anónimo quien brindó comentarios valiosos a nuestro trabajo.

Referencias

- Cámara de Diputados México. 2015.** Ley de transición energética. Título Primero. Disposiciones Generales Capítulo Único Del Objeto de la Ley y Definiciones, D. Of. la Fed., pp. 1-40.
- Castillo, E. & M.L.Vásquez. 2003.** El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia Médica*, 34(3):164-167.
- Centro Nacional de Control de Energía. 2019.** Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Electro Mayorista. PRODESEN 2019-2033, 576 p.
- Cortinas, C. 2014.** Regulación de los residuos peligrosos en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- Creswell, J. 2005.** Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research. Upper Saddle River: Pearson Education.
- Diario Oficial de la Federación. 2014.** Ley de la industria eléctrica, Última modificación 2021.
- Estrada Gasca, C. A. 2013.** Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia. *Revista Mexicana de Física* 59(2): 75-84.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. 2020.** Consultado el 20 de octubre de 2021. Recuperado de: https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/Gaceta454_Aviso_NADF-019-AMBT-2018.pdf.
- Gobierno de México. 2015.** Resumen ejecutivo de la Reforma Energética. D. Of. la Fed., p. 23, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- IRENA. 2018.** Transformación energética mundial: hoja de ruta hasta 2050, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.
- IRENA. 2020.** Conclusiones principales - Perspectivas Mundiales de las Energías Renovables, Transformación Energética de Aquí a 2050.
- IRENA. 2021.** Renewable capacity statistics 2021 International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Accedido el 12 de octubre de 2021, recuperado de <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>
- Jiménez Quintana, P. 2016.** Interpretando las perspectivas del desarrollo sustentable. Pp 13-36, In: Hernandez & Gozáles & Tamez. Desarrollo sustentable: de la teoría a la práctica.(ed.), Ediciones DeLaurel, UANL, Monterrey.

- Luna, N. 2016.** Consultado el 18 de octubre de 2021, recuperado de https://www.ier.unam.mx/noticias/2016/08/24/el_reciclaje_de_paneles_solares_nueva_oportunidad_de_negocios_en_energias_renovable.
- M. Week, "Energías renovables en México: panorama 2020," 2020.** Consultado el 28 de julio de 2021. recuperado de <https://www.mirecweek.com/es/congreso/zona-de-contenido/energias-renovables-en-mexico-panorama-2020.html>
- Coldwell P. J. 2018.** Reporte de Avance de Energías Limpias Primer Semestre 2018 Secretaría de Energía: Elaboración y Revisión.
- PV CYCLE a.i.sb.l. 2019.** Activity report 2019. Bruselas.
- REN21. 2020.** Secretaria, París, "Energías renovables 2020: Reporte de la situación mundial", <https://ren21.net/gsr-2020/>.
- Romo Jiménez, A. M. & V.M. Chávez Deras. 2019.** El Aprovechamiento de las energías renovables: Los paneles solares. *Ciencia y Mar* 2019, XXIII (68):97-103
- Secretaría De Energía. 2016.** Prospectiva de Energías Renovables. D. Of. la Fed., vol. 1, p. 94, 2016.
- SEMARNAT. 2021.** Guía Para La Importación Y Exportación De Residuos En México, 07-029
- SENER. 2019.** PRODESEN, México, 2019–2033.
- SENER. 2020.** DOF: 08/07/2020, Programa Sect. Energía 2020-2024, pp. 1–49.
- Schumpeter, J. 1911.** Teoría del desarrollo económico. In Romo & García. 2016, Evolución del desarrollo sustentable en el siglo XXI y la importancia de la educación ambiental en la agenda 2030.
- Soto, J. 2020.** ¿Energías limpias y renovables son lo mismo?. GREENPEACE,. accesado el 8 de sep. 2021, recuperado de <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/8519/energias-limpias-y-renovables-son-lo-mismo/>
- Torres Gaitán, R. 2005.** Teoría del comercio internacional Economía y demografía, Ricardo Torres Gaytán, Editor Siglo XXI, 2005.
- Wade, A., G. Heath, S. Weckend, Wambach, K. Sinha, J. Parikhit, M. Zhang & S. Knut. 2016.** IRENA & IEA PVPS 2016 - End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels.
- United Nations. 2020.** "Energía - Desarrollo Sostenible," Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Accesado el 24 de julio de 2021, Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- ONU. 2020.** "- Indicadores SDG," 2020. Accesado el 9 de octubre de 2021, recuperado de <https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/goal-07/>
- United Nations. 2021.** "The Sustainable Development Goals Report 2020", Accesado el 20 de agosto de 2021, recuperado de <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/>
- Villareal, J. & C. Tornel. 2017.** La Transición Energética en México: retos y oportunidades para una política ambientalmente sustentable y socialmente inclusiva. FES Transform., vol. noviembre, p. 47.